

ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO EM REDES APLICADA AO CASO DE ACIDENTES URBANOS DE TRÂNSITO

Andréa Júlia Soares
Antônio Néelson Rodrigues da Silva
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Transportes

RESUMO

O objetivo deste estudo é explorar uma metodologia para análises de autocorrelação em redes, utilizando um atributo de fenômenos cuja ocorrência esteja de alguma forma vinculada ou que seja dependente de uma rede. Para isso foram utilizados dados de acidentes de trânsito em um estudo de caso para a cidade de São Carlos, referentes aos anos de 2001, 2002 e 2003. Foram considerados inicialmente os dados totais dos acidentes e, em seguida, separados por tipos (atropelamentos, acidentes com danos materiais e acidentes com vítimas). A próxima etapa considerou os valores dos acidentes totais majorados pela UPS (Unidade Padrão de Severidade). A última etapa do estudo levou ainda em consideração a localização dos acidentes nos arcos ou interseções, que permitiu concluir que esta forma de caracterização espacial dos acidentes pode interferir significativamente nos resultados da análise. Outra conclusão relevante foi a identificação de autocorrelação espacial elevada e positiva no caso estudado.

ABSTRACT

The objective of this study is to explore a methodology for network spatial autocorrelation analysis by applying it to an attribute of phenomena that are somehow connected to or dependent of a network. In order to do so, traffic accident data recorded in the years 2001, 2002, and 2003 in the city of São Carlos were selected for a case study. A first analysis considered all data, followed by analyses per accident type. In another phase of the study, the total accidents were weighted according to their severity. The last part of the study included in the analysis information about the location of each accident, either at a link or at an intersection. A conclusion drawn from the later analysis indicated that the consideration of the accidents' locations can produce significant changes in the results. Another relevant conclusion was the identification of high and positive spatial autocorrelation in the case studied.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido observado um aumento significativo na frota de veículos automotores em todo o mundo. O grande número de veículos tem gerado inúmeros problemas urbanos, tais como: congestionamentos, poluição ambiental e acidentes de trânsito. Esses, por sua vez, resultam em prejuízos econômicos, sociais e até mesmo mortes. Em geral, aumentos na frota representam maior probabilidade de ocorrência de acidentes viários. Uma das formas de reduzir esse risco de aumento no número de acidentes é buscar soluções para tornar a rede viária mais segura. Para isso, é necessário saber onde e porque os acidentes ocorrem. Mais do que isso, é preciso conhecer detalhes da distribuição espacial dos acidentes não só na cidade, mas sobretudo na sua rede viária. A caracterização e compreensão do problema através de técnicas de análise de rede e/ou análise espacial podem ajudar a identificar padrões e, a partir desses padrões, intervir nos locais exatos da rede que eventualmente levarão a uma redução no número e gravidade dos acidentes.

Dentre as possíveis técnicas para análise espacial de redes, a autocorrelação de redes constitui-se em uma medida quantitativa que resume algumas das características relacionadas à conectividade. Dessa forma, o objetivo desse estudo é desenvolver uma metodologia específica para o cálculo de autocorrelação de redes através do índice I de Moran, com aplicação direta a problemas de transportes com forte vinculação a uma rede, como é o caso dos acidentes de trânsito. O Índice de Moran, sendo um índice de autocorrelação, pode ser aplicado para qualquer variável. Neste estudo, utilizou-se o número de acidentes de

trânsito, mas essa variável pode ser substituída por outra variável que ocorra em rede e seja passível de representação espacial, o que o torna muito flexível enquanto ferramenta.

Este artigo está estruturado como segue: essa breve introdução ao problema é seguida de uma discussão sobre alguns dos principais conceitos associados ao tema conectividade, através de diferentes formas de análise de rede. O próximo item é a metodologia desenvolvida, seguida pela apresentação dos resultados e sua análise, as conclusões e as referências bibliográficas.

2. ANÁLISE DE REDES

Os diversos fenômenos e processos observados nas cidades, bem como as múltiplas inter-relações entre eles, exigem o uso de diferentes conceitos para sua compreensão e estudo. Alguns deles, como é o caso da cognição e dos conceitos de sustentabilidade e espalhamento, se baseiam em uma visão subjetiva. Outros se baseiam em uma visão mais objetiva, como os índices de acessibilidade e conectividade. De maneira geral, no entanto, todas as abordagens buscam, de uma forma ou de outra, parâmetros para quantificar a percepção do cidadão quanto a sua qualidade de vida.

O conceito de conectividade, relevante para o estudo aqui proposto, trata a cidade como uma rede complexa formada pelas ruas e avenidas. Apesar dessa complexidade, a caracterização das cidades como redes facilita o seu estudo, pois as informações nelas contidas estão organizadas e relacionadas entre si, em uma estrutura orgânica, embora ao mesmo tempo bem definida. Os conceitos de conectividade de redes podem ser aplicados em várias áreas, tais como: a física, a ciência da computação, a sociologia e o planejamento urbano, mais precisamente no estudo de redes viárias (Lynch, 1981; Salingaors, 2003). Alguns elementos da rede recebem diferentes nomes conforme a ciência que os emprega, sendo ainda muitas vezes utilizados na língua em que foram cunhados. Newman (2003) apresenta algumas definições e nomes correlatos:

- Vértice (matemática), *site* (física), nó (ciência da computação) ou ator (sociologia): unidade fundamental da rede;
- *Edge*, *laço/bond* (física), *elo/link* (ciência da computação) ou *laço/tie* (sociologia): linha que conecta dois vértices;
- Grafo orientado e não-orientado: um grafo é orientado se todos os *links* são orientados e um grafo é não-orientado quando tem dois *links* entre cada par de vértices conectados, um em cada sentido. *Link* orientado às vezes é chamado de arco.

As redes são topologicamente representadas como grafos, onde um grafo G compreende uma série de vértices ou nós V (intersecções e finais de ruas) e segmentos de ruas E conectadas a aqueles vértices (Hagget e Chorley, 1969). Os nós são lugares onde o indivíduo tem que tomar a decisão sobre o movimento na cidade. São também importantes localizações para a construção de imagens na paisagem urbana. A conectividade baseada em redes pode ser estudada segundo diferentes abordagens, tais como: *Small World*, Índice de Centralidade, Estruturas Comunitárias (em inglês, *Community Structure*), e Autocorrelação de Redes.

O efeito “*Small World*” se aplica sobretudo a redes de informação e significa dizer que a transmissão da informação é exponencial. Por exemplo, se forem consideradas seis pessoas para espalhar uma informação para quaisquer outras seis pessoas e assim sucessivamente,

então a informação se espalhará mais rápido que se forem consideradas centenas ou milhares de pessoas onde a transmissão da informação se dá apenas individualmente. Ao final, esta característica apresenta menores “distâncias de caminhada”, embora com muitas opções entre as origens e destinos (Watts e Strogatz 1998, Duckham e Kulik, 2003; Newman, 2003; Kuipers, 2001).

Já o *Índice de Centralidade* permite identificar o grau de centralidade da cidade (Marchand, 2002), característica potencialmente posta de lado pela policentralidade dos tempos modernos (Batty, 2001). Segundo Escolano (2003), a estrutura das ruas dentro de uma cidade configura um sistema estático próximo ao equilíbrio, interagindo com o entorno com o qual mantém alguma relação (incluindo a de canalizador de movimentos entre os edifícios). Por isso, há a influência das ruas sobre o movimento, a localização das pessoas, as atividades econômicas e sobre o uso do solo. A estes, e outros efeitos combinados, dá-se o nome de centralidade, importante na caracterização do território.

As *Estruturas Comunitárias* são particularmente importantes para a representação mental voltada para a navegação humana, tendo em vista que essa é topologicamente orientada (segundo Siegel e White, 1975; Kuipers, 1978; Thorndyke e Hayes-Roth, 1982) e também hierárquica (Stevens e Coupe, 1978). Posto de outra forma, a divisão das cidades em bairros (Girvan e Newman, 2002, Kuipers, 1978) leva à criação de uma identidade social (Rapoport, 1977; Proshansky *et al.*, 1983; Uzzel *et al.*, 2002), que permite uma análise topológica relevante para a localização e orientação na navegação humana, cujo raciocínio espacial se dá por meio de mapas cognitivos (Kuipers, 1978).

A *Autocorrelação de redes* existe sempre que uma variável exibe um padrão regular sobre uma rede na qual os valores de segmentos de dados dependem dos valores de uma mesma variável em outros segmentos. Pode ser vista como uma medida derivada da autocorrelação espacial de áreas, na qual o método utilizado decorre das inferências estatísticas para testar as hipóteses por meio do Índice de Moran. Dadas as características predominantemente quantitativas usualmente presentes nas análises de transportes, essa abordagem foi aqui selecionada para aplicação e estudo. Por esse motivo, alguns dos seus fundamentos teóricos são detalhados na subseção a seguir.

2.1. Análise Espacial e Autocorrelação de Redes

Segundo Lopes (2005) a análise espacial é o estudo, exploração e modelagem de processos que se expressam através da distribuição no espaço. A variação espacial de um fenômeno inscrito em um conjunto de técnicas, inclusive com métodos estatísticos, resulta no que se chama Estatística Espacial.

A Autocorrelação Espacial, um dos conceitos da Análise Espacial, é uma medida da relação entre os valores de uma variável observados em lugares distintos, mantendo uma interdependência. A hipótese de interdependência é testada por métodos da estatística tradicional. A autocorrelação de redes parte do mesmo princípio que a autocorrelação espacial, em que um fenômeno influencia seus vizinhos, numa relação de reciprocidade ou não. Na análise de redes, os valores são dos segmentos/arcos e não de áreas. Um dos índices para avaliar o nível de autocorrelação espacial de redes é o Índice de Moran (1947), definido conforme a Equação (1).

$$I = \frac{n}{\sum \sum_{ij} w_{ij}} \times \frac{\sum \sum_{ij} w_{ij} \times (x_i - \bar{x}) \times (x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Sendo: **I** = Índice de Moran, **n** = número de segmentos, **w_{ij}** = fator peso, indicando se o segmento *i* é conectado ao segmento *j* (por exemplo, igual a 1), ou não (igual a 0), **x_i** = valor da variável *x* no segmento *i*, **x_j** = valor da variável *x* no segmento *j*, **\bar{x}** = valor médio das variáveis.

O valor do índice varia de -1 a $+1$. Valores iguais ou próximos a -1 indicam que há uma autocorrelação negativa, ou seja, os valores vizinhos são extremamente diferentes. Valores iguais ou próximos a $+1$ indicam que há autocorrelação positiva, ou seja, os valores são similares nos segmentos adjacentes. Se o valor do índice estiver próximo a zero indica que não há autocorrelação, nem positiva, nem negativa.

O uso de uma abordagem de análise dos acidentes através da aplicação de conceitos de autocorrelação espacial em redes já foi proposta por Black e Thomas (1998), que analisaram a autocorrelação dos acidentes de trânsito na rede de rodovias belgas. No Brasil, no entanto, os trabalhos que aplicaram os conceitos de análise espacial para análise de acidentes, como Queiroz (2003) e Santos (2005), o fizeram a partir da distribuição original dos pontos ou da sua agregação em áreas. Tendo em vista que os dados utilizados por Santos (2005) foram disponibilizados para o presente estudo, todas as análises aqui propostas são realizadas também na cidade de São Carlos. Isso permite uma comparação direta dos resultados obtidos com as diferentes abordagens de análise já que, ao contrário da proposta desse estudo, Santos (2005) realizou somente análises de padrões pontuais e análises espaciais de áreas baseadas em dados de acidentes de trânsito. Em síntese, o autor identificou os pontos e áreas críticas, além da distribuição espacial dos acidentes e identificação das tendências de deslocamento através de mapas temáticos, médias móveis e *Box Map*. Parte desses procedimentos foi aqui reproduzido a partir da análise de redes, como é detalhado na metodologia.

3. METODOLOGIA

Como este trabalho se propõe a realizar uma complementação do estudo de Santos (2005), trabalhou-se com a mesma base de dados de acidentes e utilizou-se também o mesmo programa computacional TransCAD, um Sistema de Informação Geográfica para Transportes – SIG-T. Diferentemente de Santos (2005), que primeiro analisou a extensão da rede sem observar a gravidade dos acidentes e depois analisou a gravidade sem considerar a extensão da rede, na presente pesquisa trabalhou-se com a rede toda incorporando os acidentes e sua gravidade, além de considerar os casos em arcos e interseções de forma distinta.

Tendo em vista que as análises propostas neste trabalho se baseiam em redes, foram identificados fenômenos cuja ocorrência estivesse de alguma forma vinculada ou, mais do que isso, fosse dependente da rede. Esse parece ser o caso dos acidentes de trânsito, hipótese que foi aqui testada através de um estudo de caso realizado na cidade de São Carlos, região central do estado de São Paulo. Com aproximadamente 218 mil habitantes, a cidade contava em 2006 com uma das maiores frotas de veículos automotores do estado em termos relativos – aproximadamente 62 mil veículos, o que representa 0,28 veículo/habitante ou quase um carro por família, se considerado o padrão médio de cerca de quatro indivíduos por família.

No estudo de caso realizado foram utilizados os mesmos dados de acidentes de trânsito dos anos de 2001, 2002 e 2003, restritos à área urbana, trabalhados por Santos (2005). Estes dados são extraídos dos registros dos Boletins de Ocorrência (BOs) da Polícia Militar. Uma vez eliminados registros que continham inconsistências ou dados de natureza particular, tais como acidentes em locais fora da rede urbana ou em locais particulares (em estacionamentos privados, como no *Shopping Center*, por exemplo), os dados em que foi aplicada a metodologia estão resumidos na Tabela 1. Nessa Tabela, os acidentes são separados por tipo (atropelamentos, com danos materiais, com vítimas não fatais e com vítimas fatais), por ano (2001, 2002 e 2003) e de acordo com sua localização na rede (em arcos ou interseções).

Tabela 1 – Distribuição dos acidentes por tipo, por ano e por localização na rede

Tipos de acidentes	2001			2002			2003		
	Arcos	Esquinas	Total	Arcos	Esquinas	Total	Arcos	Esquinas	Total
Atropelamentos	63	37	100	56	42	98	55	37	92
Acidentes com danos materiais	954	1.342	2.296	796	1.427	2.223	766	1.395	2.161
Acidentes com vítima não fatal	202	377	579	168	380	548	169	446	615
Acidentes com vítima fatal	1	1	2	1	2	3	1	3	4
Totais	1.220	1.757	2.977	1.021	1.851	2.872	991	1.881	2.872

Segundo a metodologia proposta, a análise dos dados tem início com a caracterização do grau de autocorrelação espacial, através do cálculo do índice I de Moran, para cada um dos tipos de acidentes, nos três anos considerados.

Após uma análise preliminar nos dados, calculou-se o índice através da Equação (2), outra forma de obtenção do Índice de Moran. Na forma matricial, Z e W_z são vetores e Z^t é o transposto de Z . Z é o vetor de desvios, no caso, calculado com os acidentes de trânsito, sendo a diferença entre o valor do atributo e a média geral no conjunto de dados. W_z é o vetor que representa a diferença entre as médias ponderadas e a média geral do conjunto de dados.

$$I = \frac{Z^t \times W_z}{Z^t \times Z} \quad (2)$$

Adicionalmente, os valores de Z e W_z obtidos para cada elemento podem ser visualizados por meio do gráfico de espalhamento de Moran, que classifica cada elemento segundo quatro quadrantes. Essa operação é realizada no TransCAD utilizando-se uma condição do tipo: *if (Z>0 and Wz>0) then 1 else if (Z<0 and Wz<0) then 2 else if (Z<0 and Wz>0) then 3 else if (Z>0 and Wz<0) then 4 else 0*. Além disso, com essa classificação pelos quadrantes, podem ser visualizados os resultados através do mapa de espalhamento de Moran, conhecido como *Box Map*.

Na próxima etapa, os valores dos acidentes foram majorados pela Unidade Padrão de Severidade – a UPS, conforme definido em MT (2002). Esta majoração é em função da gravidade que as pessoas estão expostas ao tráfego e do valor econômico que um acidente

representa. O valor de um acidente com vítima fatal é muito mais grave social e financeiramente que um acidente com vítimas não-fatais, que por sua vez é muito mais grave que um acidente sem vítimas. Atropelamentos também foram majorados, já que a vítima (pedestre) não está envolvida diretamente na ação de dirigir um veículo. Os valores (pesos) atribuídos foram: acidente com danos materiais = 1, acidente com vítima = 4, atropelamento = 6 e com vítima fatal = 13. Para os valores majorados com a UPS também se calculou o índice I, a distribuição nos quadrantes e o *Box Map*. Com o resultado nos primeiros cálculos, a segunda etapa serviu também para verificar se haveria alguma alteração significativa nos mesmos, visto que novas informações foram acrescentadas. Além do número de acidentes foi considerada também a sua gravidade.

A próxima etapa consistiu em verificar se a localização específica dos acidentes interfere nos cálculos, tendo em vista o grande número de acidentes ocorridos em esquinas. Considerando que um acidente ocorrido numa esquina não deve ser atribuído somente a um segmento, mas a todos os componentes do cruzamento, visto que é um acontecimento que na maioria das vezes ocorreu em função do próprio cruzamento, a distribuição dos acidentes pelos segmentos nas últimas análises ocorreu de duas maneiras:

- Acidentes ocorridos no meio da quadra foram atribuídos ao segmento onde estavam georreferenciados;
- Acidentes ocorridos na esquina ou próximos a ela, num raio de 10 m, foram atribuídos aos segmentos constituintes do cruzamento. Em uma esquina formada pelo encontro de quatro segmentos, por exemplo, o valor total de acidentes foi dividido por quatro e atribuído aos quatro segmentos.

No total foram realizadas 18 análises. Inicialmente foram considerados todos os tipos de acidentes conjuntamente. Em seguida, os mesmos dados foram divididos em: atropelamentos, acidentes com danos materiais e acidentes com vítimas não fatais. Não foram feitas análises separadas com os valores de acidentes com vítimas fatais, tendo em vista o reduzido número observado em relação ao total de acidentes: dois em 2001, três em 2002 e quatro em 2003.

O conjunto total de dados foi novamente computado, com a UPS, de duas maneiras distintas. Na primeira delas, os dados de acidentes foram atribuídos aos arcos da rede de forma individualizada (ou seja, cada acidente era atribuído ao segmento da rede mais próximo). A diferença desse caso (e do próximo) para as primeiras análises passou a ser a consideração dos valores de UPS, que majoram os valores de acidentes de acordo com a severidade. No último caso, cada acidente de esquina passou a contar como uma fração, calculada a partir do número de aproximações da interseção onde ocorreu. Assim, um atropelamento numa esquina com quatro aproximações resultaria em um valor de um e meio (um acidente com peso seis, valor do atropelamento na UPS, dividido por quatro aproximações).

4. RESULTADOS

Os números da Tabela 1 mostram que os acidentes foram em torno de 2.900 por ano no período considerado, na sua maioria apenas com danos materiais. Além disso, predominavam os acidentes em cruzamentos ou nas aproximações destes. Isto não ocorreu, no entanto, com os atropelamentos, que na sua maioria aconteceram nos arcos da rede e não nas esquinas.

Todos esses cálculos descritos na metodologia foram realizados com os dados dos anos de 2001, 2002 e 2003 (seis análises para cada ano), e resultaram nos valores de I de Moran apresentados na Tabela 2. Outro elemento importante de avaliação é a distribuição dos resultados por quadrante, cujos valores aparecem na Tabela 3, obtidos com as três análises que utilizaram a totalidade dos dados.

Tabela 2 – Valores de I em função do ano e da classificação do tipo de dado analisado

<i>Dados analisados</i>	I de Moran		
	2001	2002	2003
Total de acidentes	0,15041	0,12860	0,10392
Atropelamentos	0,02398	0,04115	0,00583
Acidentes com danos materiais	0,15584	0,13091	0,11456
Acidentes com vítimas não fatais	0,05357	0,05331	0,03060
Total de acidentes com severidade (UPS)	0,12442	0,10941	0,07255
Total com UPS em arcos e interseções	0,67049	0,70284	0,67560

Tabela 3 – Tabela com a distribuição do número de segmentos por quadrante

Dados analisados	Ano	Segmentos por Quadrante			
		Q1	Q2	Q3	Q4
Total de acidentes	2001	565	7.029	1.647	543
	2002	583	7.089	1.590	522
	2003	572	7.036	1.657	519
Total de acidentes com severidade (UPS)	2001	528	7.085	1.591	580
	2002	546	7.081	1.598	559
	2003	555	7.096	1.597	536
Total com UPS em arcos e interseções	2001	1.461	7.401	738	180
	2002	1.489	7.256	866	135
	2003	1.495	7.256	812	158

Os mapas das Figuras 1, 2 e 3 contêm os *Box Map* das três formas de análise do conjunto total de dados já discutidas nas Tabelas 1 e 2, todos relacionados aos dados do ano de 2001 e destacados nas Tabelas citadas. Considerando que a rede viária da cidade de São Carlos é relativamente grande, cada Figura apresenta quatro mapas para sua melhor compreensão, pois o tamanho reduzido da imagem poderia dificultar a apreensão do todo se os quadrantes fossem representados em único mapa com quatro classes. Buscou-se manter o mesmo padrão em todos os resultados a fim de facilitar a comparação entre as caracterizações. Assim sendo, tem-se sempre no canto superior direito os segmentos no quadrante Q1 destacados, no canto inferior esquerdo os segmentos de Q2, à esquerda no alto os segmentos de Q3 e à direita, na parte inferior, os segmentos de Q4.

Na Figura 1, onde aparecem representados os quadrantes do *Total de acidentes* percebe-se uma maior concentração de valores nos quadrantes Q2 (7.029 segmentos) e Q3 (1.647 segmentos), o que também havia sido observado na Tabela 3. Na Figura 2, onde o *Total de acidentes foi ponderado com a UPS*, isso também ocorre. Ou seja, mantém-se uma maior concentração de segmentos nos quadrantes Q2 (7.085 casos) e Q3 (1.591 casos). Na Figura 3, onde o *Total de acidentes foi ponderado com a UPS considerando os casos em arcos e interseções de forma distinta* percebe-se uma mudança na distribuição dos valores que, embora ainda estejam fortemente concentrados em Q2 (7.401 segmentos), apresentam

um grande concentração em Q1, que passou a registrar 1.461 casos. Esses valores representam mudanças dos quadrantes Q3 e Q4 para Q1.

O padrão de variação observado nos três casos de 2001 ocorre de forma semelhante em 2002 e 2003, como se pode inferir a partir da análise das Tabelas 2 e 3.

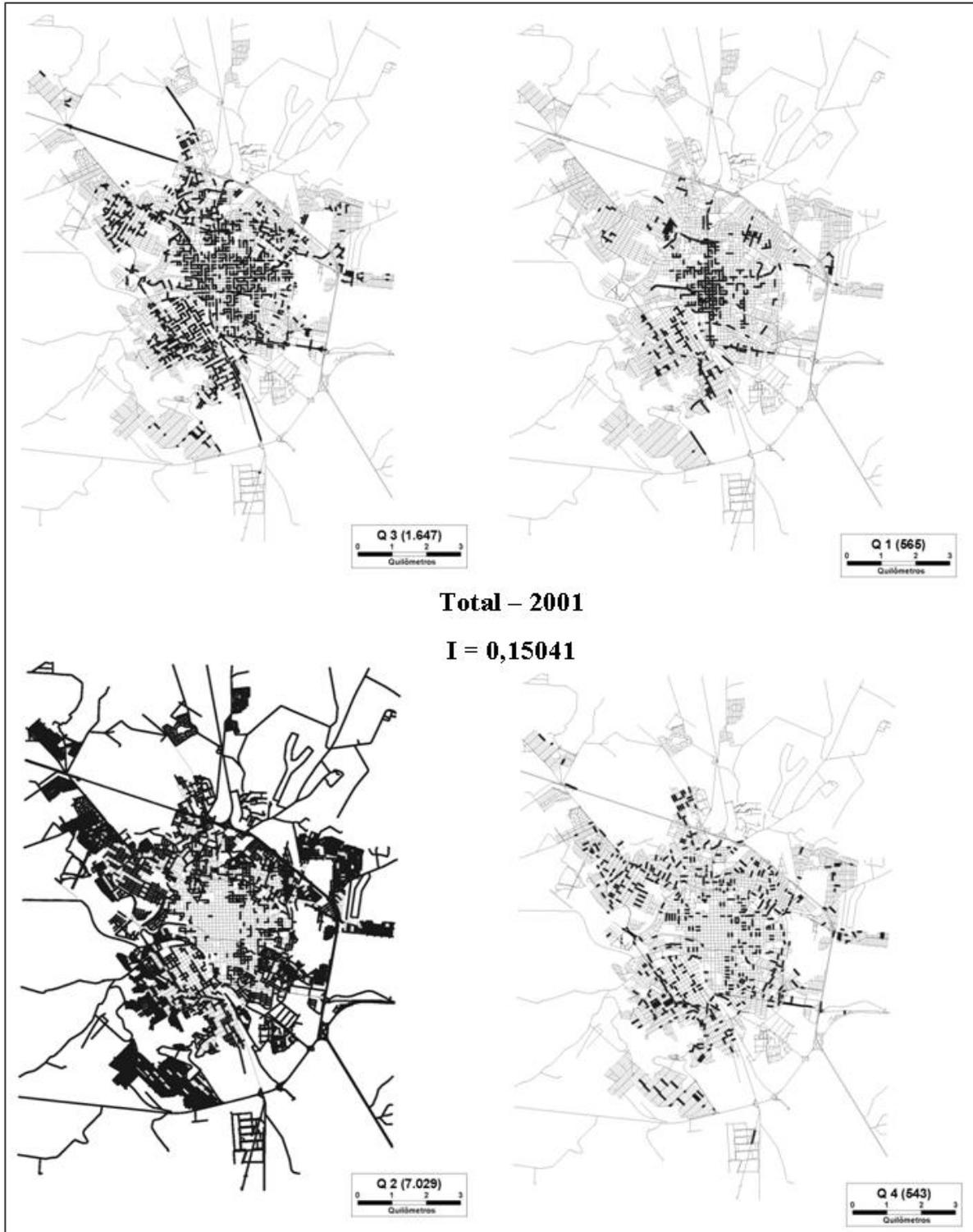


Figura 1 – Distribuição por quadrantes para o *Total de acidentes* em 2001

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os Índices de Moran encontrados nas primeiras análises apresentaram valores baixos, próximos à zero, indicando ausência de autocorrelação espacial. Isso foi verificado tanto para os totais de acidentes como para os dados separados por tipo de acidente, conforme resultados apresentados na Tabela 2. A ausência de autocorrelação nesses casos pode ser consequência do grande número de segmentos com valor zero.



Figura 2 – Distribuição por quadrantes para o *Total de acidentes com severidade (UPS)* em 2001

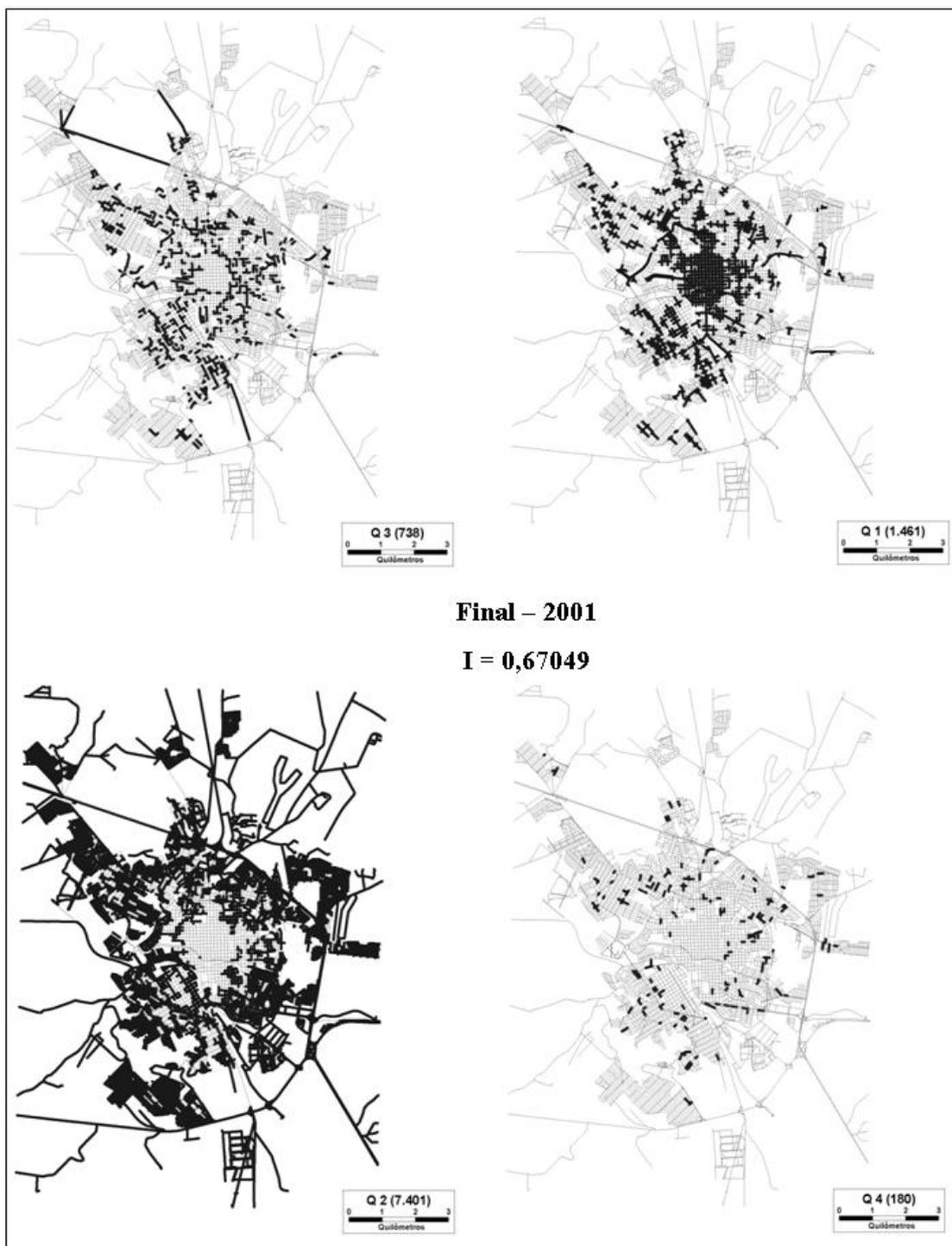


Figura 3 – Distribuição por quadrantes para o *Total de acidentes com UPS em arcos e interseções* em 2001

Nas análises seguintes os acidentes foram então majorados pela sua gravidade de acordo com a UPS. Com isso, os acidentes mais graves, que na maioria das vezes ocorrem na periferia, poderiam eventualmente se equiparar com a grande concentração de acidentes mais leves (danos materiais) que ocorrem na região central. Isso poderia produzir uma alteração nos resultados do índice de autocorrelação, o que, no entanto, não se verificou.

Na última etapa, além da severidade, foi considerada a localização dos acidentes nos arcos e esquinas para a determinação da área de influência nos mesmos.

Desta maneira buscou-se distribuir os acidentes nos segmentos da rede de forma mais próxima da realidade. Com a mudança na distribuição dos atributos houve uma alteração significativa dos valores no resultado final, em parte devido à redução no número de segmentos com valor zero. Por exemplo, enquanto o resultado de I para o *Total de acidentes* em 2001 foi 0,15041, na última análise, o valor de I foi de 0,67049, representando um aumento de 3,5 vezes.

Mais importante do esse aumento, é a evidência de autocorrelação espacial. Tal fato se deve principalmente a redução de segmentos com valor zero, visto que nas análises anteriores era visível que determinados segmentos tinham relação direta com o acidente e, no entanto, o valor do atributo era zero. Com isso pode-se inferir que a maneira de distribuir os valores do atributo é tão ou mais importante do que o próprio valor do atributo em si.

6. CONCLUSÕES

A primeira conclusão relevante desse estudo é que a forma de caracterização geográfica dos acidentes pode interferir significativamente nos resultados da análise. Isso foi evidenciado pelas diversas análises realizadas, pois apesar dos valores – quantitativos de acidentes – serem iguais em todas as simulações, os valores encontrados para o I de Moran foram muito díspares. Enquanto os dados originais com majoração em função da UPS mostraram uma ausência de autocorrelação, no caso da sua divisão entre acidentes ocorridos na quadra ou em cruzamentos e sua conseqüente divisão entre os segmentos vizinhos, os resultados passaram a apontar uma autocorrelação espacial positiva.

Além da maneira como são caracterizados geograficamente os dados, outro ponto em questão foi quanto à dispersão dos pontos de acidentes na rede viária, já que ao longo dos três anos percebeu-se o deslocamento na quantidade e tipo dos mesmos. A tendência é que os acidentes se tornem mais freqüentes na periferia da cidade do que no centro. Este é mais um fator que interfere na análise de autocorrelação, principalmente quando são considerados pesos para representar a severidade de acidentes. Levando-se em consideração a dispersão e a geografia dos acidentes, estes apresentaram certo padrão ao longo do tempo. Acidentes mais leves ocorreram ao longo do eixo Norte-Sul no centro da cidade e imediações, e acidentes mais graves nas regiões periféricas mais afastadas, nos três anos analisados.

Com relação ao resultado das últimas análises verificou-se que a rede viária apresentou autocorrelação positiva, indicando que o atributo (numero de acidentes) de um segmento varia pouco em relação a seus vizinhos. Em outras palavras, os acidentes não são fatos isolados; um acidente interfere no segmento em que ocorre, influenciando os segmentos vizinhos e vice-versa.

Esta metodologia mostrou-se mais adequada que a análise de áreas conduzida por Queiroz (2003) e Santos (2005) para o problema em questão, já que o acidente é considerado na sua intensidade (UPS) e sua localização de forma mais próxima da realidade. Desta forma, a metodologia desenvolvida para esta análise correspondeu ao esperado, ou seja, permitiu demonstrar que alguns fenômenos que são intrinsecamente relacionados a redes (caso dos acidentes de transito) podem ser representados e analisados com ferramentas e técnicas de análise espacial, em particular, a autocorrelação espacial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), à CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) por contribuírem para diferentes fases do desenvolvimento da pesquisa que deu origem a esse artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batty, M. (2001) Polynucleated Urban Landscapes. *Urban Studies*, v. 38, n. 4, p. 635-655.
- Black, W. R. e I. Thomas (1998) Accidents on Belgium's Motorways: a Network Autocorrelation Analysis. *Journal of Transport Geography*. v. 6, n. 1, p. 23-31.
- Duckham, M. e L. Kulik (2003) Simplest Paths: Automated Route Selection for Navigation. In: Kuhn, W.; M. Worboys e S. Timpf (eds.) *Lecture Notes in Computer Science* 2825. Springer-Verlag. p. 1269-1285.
- Escolano, S. (2003) On the Information Contents of Urban Layouts. *Fourth International Space Syntax Conference*. Londres.
- Girvan, M. e M. E. J. Newman (2002) Community Structure in Social and Biological Networks. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, v. 99, p. 7821-7826.
- Hagget, P. e R. J. Chorley (1969) *Network Analysis in Geography*. St. Martin's Press, New York.
- Kuipers, B. (1978) Modelling Spatial Knowledge. *Cognitive Science*. v. 2, n. 2, p. 129-153.
- Kuipers, B. (2001) The Skeleton in the Cognitive Map: a Computational Hypothesis. In: Peponis, J.; J. Wineman e S. S. Bafna, (eds.) *Space Syntax: Proceedings of the Third International Symposium* (pp. 10.1-10.7). University of Michigan, Ann Arbor.
- Lynch, K. (1981) *Good City Form*. MIT Press, Cambridge.
- Lopes, S. B. (2005) *Efeitos da Dependência Especial em Modelos de Previsão de Demanda por Transportes*. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 137 p.
- Marchand, D. (2002) Representation of the City and Image of the Centre in Two Different Structures: a Modern and a Traditional One. In: Moser, G.; E. Pol, Y. Bernard, M. Bonnes, J. Corraliza e V. Giuliani (eds.) *Places, People and Sustainability*. Hogrefe and Huber, Gottingen, Germany. p. 11-24.
- Moran, P. A. P. (1947) The Interpretation of Statistical Maps. *Proceedings of the Cambridge Philosophy Society*, n. 44, p. 342-344.
- MT (2002) Programa PARE – Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- Newman, M. E. J. (2003) The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*. v. 45, p. 167-256.
- Odland, J. (1988) *Spatial Autocorrelation*. Sage Publications, California.
- Proshansky, H. M.; A. K. Fabian e R. Kminoff, (1983). Place Identify: Physical World Socialization of the Self. *Journal of Environmental Psychology*. v. 3, n. 1, p. 57-83.
- Queiroz, M. P. (2003) *Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza*. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Fortaleza, Fortaleza, 117 p.
- Rapoport, A. (1977) *Human aspects of urban form*. Pergamon Press, Oxford.
- Salingeros, N. (2003) Connecting the Fractal City. *Keynote Speech, Fifth Biennial of Towns and Town Planners in Europe*, Barcelona
- Santos, L. (2005) *Análise dos Acidentes de Trânsito do Município de São Carlos – SP utilizando Sistema de Informação Geográfica SIG e Ferramentas de Análise Espacial*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 136p.
- Siegel, A. W. e S. H. White (1975) The Development of Spatial Representations of Large-scale Environments, In: H. W. Reese (ed.) *Advances in Child Development and Behavior*. v. 10, p. 9-55. Academic Press, New York.
- Stevens, A. e P. Coupe (1978) Distortions in Judged Spatial Relations. *Cognitive Psychology*. v. 10, p. 422-437.
- Thorndyke, P. W. e B. Hayes-Roth (1982) Differences in Spatial Knowledge Acquired from Maps and Navigation. *Cognitive Psychology*, v. 14, p. 560-589.
- Uzzell, D.; E. Pol e D. Badenas (2002) Place Identification, Social Cohesion and Environmental Sustainability. *Environment and Behavior*. v. 34, n. 1, p. 26-53.
- Watts, D. J. e Strogatz, S. H. (1998) Collective Dynamics of "Small World" Networks. *Nature*. v. 393, p. 440-442.

ANDRÉA JÚLIA SOARES
arq_andreajulia@yahoo.com.br

ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA
anelson@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13566-590 São Carlos - SP – Brasil
Fone: 0055 (16) 33739595 Fax: 0055 (16)
33739602