

DINÂMICA URBANA

Análise de dados reais para a aplicação em um modelo configuracional urbano

Decio Bevilacqua

Arquiteto, Professor Adjunto IV do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria – RS, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, e-mail: bevilacqua.decio@gmail.com

Romulo Krafta

Arquiteto, Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, e-mail: krafta@gmail.com

INTRODUÇÃO

A pesquisa, aqui parcialmente reportada, trata do aferimento de limiares existentes na interação espacial entre a localização de serviços urbanos e potenciais consumidores e seus efeitos sobre o crescimento da cidade. Para isto, utiliza-se de uma estrutura teórica que trata de sistemas complexos, a nova geografia econômica e modelos configuracionais urbanos.

Estas teorias conduzem à hipótese de que a localização de serviços urbanos está condicionada à localização de possíveis consumidores e suas relações espaciais. A interação existente entre estes gera tensões no sistema urbano que podem ser descritas como duas forças antagônicas, “**centrípetas e centrífugas**”, buscando localizações espaciais mais privilegiadas para seus objetivos.

De acordo com Krafta (2011) estes fenômenos são caracterizados por provocarem uma dinâmica no sistema que evolui para um “**ponto crítico**”, sendo este ponto um atrator, isto é, um estado mais provável da tendência do sistema. Uma vez atingido o estado crítico o sistema tenderia a permanecer em suas proximidades até fato novo ocorrer, quando então o sistema passaria a outro estado. O estado crítico seria assim o ponto de transição de fase ou estado favorável à mudança qualitativa do sistema.

Este fenômeno é condizente com enunciados teóricos da criticalidade auto-organizada desenvolvida por Bak et al. (1988, 1995) sobre sistemas complexos, resiliência e estabilidade, em que sistemas dinâmicos evoluem naturalmente, ou se auto-organizam, em um

estado altamente interativo, crítico, onde uma perturbação menor pode levar a eventos de todos os tamanhos.

Para a aferição destes limiares em sistemas urbanos, os instrumentos mais apropriados, de acordo com Krafta (2011), são os modelos configuracionais urbanos. Estes possibilitam avaliar relacionamentos de proximidade entre serviços e consumidores, indicando o comportamento do subsistema, mais substancialmente as alterações morfológicas com o surgimento de novos padrões de ocupação e desenvolvimento espacial. A medida resultante do modelo proposto é a da distância média ponderada pela população, onde as variações dos valores de proximidade ou afastamento entre os serviços urbanos e consumidores no tempo indicariam os limiares ou pontos críticos dos sistemas intraurbanos.

Entretanto, o emprego de dados reais da cidade de Santa Maria neste processo de avaliação dinâmica do sistema, diferentemente de uma proposição teórica, apresentam obstáculos que devem ser equacionados anteriormente à sua aplicação no modelo. São dificuldades decorrentes da quantidade de pontos de serviços urbanos e da complexidade e heterogeneidade tanto da espacialização como dos valores que representam as áreas construídas de cada serviço analisado. Para facilitação do uso destas variáveis, e maior confiabilidade dos resultados, adota-se uma *modelagem matemática dos dados* e, a seguir, uma *análise de mapeamento de Clusters*, simplificando assim a escolha dos pontos de localização dos serviços urbanos e dos possíveis consumidores.

SUPORTE TEÓRICO

No caminho do conhecimento urbano um dos fenômenos mais instigantes é compreender como ocorre o crescimento das cidades e as forças que movem este processo. Nos últimos anos, de acordo com Batty (2008) as ideias sobre estes crescimentos tem se apoiado em modelos e técnicas em torno da teoria microeconômica e da física social. A abordagem da localização de serviços e indivíduos pela teoria microeconômica pode ser simulada em função das demandas, rendimentos e custos, enquanto a física social envolve os modelos gravitacionais utilizados para simular fluxos de transportes e outras tensões geradas no sistema urbano.

A teoria do lugar central desenvolvida por Christaller em 1930, segundo Wylie (2012), procurou explicar um padrão de assentamentos no sul da Alemanha, onde áreas comerciais desempenhavam diferentes papéis nas necessidades dos consumidores para

diferentes tipos de bens e serviços. Estas diferentes necessidades para cada bem ou serviço tinham um especial alcance ou limite.

Fujita et al. (2000) atualizam a teoria do lugar central, destacando importante ponto que relaciona padrões configuracionais urbanos e as forças econômicas contidas no sistema. Se referem à principal tradição da economia urbana, derivada de von Thunen (1826), com os clássicos modelos de cidades monocêntricas, contrapondo com as modernas metrópoles, que cada vez mais parecem ter uma configuração policêntrica. Fujita e Ogawa (1982) assumem, assim, que estas economias são direcionadas por duas forças que se opõem no espaço urbano: uma centrípeta, que atrai negócios para o já concentrado centro principal, e outra centrífuga, que os atrai para longe das concentrações existentes. Este tipo de modelo suporta estruturas urbanas policêntrica mais parecido com as cidades atuais do que modelos monocêntricos desenvolvidos anteriormente.

Considerando estas linhas teóricas e resgatando a tradição da análise locacional, a proposta desenvolvida é de que as interações entre a localização dos serviços urbanos e possíveis consumidores no espaço da cidade determinam comportamento que mantém o sistema em equilíbrio ou o move para outros estados. Estes processos evolutivos do sistema são consistentes com conceitos da criticalidade auto-organizada onde sistemas com padrões globais emergem da ação local (Batty et al. 1999).

Autores como Allen (1998), Johnson (2003), Batty (2011), Portugali (2013), entre outros, discorrem que a cidade emerge das interações das atividades e deve ser analisada como um artefato coletivo de grande escala, o que conduz à noção de um sistema complexo. Neste sentido, para sua compreensão, devem-se reconhecer propriedades inerentes à complexidade, como a resiliência e estabilidade.

Ideias sobre sistemas complexos no espaço urbano são condizentes com a conceituação da criticalidade auto-organizada desenvolvida por Per Bak (1988). Ainda, Bak e Paczuski (1995) sugerem basicamente que grandes sistemas dinâmicos evoluem naturalmente ou se auto-organizam, em um estado altamente interativo e crítico, onde uma perturbação menor pode levar a eventos, chamado de avalanches, de todos os tamanhos.

O claro entendimento do limiar é descrito por Allen (1997) quando se refere ao mecanismo subjacente à “auto-organização” como sucessivas instabilidades locais, como flutuações criando novas áreas de crescimento e declínio no sistema, quebrando simetrias e criando estrutura e organização.

Krugman (1994; 1996) reporta-se à auto-organização no modo como as atividades econômicas se organizam no espaço ao longo do tempo. São as interações entre agentes individuais que podem gerar espontaneamente uma ordem em grande escala. São reações em cadeia quando um movimento pode afetar diretamente apenas os vizinhos mais imediatos ou induzi-los a se moverem, afetando em seguida outros vizinhos e assim por diante.

Deste modo, a espacialização da cidade muda ao longo do tempo, criando um padrão de diversificação geográfica de desenvolvimento econômico através de processos de redistribuição de serviços urbanos. Segundo Batty et al. (1999), sempre que uma atividade muda sua localização provoca uma reação em cadeia em que outras atividades são induzidas a mover-se como agentes econômicos que compõem tais atividades, readaptando suas localizações para novas circunstâncias. Para Portugali (2013) a “interação de atividades” com seus agentes - consumidores e serviços urbanos - afeta o comportamento dos mesmos e faz a cidade emergir seguindo um processo de causalidade circular.

Fundamentado nestas teorias, busca-se procedimentos que conduzam a determinação dos “limiares” na localização de distintas tipologias de serviços urbanos e consumidores, e seus impactos no sistema urbano. Assim, para a aferição destes “limiares”, se propôs a construção de um modelo configuracional urbano capaz de representar este processo. De acordo com Krafta (2011) o espaço intraurbano é o âmbito preferencial dos estudos configuracionais. Podem representar características dos sistemas urbanos como a descrição do espaço local ou atributos como conectividade, distâncias ou caminhos mais curtos entre pares do sistema, controle, acessibilidade, entre outros.

Ainda, para Netto et al. (2009), um *indicador de limiar* verificaria a capacidade do sistema urbano absorver ou rearranjar-se diante de mudanças em um ou outro subsistema ou por flutuações nas interações com o ambiente, região ou macroeconomia. Estaria, desta maneira, relacionado de forma a capturar explicitamente indícios de auto-organização e emergência de padrões urbanos diante dos limiares de criticalidade. Alguns aspectos específicos identificados na morfologia urbana como densificação, tensões estruturais, expansão dos serviços urbanos, distâncias relativas, polos e corredores seriam factíveis de indicar os diferentes limiares para cada tipo de serviço.

A BASE DE DADOS PARA APLICAÇÃO DO MODELO

Tratando-se de uma avaliação dinâmica do sistema urbano no tempo, as variáveis consideradas para execução do modelo configuracional proposto são formadas por uma base

de dados da Prefeitura Municipal de Santa Maria e dados populacionais dos setores censitários urbanos da cidade para os anos de 1991, 2000 e 2010 (Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia, 2012).

Dados de serviços urbanos

Os dados sobre os serviços urbanos foram selecionados a partir do Cadastro de Alvarás de Localização de Atividades Urbanas fornecidos pela Secretaria de Município de Finanças da Prefeitura Municipal de Santa Maria (2012).

Para a definição dos serviços urbanos, utilizou-se a *Classificação das Atividades Econômicas Urbanas* contidas na Pesquisa Anual do Comércio - PAC (IBGE, 2009a) e Pesquisa Anual dos Serviços – PAS (IBGE, 2009b). Estas classificações se referem ao setor terciário, que englobam as atividades de comércio 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. Devido à complexidade em relacionar as variáveis de serviços urbanos e suas localizações espaciais, evitaram-se níveis maiores de desagregação destas tipologias, que pouco contribuiriam para a verificação das hipóteses do trabalho. Desta maneira, os serviços urbanos foram agrupados como Serviços Urbanos Locais, Excepcionais, Saúde, Tecnológicos e Automotores¹.

Serviços Urbanos Locais: São aquelas atividades de comércio 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. Como serviços consideram-se: alojamento, alimentação, atividades de lazer (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 dos locais de moradia. São constituídas por vendas no varejo 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.).

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

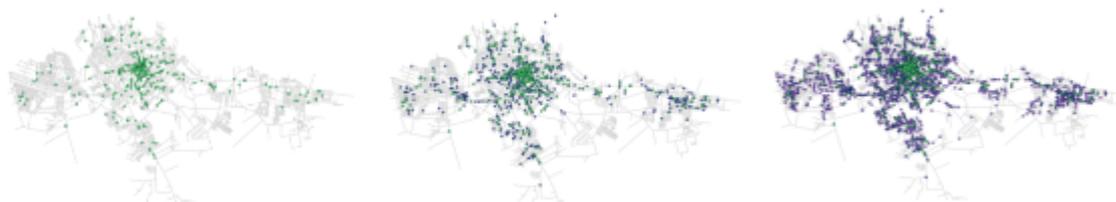
Serviços Urbanos de Tecnologias: São compostos pela atividade de manutenção de equipamentos de informática, processamento de dados, comunicação, publicidade, internet, programadores, contabilistas, engenheiros, arquitetos, serviços especializados na área tecnológica de arquitetura, agronomia e engenharia,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

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

A base espacial utilizada

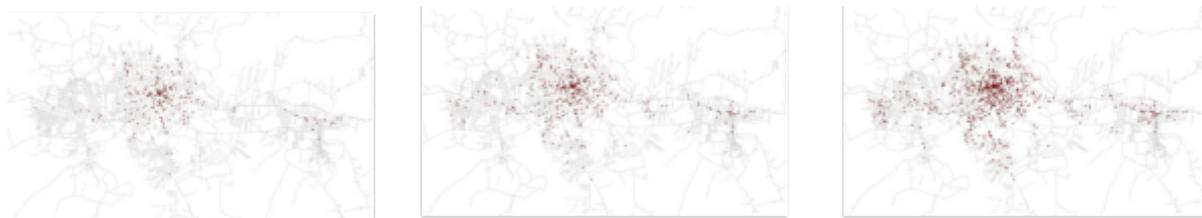
Para cada classificação de serviços urbanos, conforme descritas anteriormente, elaborou-se uma base espacial (mapa) com a localização dos pontos de serviços para cada ano analisado. Com a utilização de uma ferramenta de Geocodificação, estes pontos foram espacializados e georeferenciados sobre o mapa do sistema viário da cidade. Desta maneira, foram produzidos mapas para os Serviços Locais, Excepcionais, Saúde, Tecnológicos, Automotores, e um com a espacialização de todos estes serviços. Nas figuras 01 e 02 estão exemplificadas as espacializações dos serviços locais e serviços de saúde, respectivamente.

Figura 01: Mapas com a espacialização dos pontos de serviços urbanos locais sobre a base do sistema viário de Santa Maria para os anos de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: elaborado pelos autores.

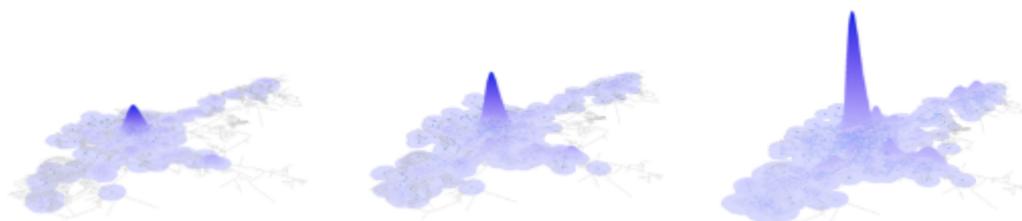
Figura 02: Mapas com a espacialização dos pontos de serviços urbanos de saúde sobre a base do sistema viário de Santa Maria para os anos de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: elaborado pelos autores.

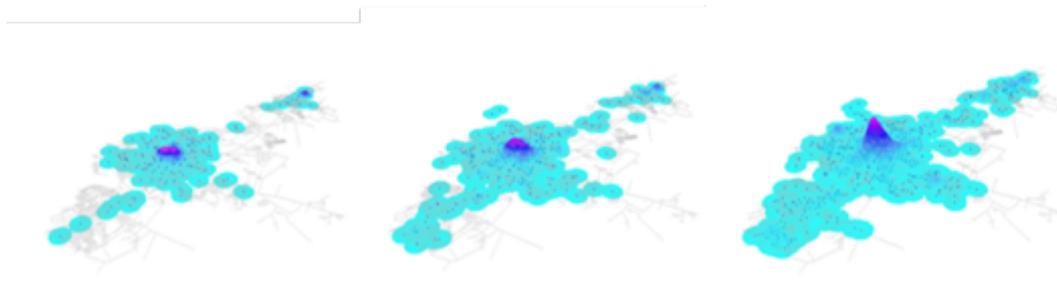
As figuras 03 e 04 mostram a simulação do crescimento dos serviços urbanos locais e de saúde, respectivamente, quando consideradas as áreas construídas em metros quadrados, para cada ponto do serviço, nos anos de 1990, 2000 e 2010. Para os serviços locais, percebe-se a forte concentração e incremento no centro do sistema, enquanto alguns pontos menos densos surgem nas periferias (figura 03). Já para os serviços da saúde, os incrementos em termos de áreas construídas são menores e concentram-se praticamente no centro do sistema (figura 04).

Figura 03: Simulação dos crescimentos dos serviços urbanos locais considerando as áreas construídas sobre a base do sistema viário de Santa Maria para os anos de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 04: Simulação dos crescimentos dos serviços urbanos da saúde considerando as áreas construídas sobre a base do sistema viário de Santa Maria para os anos de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: elaborado pelos autores.

METODOLOGIA

Diferentemente de uma proposição teórica, ao construir um modelo configuracional urbano para uma cidade de porte médio onde é utilizada a variável “serviços urbanos”, depara-se com a dificuldade de trabalhar com dados reais. Considera-se ainda que a aplicação de dados reais é mais trabalhosa quando utilizada em um sistema dinâmico devido às variações que ocorrem ano a ano.

Como a quantidade da variável serviços urbanos é expressiva, complexa e bastante heterogênea, tanto na espacialização, visualizadas nas figuras 01 e 02, como nos valores que representam as áreas construídas dos serviços, simuladas nas figuras 03 e 04, faz-se necessário um procedimento prévio para a simplificação de sua escolha. O melhor caminho para a definição dos pontos do sistema que representarão os serviços urbanos é por meio da modelagem matemática dos dados, avaliando seu comportamento durante o tempo, e por uma análise de *clusters*, que proporciona um caminho seguro para esta escolha.

A modelagem matemática para a simulação dos dados reais é um processo frequentemente empregado em várias áreas de estudo, e consiste em descrever matematicamente um fenômeno. A análise dos serviços urbanos de Santa Maria, através da modelagem matemática, apresenta vários aspectos úteis por ser sucinta e facilitadora na manipulação de dados reais e complexos. Contribui para confirmar ou rejeitar hipóteses quando relacionadas a sistemas complexos, podendo ainda revelar contradições em dados obtidos ou hipóteses formuladas, além de prever o comportamento do sistema urbano sob condições não testadas. Aplica-se, assim, a modelagem matemática dos dados para cada tipologia de serviços urbanos, verificando as tendências de crescimento ao longo do tempo, com base em modelos clássicos de crescimento.

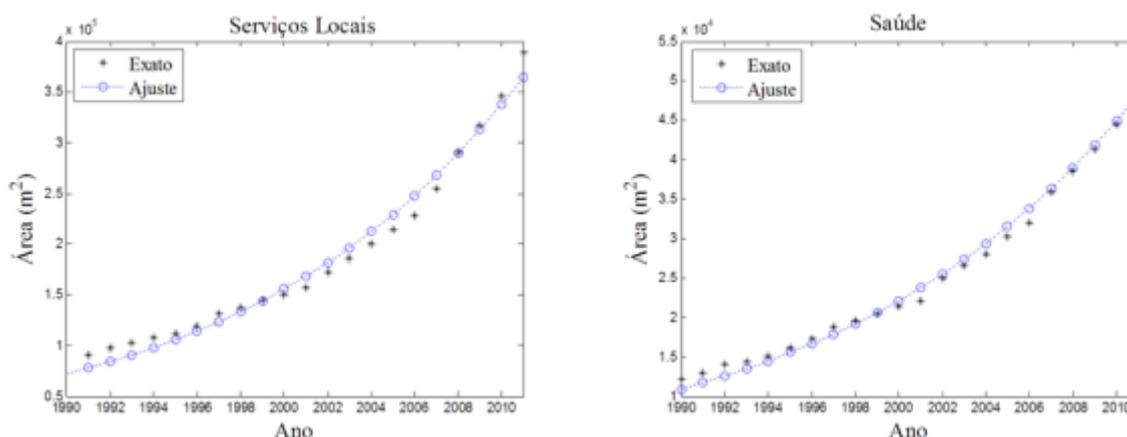
Por sua vez, a determinação de *clusters* é um processo de aglomeração por afinidades entre as variáveis que facilitam a identificação de pontos específicos de serviços urbanos. Outra vantagem é que o processo permite analisar o comportamento do sistema como um todo, salientando os pequenos subsistemas que emergem no tempo e suas semelhanças ou diferenças nos padrões morfológicos para cada tipologia de serviço urbano.

A modelagem matemática dos dados

Primeiramente, partiu-se da observação global dos dados com a modelagem matemática do comportamento de cada serviço urbano no período analisado, isto é, entre os anos de 1990 a 2010. Procurou-se, com isso, identificar o tipo de crescimento de cada serviço

e se esse crescimento apresentava limitações ou tendências, no âmbito da cidade como um todo. Essa análise macroscópica indica as tendências das quantidades analisadas quando tratadas de forma homogênea, desconsiderando suas particularidades como, por exemplo, sua localização. Ela é importante por dois aspectos: pode evidenciar restrições globais, as quais são eventualmente replicadas localmente, mas também porque serve de comparação com os resultados a serem obtidos nos agrupamentos (*clusters*), podendo tornar mais nítidas as características que são realmente locais daquelas comuns ao todo. Por meio de observação gráfica, de análise numérica de dados e da construção de curvas de ajuste, foi verificado que os serviços na cidade crescem sem limitação, desenvolvendo-se como uma exponencial crescente, indiferente da tipologia do serviço urbano. Estes resultados mostram, a princípio, que todos os serviços ainda possuem espaços para crescimento e estão longe do saturamento. Como exemplo, são apresentadas somente as análises da modelagem matemática para os serviços locais e da saúde (figura 05).

Figura 05: Gráfico do ajuste das áreas dos serviços locais e da saúde nos anos de 1990 a 2010.



Fonte: dados da pesquisa.

Utilizando-se do *software* Matlab, procederam-se as análises do ajuste de todos os serviços urbanos considerados para o trabalho que, sem exceção, indicam que os crescimentos não apresentam saturamento no espaço urbano de Santa Maria. Observa-se, assim, que existe a oportunidade de crescimentos em todos os serviços urbanos da cidade.

Esta análise de dados pode ser comprovada pelo procedimento desenvolvido a seguir, que é a verificação da formação de *clusters* de serviços no espaço urbano. Isto 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.

Mapeamento por clusters

As análises de mapeamento de *clusters* são importantes para identificar os espaços estatisticamente representativos como os pontos mais densos, os menos densos e os anormais (“*outliers*”). Os denominados “*outliers*” são as observações que apresentam um grande afastamento das restantes ou são inconsistentes com as demais. Este procedimento de verificação de *clusters* é particularmente útil quando se necessita a identificação com interesse na localização de um ou mais recursos ou ações com proximidade espacial ou semelhança em algumas propriedades geradoras destas configurações espaciais.

Especificamente no trabalho, busca-se verificar as distribuições de serviços urbanos em geral e suas interações com a localização dos consumidores destes serviços. Também é interessante a identificação dos aglomerados espaciais quando se quer investigar as possíveis causas da concentração do aglomerado, que podem estar vinculadas a determinadas variáveis como a concorrência espacial por locais de maior concentração populacional ou por locais mais acessíveis, ou ainda, para prover demandas diferenciadas ou específicas para cada população. Pode-se compreender se no espaço da cidade, que está sendo estudado, existe alguma aglomeração espacial que se destaca pelo seu porte, posição relativa aos demais aglomerados, ou por outra razão.

A existência de um grande número de pontos de serviços distribuídos no espaço urbano da cidade gera dificuldades na determinação dos pontos de serviços urbanos e de população utilizados no modelo configuracional. Na formação da base de dados espaciais foram distribuídos 11.286 pontos que, em sua maior parte, representam atividades com pequenas dimensões em termos de área construída, o que provocaria distorções nas aferições dos limiares propostos.

Assim, fazer uma análise de *clusters* nesta etapa do trabalho possibilita compreender a existência ou não de um padrão espacial na localização de serviços urbanos e população consumidora. O uso de ferramentas de análises espaciais são formas de medir o grau em que os recursos estão agrupados, dispersos, ou distribuídos aleatoriamente em toda a área de estudo. Desta maneira, quando abordamos a análise de padrões espaciais, estamos interessados em descobrir se existem processos subjacentes aos locais, das características e comportamentos dos objetos estudados.

Ferramentas utilizadas

O plugin utilizado foi o Grouping Analysis (Análise de Grupos), do ArcGis, e os parâmetros para análise dos campos pelo método das distâncias Euclidiana, distâncias mínimas, pela soma das áreas e as restrições espaciais com a “*Triangulação de Delaunay*”. A triangulação *Delaunay* são opções apropriadas para as características de ponto ou polígono quando se quer que todos os membros do grupo sejam proximais. Estas opções indicam que um recurso só será incluído no grupo se pelo menos a característica de vizinho natural mais próximo for observada.

A distância Euclidiana considera a menor distância do centro do *cluster* aos pontos em linha reta, através das coordenadas X e Y. O método de inicialização é o de encontrar a localização da semente, “*Initialization Method Find Seed Locations*”, que provoca a origem (centróide) do *cluster*.

Assim, o processo de geração do *cluster* obedece estes parâmetros determinados inicialmente, onde o programa encontra uma semente de geração do *cluster*. Os parâmetros que formam o pertencimento de cada ponto de localização de serviço urbano considera, desta maneira, a área de cada ponto e as distâncias mínimas dos mesmos em relação aos demais pontos.

ANÁLISE DOS CLUSTERS PARA OS SERVIÇOS URBANOS

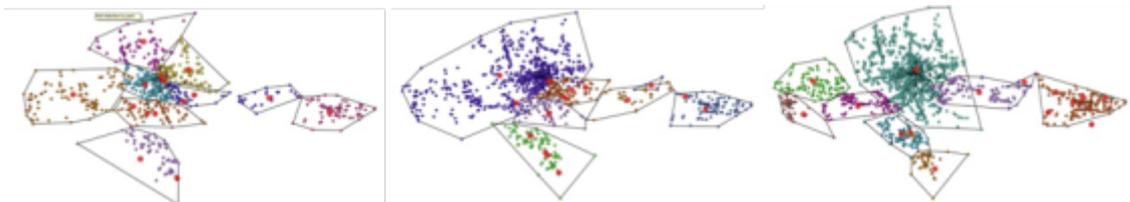
Com base nos dados espaciais, procede-se análise preliminar da evolução e a formação dos *clusters*, utilizando-se apenas os **serviços locais** e da **saúde** para os anos de 2000, 2005 e 2010. As imagens dos *clusters* dos serviços locais e saúde representam as poligonais de cada *clusters* e os pontos em vermelho representam os centroides do polígono. Os pontos menores representam as localizações dos serviços urbanos pertencentes ao *cluster* (figuras 06 e 07).

Análise dos clusters dos serviços locais

A figura 06 apresenta a formação e a evolução no tempo dos *clusters* para os serviços locais. A partir do ano 2000 até o ano 2010, identifica-se uma formação de *clusters* na periferia do espaço urbano, principalmente no sentido leste, onde está localizado o Bairro Camobi, próximo ao Campus da Universidade Federal. Já para o lado oposto, oeste da cidade, a formação de novos *clusters* é muito tímida; a razão disto não é objeto deste trabalho, mas

pode ser compreendida quando comparada com a evolução dos *clusters* dos demais serviços urbanos analisados.

Figura 06: Mapa com 15 *clusters* e suas poligonais, gerados nos anos de 2000, 2005 e 2010 para os serviços locais.



Fonte: dados da pesquisa.

Por sua vez, o núcleo central da cidade torna-se mais intenso em pontos de serviços formando um *cluster* com maior área de abrangência espacial, que no decorrer do tempo abarca alguns *clusters* menores que existiam anteriormente em suas proximidades. A densificação do *cluster* central indica a necessidade de novos particionamentos, o que provavelmente resultaria em novos *clusters* muito próximos uns dos outros e com representativa área de serviços urbanos. Analisar o comportamento deste *cluster* central se faz necessário, pois a concentração indicaria a possível tendência exercida pelas forças centrípetas do sistema.

Na comparação entre os três períodos da figura 06, observa-se uma tendência horizontal no crescimento leste – oeste, formando uma ligação entre os bairros localizados nas extremidades da cidade. Esta tendência ocorre sobre o grande eixo formado pelas vias estruturais do sistema viário principal.

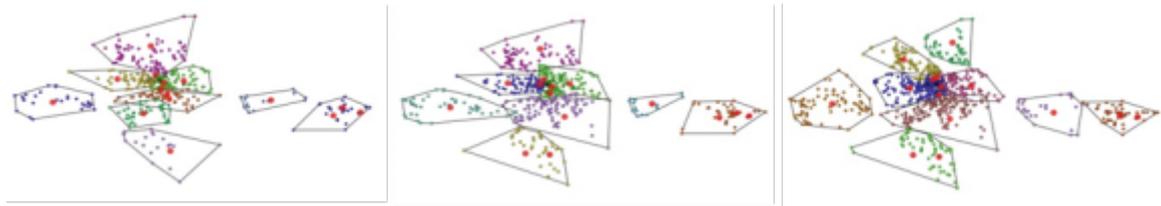
Análise dos clusters dos serviços da saúde

A configuração dos *clusters* para os serviços da saúde tem crescimento diferenciado em relação aos dos serviços locais. Entre os anos 2000 a 2005, a formação se estabelece mais ao centro com quatro *clusters*, demonstrando a força e a concentração destes serviços no centro da cidade (figura 7).

Entretanto, entre os anos de 2005 a 2010, percebe-se uma intensificação na formação de *clusters* maiores em torno da área mais central do sistema e alguns menores no sentido da periferia do sistema urbano. Na comparação entre a evolução dos clusters destes serviços urbanos fica evidente a concentração no centro da cidade dos serviços da saúde,

contrariamente aos *clusters* dos serviços locais, que crescem mais no sentido das áreas periféricas.

Figura 07: Mapa com 15 *clusters* e suas poligonais, gerados nos anos de 2000, 2005 e 2010 para os serviços de saúde.



Fonte: dados da pesquisa.

Análise entre clusters locais e de saúde

Observa-se uma tendência direcional na formação de *clusters* para os serviços locais, sendo um crescimento intenso no sentido do centro para a periferia, seguindo as principais vias do sistema viário da cidade. Esta evolução configuracional do serviço local ocorre em razão da proximidade com consumidores e crescimentos populacionais, localizando-se ao longo destas vias e nas áreas mais periféricas do espaço urbano com maior dispersão.

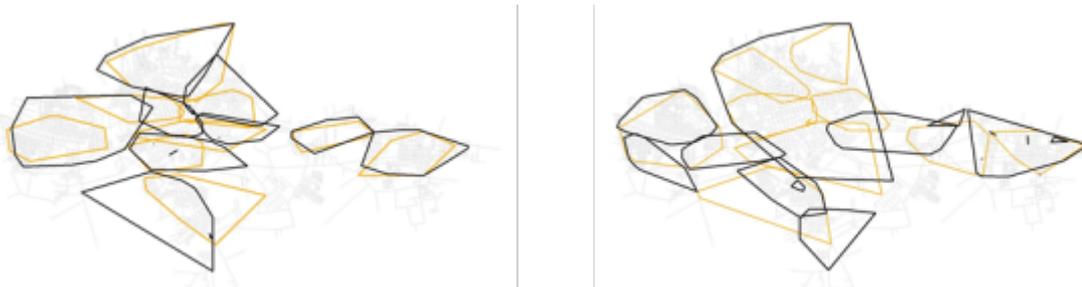
As características espaciais entre os serviços locais e de saúde diferem basicamente na concentração da ocupação do solo urbano. Os serviços da saúde são mais concentrados no centro da cidade, tanto em área construída como em número de estabelecimentos, enquanto que na periferia encontram-se muitos pontos dispersos e com áreas de pequenas dimensões, predominantemente. Contrariamente, os serviços locais, ao se desenvolverem no espaço periférico do sistema urbano, aparecem com algumas áreas de maior porte formando *clusters* que atraem mais atividades e que, por sua vez, dão origem a mais *clusters*. Este padrão ocupacional confirma as diferenças locais entre os dois serviços urbanos com tendência à concentração e à dispersão de localizações.

Geograficamente, as características espaciais de concentração aparecem com maior intensidade nos serviços da saúde. Este processo é bem visível ao longo do tempo, onde cada vez mais é concentrado, denotando uma forte força centrípeta. Isto demonstra a tendência de localização dos serviços no espaço com maior acessibilidade aos usuários, não apenas da área urbana da cidade, mas provenientes de outras localidades regionais.

No período compreendido entre os anos de 2000 a 2010, a forma urbana da cidade se mantém praticamente inalterada, não sendo perceptíveis alterações morfológicas.

Entretanto, com as análises dos *clusters* observam-se outros padrões morfológicos como polos e corredores e uma maior densificação no centro urbano da cidade com a localização dos serviços urbanos (figura 8).

Figura 8: Comparação dos *clusters* dos serviços locais (preto) e saúde (amarelo) nos anos de 2000 e 2010.



Fonte: dados da pesquisa.

O MODELO CONFIGURACIONAL PROPOSTO

O modelo proposto baseia-se na medida de distância relativa ponderada entre localizações residenciais e pontos de oferta de serviços. Isto envolve identificar e medir a distância entre cada localização residencial e o ponto mais próximo de oferta de serviço. A ponderação será feita pela quantidade de usuários do serviço verificada em cada localização residencial. O indicador de distância relativa será a média das distâncias de todas as localizações residenciais. Considerando que as cidades tendem a expandir sua área urbana, e que essa expansão é produzida pela produção de novas áreas residenciais, há a expectativa de que essa distância média aumente com o passar do tempo, até que atinja um ponto crítico. A reação do sistema urbano a isso deveria ser a extensão da rede de pontos de oferta de serviço 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.

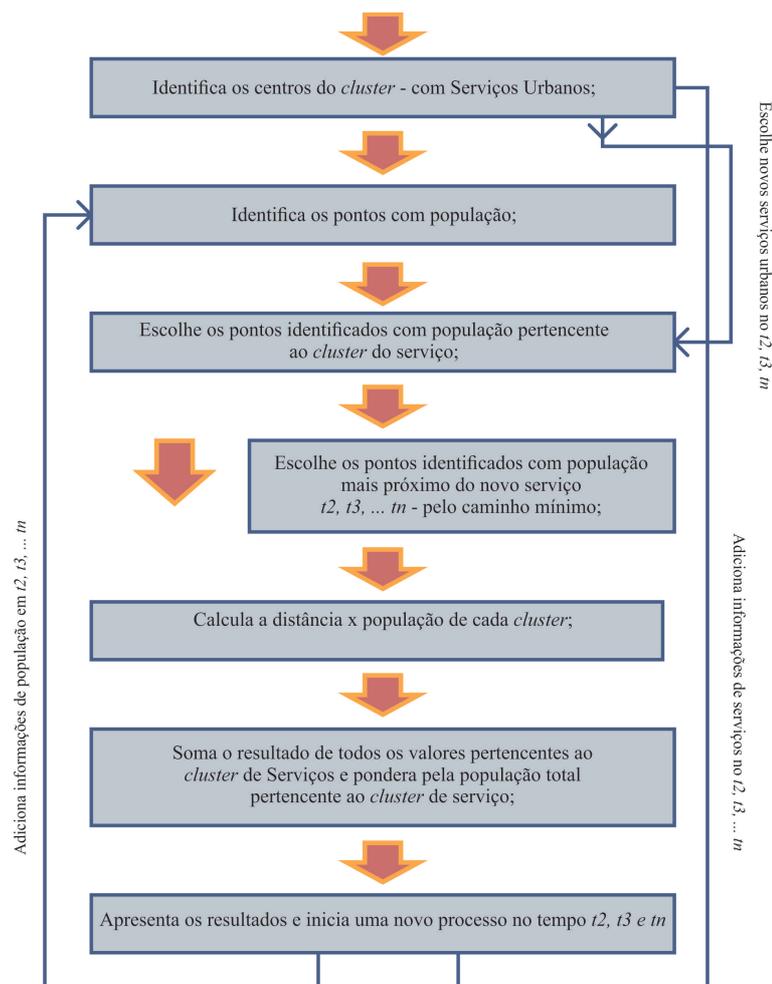
A verificação de tal processo não é simples e demandaria, no limite, uma base de dados dinâmica ao longo de um período temporal relativamente longo. A alternativa é usar três cortes, abrangendo um período de 20 anos, com os quais a verificação será feita mediante dois expedientes: a) mapeando a expansão das áreas residenciais e da rede de oferta de serviços 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 demonstraria 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 anciã.

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

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

Este processo se altera ano a ano na medida em que os *clusters* também variam em seus crescimentos ou particionamentos, seguindo o esquema de funcionamento do algoritmo representado na figura 9.

Figura 9: Esquema de funcionamento do algoritmo proposto para calcular a distância média ponderada por população.



Fonte: elaborado pelos autores.

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_I existir população, esta também deve ser considerada no somatório do subsistema.

O cálculo obedece a fórmula matemática abaixo:

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

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).

A qual também pode ser escrita como:

$$D_{média\ pond.} = d_1 \times p_1 + d_2 \times p_2 \dots d_n \times p_n / P$$

Onde

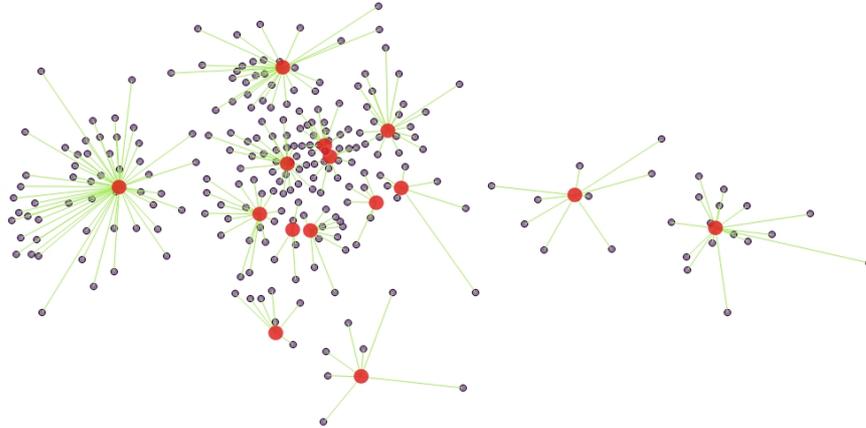
$$P = p_1 + p_2 + p_n;$$

n = número de áreas.

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.

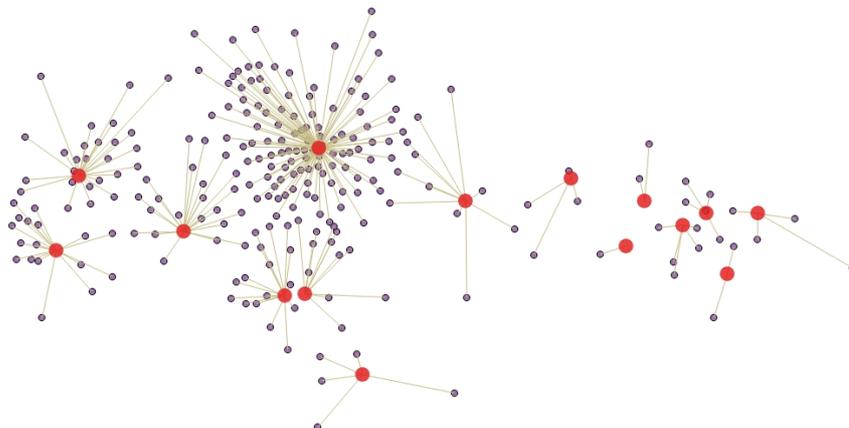
As figuras 10 e 11 exemplificam a geração dos *Hubs* para cada *cluster* dos serviços locais, para os anos de 2000 e 2010. Os pontos em vermelho são os centróides dos *clusters* e os pontos menores, os centróides das áreas censitárias. A partir destes mapas, têm-se a base para calcular as distâncias médias ponderadas por população entre os pontos de serviços urbanos (centróides dos *clusters*) e população (centróides das áreas censitárias), para cada tempo e tipologia de serviço urbano.

Figura 10: Centróide dos *clusters* de serviços locais e os centróides das áreas censitárias para o ano de 2000.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 11: Centróide dos *clusters* de serviços locais e os centróides das áreas censitárias para o ano de 2010.



Fonte: dados da pesquisa.

Após as medições para cada serviço urbano e população no tempo, os resultados indicarão os limiares e, com a espacialização através de mapas e o uso do Sistema de Informação Geográfica – SIG, possíveis padrões morfológicos do sistema urbanos serão identificados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem matemática global dos dados é um procedimento importante antes de sua utilização no modelo configuracional. Previamente identifica o comportamento dos serviços urbanos no tempo, mostrando tendências ao não saturamento no crescimento para cada tipologia.

Quando comparado com os dados globais, fica evidenciado o aumento da área de serviços urbanos por população consumidora. Isto, “*a priori*”, conduz a interpretar efeitos relacionados às atividades econômicas com suas externalidades locacionais, que são mais identificadas nas escalas intraurbanas, como a concorrência espacial sob competição, complementaridades de atividades, entre outras, conforme descritas por Fujita et al. (1996).

Neste sentido, a utilização da **Análise de Grupos** do ArcGIS oferece um importante procedimento de análise espacial que facilita escolhas numa escala maior do sistema urbano. Com os recursos de controle espacial como distâncias e dimensões das áreas utilizadas pelos serviços urbanos, e outras variáveis como o tempo, contribuem para uma exploração apropriada da configuração espacial e a determinação de pontos de interesses no sistema.

Demonstrou-se que a análise de *clusters* é um facilitador no reconhecimento dos principais serviços urbanos e sua dinâmica espacial e temporal quando se tem uma grande quantidade de dados complexos e heterogêneos. Conclui-se, assim, a importância exercida no trabalho pela proposição da análise espacial por *clusters* e, especialmente, na definição dos pontos que representam as localizações para cada serviço urbano analisado no modelo configuracional urbano proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, P. M. 1997. *Cities and Regions as Self-Organizing Systems: Models of Complexity*, Londres, Taylor and Francis.

Allen, P. M. 1998. *Cities: the Visible Expression of Co-evolving Complexity* *Complex System* [Online]. Disponível em: http://www.bk.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/BK/Over_de_faculteit/Afdelingen/Urbanism/Onderz/Ulab/Conferences/Conference_Complexity_Theories/papers/doc/Allen.pdf. [Acesso em 1º Dezembro 2014].

Bak, P., Paczuski, M. 1995. Complexity, Contingency, And Criticality: Macroeolution, macroeconomics, punctuated equilibrium. In: Anderson, P. W. (Org.)

Physics: The Opening to Complexity, v. 92, p. 6689-6696. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

Bak, P., Tang, C., Wiesenfeld, K. 1988. Self-organized criticality. *Physical Review A*, v. 38, n. 1, p. 364-374. New York: The American Physical Society.

Batty, M. 2008. Fifty years of urban modelling: macro statics to micro dynamics. In: Albeverio S., Andrey D., Giordano, P., Vancheri, A. (Ed.). *The dynamics of complex urban systems: an interdisciplinary approach*. p. 1-20. Heidelberg: Physica Verlag.

Batty, M. 2011. *Building a Science of Cities*. [Online]. Londres: Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London. Disponível em: <http://www.complexcity.info/files/2011/12/BATTY-CITIES-2011.pdf>. [Acesso em 1º Dezembro 2014].

Batty, M., XIE, Y. 1999. Self-Organized Criticality And Urban Development. In: *Discrete Dynamics in Nature and Society*, v. 3, p.109-124.

Fujita, M., Ogawa, H. 1982. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. In: *Regional Science and Urban Economics*, v. 12, p.161-196.

Fujita, M., Krugman, P., Venables, A. J. 2000. *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, 2. ed. Cambridge: The MIT Press.

Fujita, M., Thisse, J. F. 1996. Economics of Agglomeration. *Journal of the Japanese and International Economies*, v. 10, artigo n. 21, p. 339-378.

Giordano, F. R., Fox, W. P., Horton, S. B. 2014. *A First Course in Mathematical Modeling*. Brooks: Cole.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____. 2009a. *Pesquisa Anual de Comércio*, v. 21. Rio de Janeiro: IBGE.

_____. 2009b. *Pesquisa Anual de Serviços*, v. 11. Rio de Janeiro: IBGE.

Johnson, S. 2003. *Emergência: A dinâmica de rede em formigas, cérebros, cidades e softwares*. Rio de Janeiro: Zahar.

Krafta, R. 2011. *Urbanimetria I: Centralidade Urbana e Criticalidade*. Projeto de Pesquisa PROPUR-UFRGS. Porto Alegre: artigo não publicado.

Krugman, P. 1994. Complex Landscapes in Economic Geography. In: *American Economic Association, Papers and Proceedings*, v. 84, p. 412-416.

Krugman, P. 1996. *How the Economy Organizes Itself in Space: A Survey of the New Economic Geography*. SFI Working.

Netto, V. M., Krafta, R. 2009. A Forma Urbana como Problema de Desempenho: O Impacto de Propriedades Espaciais Sobre o Comportamento Urbano. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 11, Nov., n. 2, p. 157-179.

Portugali, J. 2013. What makes cities complex? [Online]. Disponível em: <http://www.spatialcomplexity.info/files/2013/10/Portugali.pdf>. [Acesso em: 1º Dezembro 2014].

Prefeitura Municipal De Santa Maria. 2012. *Inscrição e Alteração de Cadastro de Alvará de Localização*. Relatório em meio magnético do ano de 2012.

Wyly, E. 2012. Theories of Urban System Development. [Online]. Disponível em: <http://ibis.geog.ubc.ca/~ewyly/g350/systems.pdf>. [Acesso em: 1º Dezembro 2013].