

# Metodologia de análise espacial para identificação de locais críticos considerando a severidade dos acidentes de trânsito

M. P. Queiroz<sup>1</sup>

*Universidade de Brasília - UnB, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes - CEFTRU, Brasília, Distrito Federal, Brasil*

C. F. G. Loureiro<sup>2</sup>

*Universidade Federal do Ceará - UFC, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN, Fortaleza, Ceará, Brasil*

Y. Yamashita<sup>3</sup>

*Universidade de Brasília - UnB, Programa de Pós-Graduação em Transportes, Brasília, Distrito Federal, Brasil*

Artigo Recebido: 14/04/2004 - Aprovado: 10/08/2004

**RESUMO:** Este artigo descreve e aplica uma metodologia de análise espacial para identificação dos locais críticos de acidentes de trânsito com base no índice de severidade do acidente, permitindo ao analista selecionar a forma mais adequada para tratamento de cada local crítico na malha viária de uma cidade. Como principal ferramenta de análise, utiliza-se a rotina de agrupamento espacial do vizinho mais próximo a qual possibilita identificar e representar os locais críticos (interseções, trechos, corredores e áreas) de ocorrência de eventos espaciais em um mapa digital por intermédio do conceito de elipse de desvio padrão. Acredita-se que este trabalho apresenta uma significativa contribuição para a elaboração de novas metodologias de estudos de acidentes de trânsito que incorporem outras variáveis relacionadas aos acidentes, como volume de tráfego, e também outros eventos de caráter espacial que contribuem para a ocorrência deste grave fenômeno urbano.

**ABSTRACT:** This paper presents and applies a methodology of spatial analysis to identify traffic accidents critical spots based on the severity index, allowing the analyst to select the appropriate treatment for each critical spot in an urban street network. As the main analytical tool, it is applied the nearest neighbor hierarchical spatial grouping technique which allows to identify and to represent the critical spots (intersections, links, corridors and areas) in terms of occurrence of spatial events in a digital map using the concept of the standard deviation ellipse. This work may give a significant contribution to the development of new methodologies of traffic accidents studies based on other variables related to the accidents, as traffic volumes, and also other spatial events that contribute for the occurrence of this critical urban phenomenon.

## 1 INTRODUÇÃO

Verifica-se atualmente nas médias e grandes cidades brasileiras um aumento da frota veicular causado, dentre outros fatores, não só pelos baixos níveis de serviço no transporte público urbano (tarifas elevadas, ônibus superlotados, itinerários inadequados à demanda), como principalmente pela redução relativa dos preços dos veículos automotores, proporcionado tanto pelo estágio de desenvolvimento tecnológico da indústria automobilística, quanto pelas fontes de financiamento existentes no mercado. Tal fato tem acarretado elevados níveis de saturação viária, baixas velocidades médias nos períodos de pico, assim como numa maior ocorrência de acidentes de trânsito.

Para combater e reduzir este fenômeno recomenda-

se a aplicação de metodologias de estudos de acidentes que, segundo IHT (1996), consistem basicamente das etapas de coleta de dados, identificação de locais problemáticos, diagnóstico dos problemas e proposição e avaliação de medidas corretivas. No Brasil, propostas de novas legislações e metodologias vem sendo apresentadas com o intuito de identificar e reduzir as causas de ocorrências de acidentes, destacando-se as Diretrizes de Segurança de Trânsito (DENATRAN, 1987), o Código de Trânsito Brasileiro (DENATRAN, 1997) e o Programa Pare - Ministério dos Transportes (2002). Apesar disto, os índices nacionais de acidentes - 12,3 mortos por 100 mil habitantes, sem considerar dados de alguns Estados (DENATRAN, 2002) - permanecem elevados quando comparados aos padrões internacionais, repercutindo em prejuízos econômicos

e sociais para a população brasileira. Espera-se que as metas estabelecidas na recém elaborada Política Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2004) consigam reverter este quadro.

Como alternativa para reduzir estes índices, uma nova linha de pesquisa vem estudando como os conceitos e ferramentas de análise espacial podem ser aplicados aos estudos de segurança viária. Internacionalmente, já foram elaboradas várias aplicações (Bayapureddy, 2004; Flahaut *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2002; Nicholson, 1998; Jones *et al.*, 1996; Levine *et al.*, 1995), destacando-se os dois trabalhos citados a seguir. Nicholson (1998) seleciona o programa de redução de acidentes por tipo de local conforme a distribuição espacial dos acidentes. Como exemplo, o autor indica a aplicação do programa de redução para via crítica se o modelo de distribuição dos acidentes for não-estacionário e anisotrópico. Flahaut *et al.* (2003) aplicam a autocorrelação espacial e o estimador de Kernel para identificar trechos críticos de acidentes em estradas, concluindo que ambas as ferramentas podem auxiliar na etapa de identificação de locais críticos. No Brasil, algumas pesquisas já fizeram uso das ferramentas de análise espacial, destacando-se Queiroz e Loureiro (2003), que obtiveram uma caracterização espacial mais sistêmica da segurança na malha viária de Fortaleza aplicando as ferramentas de análise espacial exploratória em áreas, além de Queiroz *et al.* (2004) que aplicaram as ferramentas de análise exploratória de padrões pontuais para caracterizar as concentrações de acidentes e representar áreas críticas de acidentes em Fortaleza.

O presente trabalho constitui uma contribuição à linha de pesquisa de estudos de acidentes de trânsito usando ferramentas de análise espacial, buscando apresentar e aplicar uma metodologia de análise espacial para identificação dos locais críticos de acidentes de trânsito (interseções, trechos, corredores ou áreas) em uma malha viária urbana, com base na aplicação de ferramentas de análise espacial exploratória de padrões pontuais. Com este intuito, este estudo apresenta a seguir uma revisão sobre o conceito de metodologia de identificação de locais críticos de acidentes, com o qual se pretende apresentar a contribuição significativa que a análise do caráter espacial dos acidentes pode proporcionar à compreensão deste grave fenômeno urbano. Logo após, os conceitos e ferramentas de análise espacial exploratória de padrões pontuais são apresentados. A descrição e a aplicação da metodologia aos dados de acidentes em Fortaleza são realizadas, respectivamente, nas seções 4 e 5. A última seção apresenta as conclusões deste trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 METODOLOGIAS DE IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS CRÍTICOS

Uma das principais etapas dos estudos dos acidentes de trânsito é a identificação de locais problemáticos,

com concentrações elevadas de ocorrências num dado período de tempo. Tradicionalmente, os procedimentos de identificação destes locais críticos na malha viária baseiam-se na determinação de *índices*, absolutos ou relativos (taxas), de ocorrência de acidentes, com posterior hierarquização dos locais prioritários para tratamento. Depois de realizadas as intervenções nos locais selecionados, os índices de acidentes também servem para avaliar a eficácia das medidas implantadas, com base em estudos antes e depois. Além disso, os índices de acidentes são normalmente usados como indicadores de desempenho da segurança viária de uma dada localidade (municípios, estados ou países), sendo comparados tanto com valores observados em outras localidades, como com índices padrões nacionais e internacionais. Alguns indicadores de desempenho também vêm sendo aplicados para avaliar a eficácia das medidas de redução de acidentes implementadas por organizações do setor público, privado e do Terceiro Setor (Diógenes, 2004).

Com respeito aos diferentes tipos de índices de acidentes tradicionalmente utilizados, os índices absolutos são caracterizados por apenas uma única variável representativa do caráter temporal do fenômeno dos acidentes; podendo esta variável estar estratificada em classes, ponderadas ou não. Os dois índices absolutos mais usados no Brasil são o *Índice de Frequência* e o *Índice de Severidade*. O primeiro contabiliza a quantidade de acidentes por local, em um determinado período de tempo, definindo-se normalmente como local crítico aquele com índice de frequência superior à média aritmética dos índices registrados em cada um dos locais em análise; ou então, superior a algum índice preestabelecido pelo órgão gestor por meio de análise de viabilidade econômica. Já o índice de severidade dos acidentes, medido em Unidade Padrão de Severidade (UPS), é o resultado da soma dos produtos da frequência de cada tipo de severidade pelo peso atribuído à respectiva severidade, sendo considerados locais críticos aqueles com valores superiores à média estabelecida para o programa. O Ministério dos Transportes (2002) atribui os seguintes pesos, conforme a severidade: 13 para acidentes com vítimas fatais; 6 para acidentes com vítimas feridas por atropelamento; 4 para acidentes com vítimas feridas por outro tipo de acidente; e 1 para acidentes sem vítimas. Esta mesma instituição apresenta a praticidade e o baixo custo como vantagens do uso de índices absolutos, citando como desvantagem o seu direcionamento para locais com elevados volumes de tráfego.

Os índices relativos (taxas) foram concebidos porque os índices absolutos não relacionam os acidentes a alguns de seus fatores causadores, denominados de variáveis de base (McShane e Roess, 1990). São definidos como a razão entre um índice absoluto e um outro parâmetro referente ao mesmo local e intervalo de tempo. As variáveis de base podem ser subdivididas em duas categorias: baseadas em população ou em medidas de exposição. Os valores

baseados em população servem para quantificar e comparar o risco de envolvimento em acidentes para um indivíduo, destacando-se as variáveis número de habitantes, assim como veículos ou motoristas licenciados em uma determinada área. Já os parâmetros do segundo grupo mensuram a exposição do indivíduo ao risco de acidentes, destacando-se o volume de tráfego, a quantidade de quilômetros percorridos e a quantidade de horas de deslocamento dos veículos. Segundo Cardoso (1998), não existe atualmente um consenso sobre a melhor medida de exposição do ponto de vista prático. Entretanto, Framarim *et al.* (2002) citam que um dos índices relativos mais aplicados é a Taxa de Acidentes, cuja medida de exposição é o volume de tráfego. A vantagem deste tipo de índice é a neutralização da influência da medida de exposição ao risco, pois locais com elevados volumes tendem a possuir maior frequência de acidentes. Sua desvantagem está relacionada aos elevados custos das pesquisas de volume de tráfego em zonas urbanas devido à extensão e à segmentação da malha viária, o que vem sendo atenuado com a utilização cada vez mais intensa de detectores automáticos conectados a centrais de controle semafórico e a equipamentos de fiscalização eletrônica, como vem ocorrendo em Fortaleza.

Uma abordagem diferenciada de índice relativo foi proposta por Queiroz e Loureiro (2003) para a análise de acidentes agregados em áreas. Em seu trabalho, os autores definem um índice da quantidade de acidentes por quilômetro de malha viária em uma determinada zona de tráfego, num certo período de análise. A variável inserida no denominador apresenta a vantagem de representar as dimensões físicas das zonas, não possuindo um elevado grau de correlação com os acidentes, o que permite destacar a heterogeneidade do fenômeno da ocorrência de acidentes entre as diferentes zonas que compõem o município de Fortaleza. Entende-se que este seja o procedimento mais correto, isto é, adotar variáveis com baixa correlação quando se deseja analisar espacialmente os acidentes agregados em áreas.

De acordo com o Ministério dos Transportes (2002), os índices de acidentes (absolutos e relativos) podem ser classificados segundo algumas linhas de atuação. As linhas de atuação consistem em formas de se aplicar estes índices, seguindo alguns critérios espaciais (locais críticos e áreas críticas) ou descritivos das características dos acidentes (tipo de usuário, acidente típico e solução típica). A linha de atuação do local crítico considera como problemático qualquer local pertencente à malha viária que apresente índices de acidentes iguais ou superiores a um critério estabelecido, independente do tipo de acidente, de usuário ou da solução a ser adotada. Já a linha da área crítica é usada quando uma elevada proporção dos acidentes está muito dispersa, inviabilizando a caracterização de locais significativamente críticos em relação aos demais. Quanto às linhas de caráter descritivo, a linha de atuação por tipo de usuário está

associada à adoção de políticas públicas voltadas para um determinado público alvo (por exemplo, pedestres ou ciclistas), vítimas de um índice elevado de ocorrências no período considerado. Já as linhas de atuação do acidente típico e da solução típica envolvem a identificação de locais que possuam índices elevados para certos tipos de acidentes, aplicando-se soluções já conhecidas e testadas que possibilitem reduzir estes índices. Entretanto, Mitic *et al.* (1999) destacam que a linha da solução típica reverte a lógica tradicional de associar soluções a problemas, para primeiro identificar tipos de colisões que possam ser solucionadas por medidas específicas e depois selecionar locais que tenham índices significativos destes tipos de colisões.

Ao serem analisados os diversos tipos de índices de acidentes, percebe-se que a utilização atualmente feita destes indicadores de desempenho da segurança viária não vem incorporando adequadamente o caráter espacial inerente aos acidentes de trânsito. Flahaut *et al.* (2003) citam que a análise espacial já tem despertado algum interesse, mas vários aspectos metodológicos básicos têm sido negligenciados, tais como os conceitos de agregação espacial de dados e de concentração de acidentes. Os índices absolutos não permitem isolar os efeitos de outras variáveis que interferem no fenômeno dos acidentes. Já os índices relativos vêm sendo utilizados basicamente como taxas de acidentes por volume de tráfego em um dado período, enfatizando o caráter temporal e anulando o atributo espacial. Acredita-se que estes indicadores, uma vez determinados em uma plataforma SIG e manipulados pelo ferramental de análise espacial, podem ser usados para identificar locais críticos considerando relações topológicas e medidas de exposição específicas por tipo de usuário. Portanto, a contribuição deste artigo reside no desenvolvimento de uma metodologia de análise espacial para identificação dos locais críticos de acidentes de trânsito, aplicando ferramentas de análise espacial exploratória de padrões pontuais.

### 3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESPACIAL DE PADRÕES PONTUAIS

A análise espacial já é bastante conhecida e utilizada por pesquisadores na área de Transportes, embora a maioria das aplicações limite-se a usar as ferramentas mais simples deste tipo de análise, ou seja, as ferramentas de seleção e manipulação (Teixeira *et al.*, 2002). Estas ferramentas possibilitam a visualização e geração de novos dados, porém possuem efetividade limitada para mensurar propriedades e relacionamentos existentes entre os dados espaciais (Câmara *et al.*, 2000). A mensuração de tais relações pode ser obtida com a aplicação de ferramentas de análise espacial mais robustas, classificadas como análise exploratória e confirmatória. Neste trabalho são usadas as

ferramentas relacionadas à análise exploratória de padrões pontuais.

Qualquer conjunto de dados localizados pontualmente e associados a eventos dentro da área de estudo pode ser denominado de padrão pontual. Os principais objetivos desta análise consistem em identificar os fatores que determinam a concentração ou a dispersão espacial além de identificar fatores de risco associados a estes eventos (Câmara e Carvalho, 2000).

Dentre as várias funções disponíveis em pacotes computacionais de estatística espacial passíveis de utilização para identificar locais críticos de acidentes, destacam-se o índice de Moran, o estimador de Kernel, o Diagrama de Espalhamento de Moran e as técnicas de agrupamentos espaciais. Segundo Flahaut *et al.* (2003), os dois primeiros são mais indicados para identificação de vias críticas, enquanto as técnicas de agrupamentos são mais indicadas para identificação de interseções e trechos críticos e, por este motivo, foram selecionadas para esta metodologia. As técnicas de agrupamentos espaciais têm sido aplicadas em caracterizações espaciais de acidentes de trânsito, destacando-se as pesquisas de Queiroz *et al.* (2004) e Levine *et al.* (1995). O presente artigo tem o intuito de aplicar estas técnicas ao problema específico de elaboração de uma metodologia para identificar locais críticos de acidentes. Para tanto, apresenta-se inicialmente um referencial teórico sobre estas técnicas.

### 3.1 Agrupamentos espaciais

Desde os primórdios, no estudo de fenômenos espacial ou não, o ser humano agrega dados em classes, cujos métodos de estudo se inserem na análise de agrupamentos – *clusters* (Everitt, 2001). Enquanto a estatística comum, não espacial, denomina agrupamento qualquer agregado de eventos resultantes de uma classificação que congrega elementos com características semelhantes, considerando atributos não espaciais, o agrupamento espacial consiste em agrupar eventos (pontos, linhas e áreas) no espaço, em determinado período de tempo, cuja distância intereventos é o principal fator.

Dentre as diversas técnicas de agrupamento espacial uma das mais aplicadas, segundo Ripley (1981), é a técnica hierárquica, a qual agrupa dois ou mais pontos baseada em algum critério do tipo: média das distâncias, vizinhos mais próximos, vizinhos mais distantes, etc. Bailey e Gatrell (1995) citam que o critério do vizinho mais próximo é o mais usado em problemas de agrupamentos. No caso de acidentes de trânsito, o procedimento operacional para identificar estes agrupamentos consiste em definir uma tabela de dados dos acidentes, contendo suas coordenadas e principais atributos no algoritmo desta técnica, e definir os seguintes parâmetros: valor da área de estudo, da quilometragem aproximada da rede viária, da

quantidade mínima de pontos contida em um agrupamento, do valor de probabilidade  $t$  e do desvio padrão a ser considerado na representação da elipse de desvio padrão. Logo após, a rotina calcula uma distância limite entre pontos e compara com as outras distâncias entre todos os pares de pontos. Somente os pontos que são mais próximos a um ou mais pontos dentro da distância limite são selecionados para os agrupamentos de 1ª ordem. Em seguida, são calculados os centros mínimos (ponto em que a soma das distâncias a todos os outros pontos é mínima) de cada agrupamento de 1ª ordem, para gerar os agrupamentos de 2ª ordem. Da mesma maneira, são elaborados os agrupamentos de maior ordem, com este processo se repetindo até que mais nenhum agrupamento seja possível, ou que todos os agrupamentos convirjam em um único agrupamento, ou ainda, o mais provável, que um dos critérios de agrupamento não seja verificado (NIJ, 2002).

Para visualizar os agrupamentos com a técnica hierárquica do vizinho mais próximo, inicialmente deve-se calcular a distância aleatória média do vizinho mais próximo ( $D_a$ ) por meio da Equação 1:

$$D_a = 0,5\sqrt{A/N} \quad (1)$$

na qual:  $D_a$  = distância aleatória média do vizinho mais próximo;  $A$  = área da região;  $N$  = quantidade de pontos.

Em seguida, deve-se calcular um intervalo de confiança para a distância ( $D_a$ ). Antes, porém, necessita-se definir um valor de probabilidade  $t$  para a distância entre qualquer par de pontos. Este valor “ $p$ ” significa que menos do que  $p\%$  dos pontos teriam distância do vizinho mais próximo menor do que a distância limite, supondo uma distribuição aleatória. A expressão deste intervalo é a seguinte:

$$IC = D_a \pm t * SE_{Aleat.} \quad (2)$$

onde:  $IC$  = intervalo de confiança;  $D_a$  = distância aleatória média do vizinho mais próximo;  $SE_{aleat.}$  = erro médio da distância aleatória do vizinho mais próximo;  $t$  = valor associado a um percentual de probabilidade observado na distribuição *t-Student*.

O erro médio da distância ( $D_a$ ) é calculado por meio da seguinte expressão (Cressie, 1993):

$$SE_{aleat.} = \sqrt{\frac{(4 - \pi)A}{4\pi N^2}} \cong \frac{0,26136}{\sqrt{N^2 / A}} \quad (3)$$

Desta maneira, o intervalo de confiança é obtido pela equação abaixo:

$$IC = 0.5\sqrt{A/N} \pm t * \left( \frac{0,26136}{\sqrt{N^2 / A}} \right) \quad (4)$$

Para representar a localização dos agrupamentos é usada a ferramenta de elipse de desvio padrão que fornece a medida de dispersão espacial dos pontos em duas dimensões ao redor do centro da distribuição dos eventos. Aplicações desta ferramenta aos estudos de acidentes de trânsito podem ser encontradas na pesquisa de dissertação de mestrado de Queiroz (2003).

São duas as principais limitações desta técnica de agrupamento (NIJ, 2002). A primeira é que o tamanho da área de agrupamento depende do tamanho da amostra, ou seja, distribuições com muitas ocorrências terão distâncias aleatórias menores do que aquelas que têm poucas ocorrências. A segunda limitação é que não há qualquer teoria explicativa sobre a causa dos agrupamentos, pois estes são derivados de procedimentos empíricos. É responsabilidade do analista de dados identificar as causas do fenômeno. Grubestic e Murray (2003) também citam que os

agrupamentos hierárquicos geram agrupamentos ótimos apenas em nível local e não global, ou seja, não há garantia de que os agrupamentos formados com aquelas quantidades mínimas de pontos sejam melhores que outros agrupamentos formados com base em outras quantidades.

#### 4 METODOLOGIA DE ANÁLISE ESPACIAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS CRÍTICOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

A metodologia para identificar locais críticos de acidentes de trânsito usando ferramentas de análise espacial contém etapas relacionadas à estrutura do banco de dados e à aplicação das ferramentas propriamente ditas. As etapas desta metodologia são descritas na Figura 1.

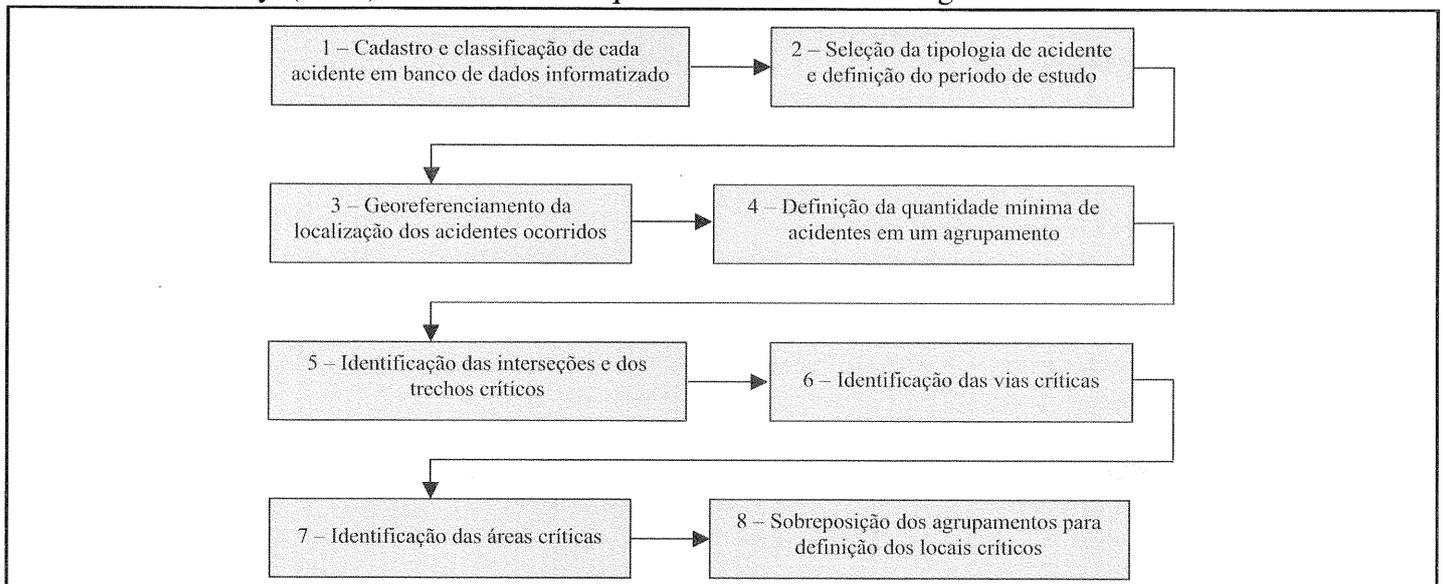


Figura 1: Metodologia de identificação de locais críticos de acidentes de trânsito usando análise espacial.

A metodologia proposta tem como premissa que o grau de severidade do acidente é um fator que pode servir como atributo diferencial para identificar e classificar locais críticos de acidentes de trânsito. Por este motivo, a etapa 1 requer que todos os acidentes estejam cadastrados e classificados conforme a Unidade Padrão de Severidade (UPS). A etapa 2 define o período de tempo e a tipologia do acidente a ser estudada. Normalmente são selecionados todos os acidentes independentemente da sua tipologia. Georeferenciar os acidentes selecionados anteriormente é o objetivo da terceira etapa. Após o georeferenciamento, deve-se verificar se os acidentes estão corretamente posicionados. Caso contrário, deve-se corrigir esta localização para garantir a integridade topológica dos dados.

A etapa 4 consiste em definir a quantidade mínima de UPS em um agrupamento para que o mesmo possa ser identificado como local crítico. Com este intuito, é avaliada a influência deste parâmetro na definição do agrupamento para se determinar um valor de análise. Selecionado o valor, a rotina de agrupamento espacial

é executada, possibilitando a identificação dos locais críticos proposta nas três etapas seguintes, ou seja, a identificação de interseções e trechos críticos, de vias críticas e de áreas críticas. Vale lembrar que a técnica de agrupamento contabiliza a quantidade de acidentes em um local considerando também os acidentes que ocorreram em uma área ao seu redor, sendo que o valor desta área é um dado de entrada na técnica. A visualização dos locais críticos identificados pela rotina é possível mediante a aplicação da ferramenta de elipse de desvio padrão. Deve-se lembrar que a identificação de trechos críticos pode ser obtida por meio dos agrupamentos de 1ª e 2ª ordem. A etapa final consiste em sobrepor estes agrupamentos para que o analista possa examinar e determinar o tipo de tratamento a ser aplicado em cada local como, por exemplo, se um determinado agrupamento merece ser tratado como via crítica embora também esteja definido como interseção crítica, ou então, se uma interseção crítica deve ser tratada como área crítica ao invés de ser tratada isoladamente. A aplicação da metodologia é apresentada a seguir.

## 5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Esta metodologia foi aplicada aos dados de acidentes armazenados no Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR), desenvolvido em linguagem de programação *Delphi 5.0*, usando o banco de dados *MS SQL Server 6.5/7.0*. Os seus principais módulos são: cadastros, acidentes e relatórios (ASTEF, 2001). O módulo de cadastros contém quatro seções que possibilitam a alteração de dados dos logradouros e inclusão de pontos de referência do local do acidente, uma vez que nem sempre é possível coletar o número da edificação defronte ao acidente. A seguir, apresenta-se cada etapa de aplicação da metodologia ao banco de dados do município de Fortaleza.

### 5.1 Cadastro e classificação de cada acidente em banco de dados informatizado

Os acidentes de trânsito ocorridos na malha viária de Fortaleza são coletados por diversos órgãos e armazenados no SIAT-FOR. Este banco de dados possui rotinas que evitam a duplicidade de cadastro de acidentes ao verificar a data do acidente, a placa dos veículos e o nome das vítimas (Queiroz *et al.*, 2003). Ele também armazena a tipologia do acidente, atribuindo pesos, conforme a sua severidade, sendo adotada atualmente a metodologia do Ministério dos Transportes (2002), ou seja, 13 acidentes com vítimas fatais, 6 para acidentes com vítimas feridas por atropelamento, 4 para acidentes com vítimas feridas por outro tipo de acidente e 1 para acidentes sem vítimas.

### 5.2 Seleção da tipologia de acidente e definição do período de estudo

Para aplicação desta metodologia foram usados todos os acidentes de trânsito registrados pelo SIAT-FOR em 2003, aplicando a linha de atuação do local crítico - ou seja, não foi selecionada nenhuma tipologia de acidente, seja em relação ao tipo de severidade, ao tipo de vítima ou ao tipo de acidente ocorrido. Neste período foram registrados 21.541 acidentes apenas na malha viária urbana do Município de Fortaleza (AMC, 2004).

### 5.3 Georeferenciamento da localização dos acidentes ocorridos

Para georeferenciar os acidentes selecionados na etapa anterior foi aplicada, dentre as várias existentes, a rotina desenvolvida por Queiroz (2003), usando a linguagem de programação do *software TransCAD* versão 3.6, denominada GISDK (Caliper, 1996). Esta rotina foi desenvolvida para contemplar situações de endereçamento específicas do SIAT-FOR. Foram

georeferenciados 15.609 acidentes, o que corresponde a 72,5% do total de ocorrências. Ao considerar a severidade dos acidentes, a tabela de entrada passou a conter 42.653 acidentes. Em seguida, foi realizada a análise de integridade topológica e verificado que os acidentes estavam corretamente georeferenciados na malha viária urbana de Fortaleza.

A Tabela 1 apresenta o total de acidentes georeferenciados por tipo de severidade, na qual pode-se observar que os acidentes com vítimas fatais apresentam o menor percentual de georeferenciamento. Tal fato pode ser motivado pela dificuldade para localizar precisamente o acidente devido à ausência de numeração nos locais defronte à ocorrência. Outro fator é a ausência de numeração predial dos lotes limites das quadras, nos atributos dos vetores da camada geográfica de eixos. A Figura 2 apresenta esta camada, na qual pode-se observar que a maioria dos vetores sem numeração localiza-se nas regiões periféricas da cidade. Queiroz *et al.* (2003) citam também outros motivos pelos quais os acidentes não foram georeferenciados.

Tabela 1: Percentual de georeferenciamento conforme a severidade dos acidentes (2003).

Severidade do acidente	Total	Georeferenciados	
		Quantidade	Perc. (%)
Vítima fatal	317	200	63,1%
Vítima ferida por atropelamento	2.260	1.627	72,0%
Vítima ferida	7.377	5.679	77,0%
Sem vítimas	11.587	8.103	69,9%
Total	21.541	15.609	72,5%

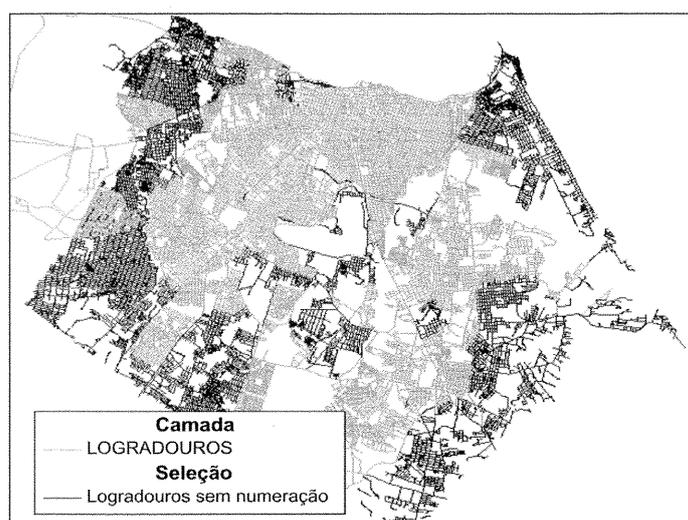


Figura 2: Logradouros sem numeração do município de Fortaleza.

### 5.4 Definição da quantidade mínima de UPS em um agrupamento

Antes da definição da quantidade mínima de UPS em

um agrupamento, apresenta-se uma análise da influência de três parâmetros desta técnica de agrupamento (o valor da probabilidade  $p$ , a quantidade mínima de pontos e o valor da elipse de desvio padrão) para verificar suas implicações sobre os resultados. Como esta análise objetiva

apenas identificar a influência dos valores dos parâmetros, tanto pode ser usado o índice de frequência como também o índice de severidade de acidentes, pois apresentam as mesmas conclusões. Neste caso, é usado o índice de severidade.

A Tabela 2 apresenta a influência da variável  $t$ , selecionada conforme o valor de probabilidade desejado, sobre o total de agrupamentos e sobre o total de acidentes, considerando constante a quantidade mínima de 55 UPS em cada agrupamento de 1ª ordem dos acidentes ocorridos em 2003. Os valores mínimo e máximo da coluna (a) (total de agrupamentos) apresentaram uma variação de 4%, enquanto os valores da coluna (b) (quantidade de agrupamentos de 1ª ordem) não apresentaram variação. Pode-se verificar também que quase não houve variação na quantidade de acidentes contidos nos agrupamentos de 1ª ordem

(coluna (c)). Estas pequenas variações acontecem porque esta variável influencia o cálculo da distância limite baseada numa distribuição espacial aleatória, o que não acontece com os acidentes que estavam concentrados geograficamente. Portanto, elevar ou reduzir o valor de  $t$  proporcionará poucas mudanças na quantidade de agrupamentos.

Pode-se adotar o valor de 50% como valor constante para todas as análises a serem realizadas porque a variação máxima do percentual de acidentes pertencentes aos agrupamentos de 1ª ordem (coluna (d)), comparando o valor de  $t$  igual a 50% com os outros valores de  $t$ , foi inferior a 0,01%. Além disto, os valores de  $t$  acima citados também apresentaram localização e tamanho de elipses muito semelhantes. Não foram observadas mudanças quanto à localização dos agrupamentos ao variar o valor de  $t$ , sendo constatado apenas que os agrupamentos de primeira ordem acrescentados localizavam-se na região de maior concentração espacial de acidentes, ou seja, na região central. Também foi observado que não houve mudanças quanto ao sentido do eixo maior da elipse de desvio padrão.

Tabela 2: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar o valor da variável  $t$  (2003).

Probabilidade	Valor de $t$	Total de acidentes georeferenciados considerando UPS	Agrupamentos			Qde. Acidentes nos agrupamentos de 1ª ordem (c)	% acidentes nos agrup. 1ª ordem (d)	
			Total (a)	1ª ordem (b)	2ª ordem			3ª ordem
0,01%	-3,719	42.653	102	98	4	0	9.868	23,14%
10,00%	-1,282	42.653	103	98	5	0	9.869	23,14%
50,00%	0,000	42.653	105	98	6	1	9.869	23,14%
99,99%	+3,090	42.653	107	98	8	1	9.873	23,15%

Outro parâmetro a ser analisado é a quantidade de desvios padrões que se relaciona com a dimensão da elipse, ou seja, quanto maior a quantidade de desvios padrões, maior a área da elipse e maior a probabilidade dos pontos estarem contidos na área da elipse. A Figura 3 apresenta os agrupamentos de 2ª ordem com no mínimo 20 colisões usando 1 e 2 desvios padrões respectivamente. Pode-se observar que a localização das elipses é a mesma, diferenciando-se apenas pelo tamanho.

O último parâmetro é a quantidade mínima de acidentes requeridos para definir um agrupamento. Como parâmetro inicial, pode-se usar a quantidade média de acidentes por local crítico em um período (ano), aumentando e reduzindo esta quantidade para obter novas conclusões sobre a situação da segurança.

A Tabela 3 apresenta as variações das quantidades de agrupamentos ao modificar o valor da quantidade mínima de pontos. Observa-se uma diferença de quase 400%, tanto no total de agrupamentos, quanto

no número de agrupamentos de 1ª ordem, ao usar uma quantidade mínima de 23 e de 64 acidentes georeferenciados considerando a UPS. Esta diferença apresenta bem maior do que os percentuais

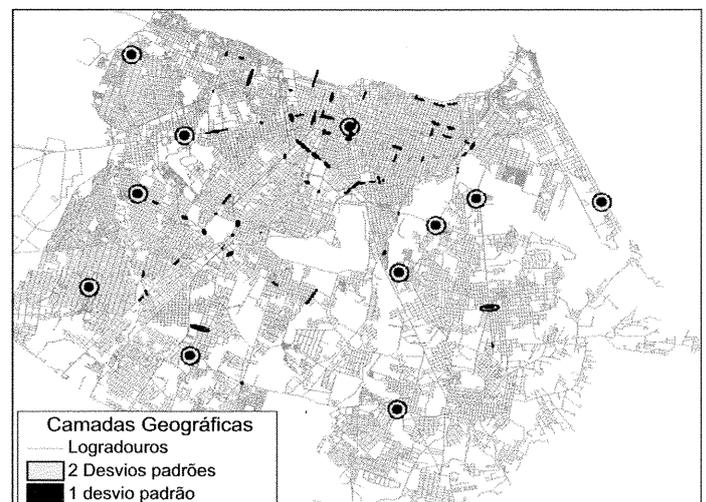


Figura 3: Representação das elipses de 1 e 2 desvios padrões.

de modificação no valor da variável t que atingiram no máximo 0,01% apresentados na Tabela 2. Verifica-se, pela análise acima realizada, que o parâmetro crítico

é a quantidade mínima de acidentes, já que a alteração de seus valores resulta em agrupamentos totalmente diferentes quanto à quantidade e à localização.

Tabela 3: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar a variável quantidade mínima de UPS (2003).

Qde. mínima de UPS	Total de acidentes georeferenciados considerando UPS	Agrupamentos				Acidentes georeferenciados considerando UPS nos agrupamentos de 1ª ordem	
		Total	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem	Quantidade	%
23	42.653	375	342	31	2	18.442	43,2%
25	42.653	344	314	28	2	17.757	41,6%
50	42.653	116	110	2	0	10.510	24,6%
64	42.653	77	71	5	1	8.274	19,4%

Apresenta-se a seguir uma análise da influência da quantidade mínima de acidentes nos resultados da localização dos agrupamentos por meio da alteração seqüencial desta quantidade mínima para uma mesma tipologia, considerando apenas os acidentes com vítimas fatais ocorridos em 2003. Esta análise pode ser feita sobre qualquer um destes índices.

A Figura 4 apresenta dois agrupamentos de 1ª ordem com no mínimo sete acidentes com vítimas fatais. Já a Figura 5 mostra que ao reduzir a quantidade mínima para 6 acidentes, surgem mais dois agrupamentos de 1ª ordem, além dos dois agrupamentos de no mínimo 7 acidentes com vítimas fatais. Estes agrupamentos consideraram a mesma distância do vizinho mais próximo, já que a quantidade de pontos usados no cálculo da técnica foi igual. Pode-se observar também, comparando-se a Figura 4 e a Figura 5, que os agrupamentos semelhantes apresentaram-se superpostos, tendo a mesma área e mesmo sentido de eixo maior da elipse de

mesma área e igual sentido de eixo maior da elipse de desvio padrão.

Pelas análises realizadas, verifica-se que o critério de maior influência é a quantidade mínima de pontos em um agrupamento e que a sua variação apenas faz com que a quantidade de agrupamentos de primeira ordem seja alterada, mantendo a forma de elipse a cada mudança. No caso da segurança viária, uma sugestão para início da análise seria usar algum parâmetro estatístico descritivo, tal como média ou mediana, como critério, aliada à experiência e ao conhecimento sobre a realidade local dos acidentes. Desse modo,

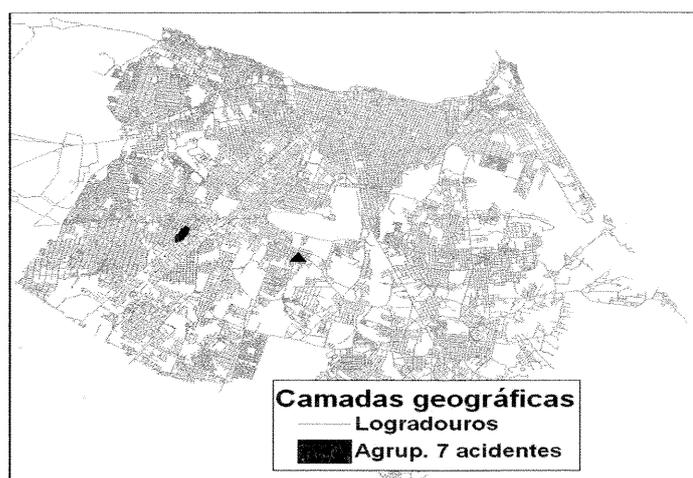


Figura 4: Agrupamento de 7 acidentes com vítimas fatais.

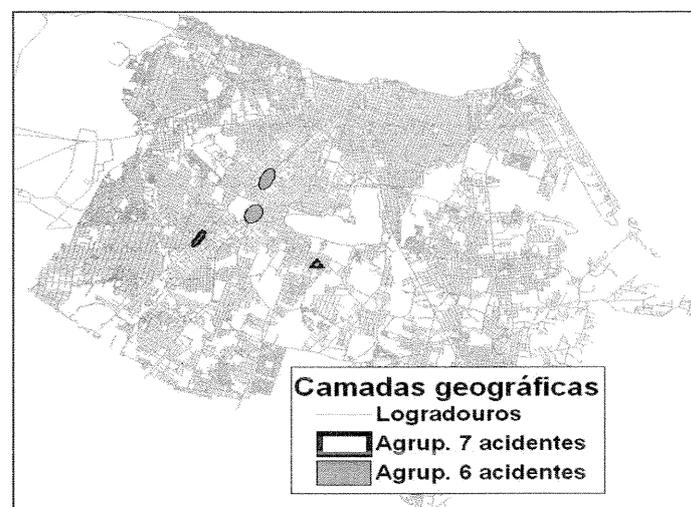


Figura 5: Comparação entre os agrupamentos com 7 e 6 acidentes com vítimas fatais.

A redução da quantidade mínima para cinco acidentes fez aparecer mais agrupamentos na Figura 6. Os agrupamentos sobrepostos continuam com a

foi calculada a média de UPS das 40 primeiras interseções na classificação do índice de severidade elaborada pelo SIAT-FOR, obtendo o valor de 55 UPS, que será usado como parâmetro para identificação das interseções e dos trechos críticos citados a seguir. Os valores adotados para os outros dois parâmetros de entrada foram: valor de probabilidade unicaudal (valor de probabilidade  $p$ ) igual a 50% e desvio padrão igual a 1.

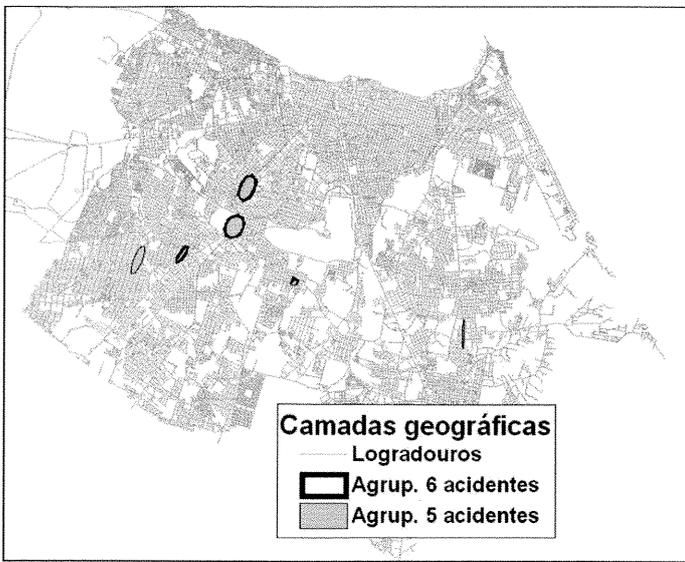


Figura 6: Comparação entre os agrupamentos com 6 e 5 acidentes c/vítimas fatais.

### 5.5 Identificação das interseções e dos trechos críticos

O SIAT-FOR utiliza o índice de severidade para identificar interseções e trechos críticos na malha viária urbana de Fortaleza, cujos valores podem ser obtidos no sistema por meio de relatórios e gráficos. Vale ressaltar que este índice é aplicado na maioria dos órgãos gestores do trânsito, devido principalmente a inclusão da gravidade do acidente, priorizando locais com vítimas mais graves (Ministério dos Transportes, 2002).

Selecionado o valor para definição do agrupamento, foi usado o pacote de estatística espacial *CrimeStat* versão 2.0 (NIJ, 2002), desenvolvido por Ned & Levine para o Ministério da Justiça nos Estados Unidos. Este pacote contém estatísticas espaciais descritivas, tais como centro médio e elipse de desvio padrão, e também estatísticas inferenciais, como o índice do vizinho mais próximo e as técnicas de agrupamentos. Este pacote exige os seguintes dados de entrada: uma tabela com as coordenadas dos pontos e os valores da área da região de estudo e da quilometragem viária, os quais são necessários para o cálculo de algumas estatísticas espaciais. Os dados de saída são numéricos e gráficos. Os resultados gráficos podem ser exportados para pacotes comerciais de SIG, em diversos formatos de arquivo. No presente trabalho foi usado o pacote *Arcview* versão 3.0 (ESRI, 1996).

Para obter os agrupamentos considerando a UPS de cada acidente georeferenciado foi adicionada uma quantidade equivalente à severidade do mesmo conforme o peso atribuído pelo Ministério dos Transportes (2002), mantendo inalterados os atributos.

Foram obtidos 98 agrupamentos de 1ª ordem apresentados na Figura 7 que equivalem às interseções e trechos críticos de acidentes. Pode-se observar nesta figura que os agrupamentos se encontram bastante dispersos pela cidade, ocorrendo uma certa proximidade de alguns agrupamentos o que pode caracterizar uma via ou área crítica, hipótese que pode ser confirmada visualizando os

agrupamentos de 2ª ordem, apresentados na Figura 9. Deve-se observar também que alguns agrupamentos apresentam uma elipse maior ao redor da interseção, indicando a área e sentido de maior ocorrência, que foi considerada no somatório dos acidentes para aquele local.

A Figura 8 apresenta um destes agrupamentos de 1ª ordem, localizado na interseção da Av. Gal. Murilo Borges com Av. Dor. Raul Barbosa, na qual se pode observar também os acidentes pertencentes a este agrupamento. A distância limite do vizinho mais próximo, calculada usando os parâmetros citados anteriormente, resultou em 43 metros, ou seja, um acidente pertencerá a um agrupamento se a distância do local de sua ocorrência até a interseção for menor ou igual a este valor.

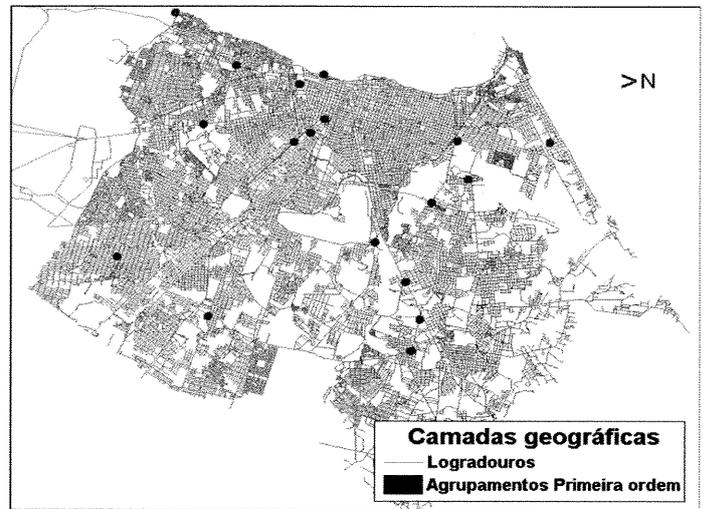


Figura 7: Agrupamentos de 1ª ordem da UPS dos acidentes em 2003.

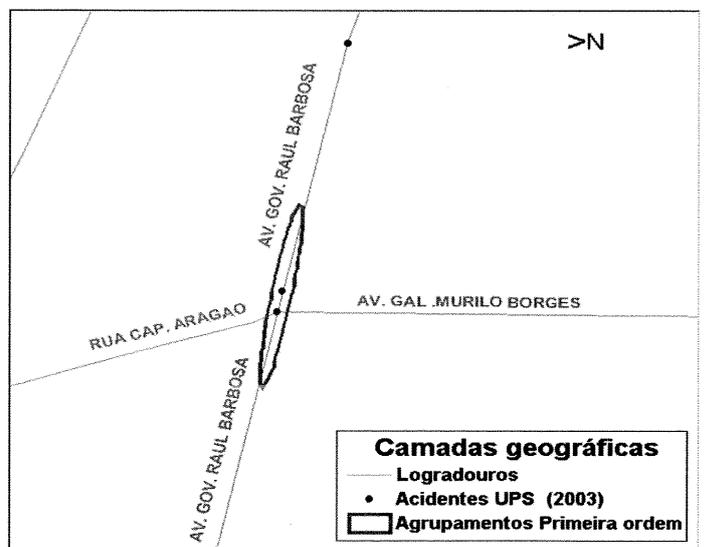


Figura 8: Detalhe de um agrupamento de 1ª ordem da UPS dos acidentes em 2003.

Para verificar os resultados apresentados pelos agrupamentos, estes foram comparados com o total de acidentes das oito interseções com maior índice de severidade contabilizadas pelo SIAT-FOR. Pode-se observar que a técnica de agrupamento registrou mais

acidentes em todas elas, pelos motivos relatados na Tabela 4, destacando-se a quantidade de acidentes em trechos próximos à interseção. Observa-se também que a classificação em ordem decrescente do total de UPS foi alterada ao aplicar a técnica de agrupamento, passando, por exemplo, a interseção classificada em

sexto lugar pelo SIAT-FOR a ocupar o terceiro lugar pela técnica de agrupamento. É válido lembrar que a identificação de trechos críticos é comprometida por depender do georeferenciamento de acidentes em trechos que é dificultado, dentre outros fatores, pela ausência de numeração das esquinas na base de logradouros.

Tabela 4: Análise comparativa das UPS identificadas pelo SIAT-FOR e pela técnica de agrupamento (2003).

Ordem	Cruzamento	SIAT-FOR	Agrupamento	Motivos da maior quantidade de UPS identificada pela técnica
01	Av. Antonio Sales x Av. Eng. Santana Júnior	116	130	Contagem de mais 2 acidentes com feridos e 6 sem vítimas em trechos próximos à interseção.
02	Av. Gal Murilo Borges x Av. Dor. Raul Barbosa	93	121	Contagem de mais 1 acidente com ferido por atropelamento em trecho e de 1 acidente com vítima fatal, 1 acidente com ferido e 5 sem vítimas na outra denominação da interseção: R. Capitão Aragão x Av. Dor. Raul Barbosa.
03	Av. Sen. Fernandes Távora x Av. Lineu Machado	86	97	Contagem de mais 2 acidentes com feridos e 3 sem vítimas em trechos próximos à interseção.
04	R. Jaime Benévolo x R. Saldanha Marinho	86	90	Contagem de mais 4 acidentes sem vítimas em trechos próximos à interseção.
05	R. Germano Frank x Av. Paranjana	82	95	Contagem de mais 2 acidentes com feridos e 5 sem vítimas em trechos próximos à interseção.
06	Av. Aguanambi x Av. Domingos Olímpio	79	115	Contagem de mais 1 acidente com ferido por atropelamento e 3 com ferido e 18 sem vítimas em trechos próximos à interseção.
07	R. Padre Cícero x Av. José Bastos	79	89	Contagem de mais 2 acidentes sem vítimas em trechos próximos à interseção e de 2 acidentes com ferido nas outras denominações da interseção: Av. Carapinima x Rua Padre Cícero e Av. Carapinima x Av. José Bastos.
08	Av. Des. Moreira x Av. Santos Dumont	76	77	Contagem de mais 1 acidente sem vítima em trechos próximos à interseção.

### 5.6 Identificação das vias críticas

A identificação de vias ou trechos críticos pode ser obtida com a visualização dos agrupamentos de 2ª ordem. A Figura 9 apresenta estes agrupamentos na qual se pode observar que dois destes agrupamentos podem ser considerados vias críticas: o agrupamento Central e o agrupamento da Av. Bezerra de Menezes. O valor de UPS contido no primeiro agrupamento foi de 305 UPS, enquanto o segundo, por conter 403 UPS, pode ser considerado o trecho mais crítico, contabilizando apenas os acidentes georeferenciados. Queiroz (2003) cita que estes agrupamentos são locais com possibilidade de aplicação de medidas táticas de engenharia, tais como mudança de velocidade na via, instalação de fotosensores, fechamento de canteiros centrais e alocação de mais viaturas ou agentes de trânsito dispersos pelo corredor ou pela área.

### 5.7 Identificação das áreas críticas

A Figura 10 apresenta um único agrupamento de 3ª ordem dos acidentes ocorridos em 2003, considerando o índice de severidade. Verifica-se que este agrupamento concentra-se na porção oeste da cidade, que possui três avenidas (Av. Mr. Hull, Av. Francisco Sá e Av. Sargento Hermínio) localizadas em áreas

sem um planejamento bem elaborado em relação à segurança viária e, especialmente no caso da Av. Mr. Hull, que é um caso de transformação de rodovia que se tornou avenida de trânsito rápido, sem ter um estudo de segurança que avaliasse as consequências de tais adaptações. Este agrupamento foi identificado em função da concentração de agrupamentos de 2ª ordem na zona oeste da cidade, apresentados na Figura 9.

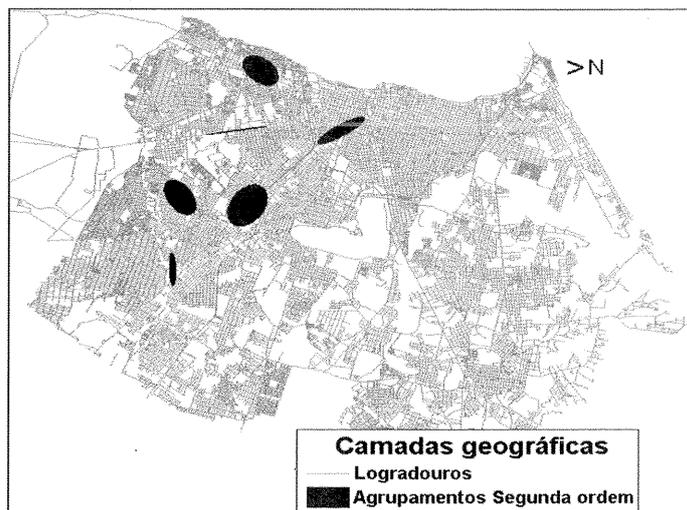


Figura 9: Agrupamentos de 2ª ordem da UPS dos acidentes em 2003.

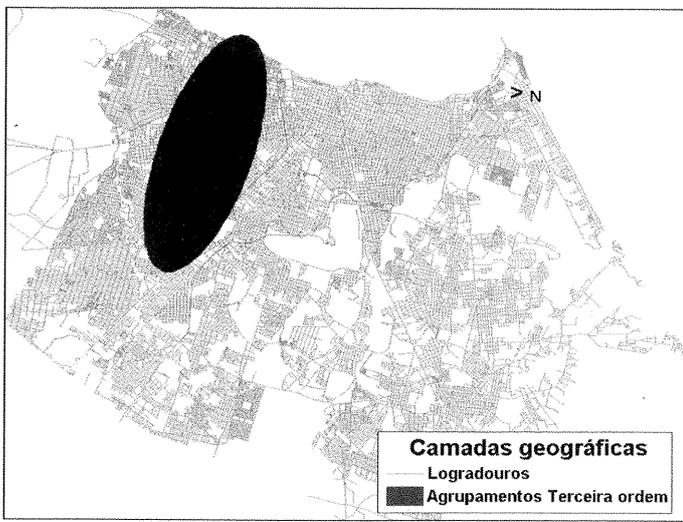


Figura 10: Agrupamentos de 3ª ordem da UPS de acidentes em 2003.

### 5.8 Sobreposição dos agrupamentos para definição dos locais críticos

A função desta etapa na metodologia consiste em sobrepor os agrupamentos, para verificar espacialmente qual o melhor tipo de tratamento para cada local crítico. Inicialmente, é realizada a sobreposição do agrupamento Central (2ª ordem) com os agrupamentos de 1ª ordem. Com esta sobreposição, identificam-se 2 trechos críticos: um na Av. Domingos Olímpio, contendo três agrupamentos de 1ª ordem (entre a Av. do Imperador e a R. Sen. Pompeu) e o outro na Av. 13 de Maio entre a Av. Carapínima e Av. da Universidade, contendo 2 agrupamentos de 1ª ordem bastante próximos, apresentados na Figura 11.

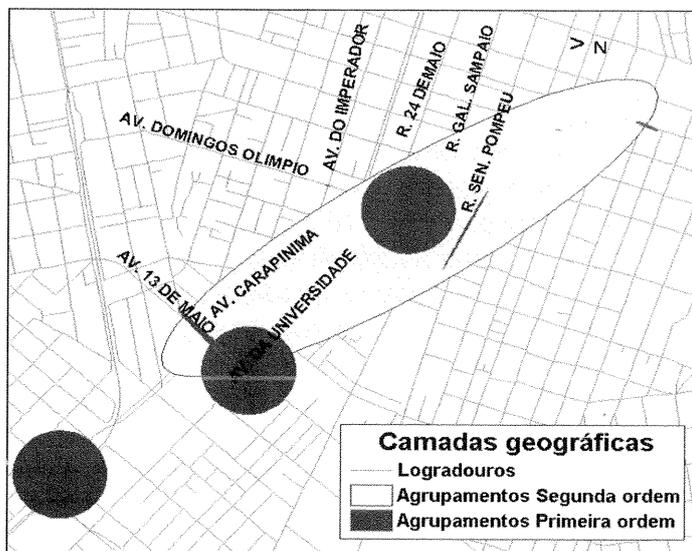


Figura 11: Agrupamentos de 1ª ordem da UPS contidos no agrupamento Central.

Ao sobrepor o agrupamento da Av. Bezerra de Menezes, na Figura 12, verifica-se que o mesmo possui a extensão de 1.400 metros, abrangendo duas avenidas de configurações geométricas diferentes, no caso Av. Bezerra de Menezes e Av. Mr. Hull o que necessita de

um estudo mais detalhado sobre quais as medidas mais apropriada para este trecho crítico.

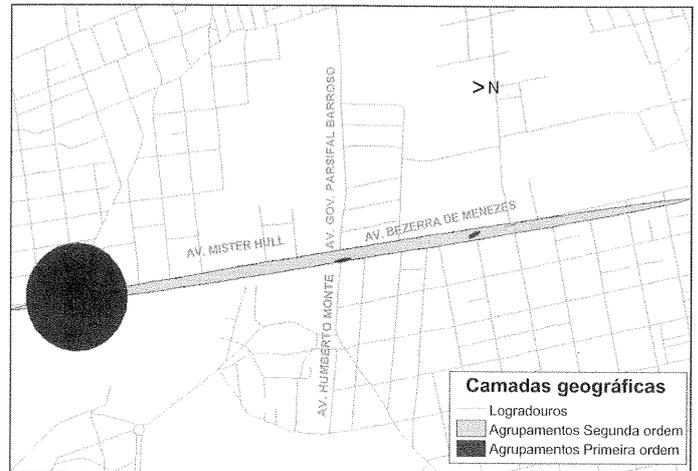


Figura 12: Agrupamentos de 1ª ordem da UPS contidos no agrupamento da Av. Bezerra de Menezes.

Visualizando o agrupamento de 2ª ordem da Av. Pres. Castelo Branco (Figura 13), pode-se identificar mais dois trechos críticos, um nesta avenida e outro na Av. Francisco Sá, entre a Av. Pasteur e a Av. Dr. Therberge. Supostos motivos para a ocorrência de acidentes nestes locais são a configuração viária da Av. Francisco Sá, que em alguns trechos possui uma faixa exclusiva para ônibus, além de ser uma região com intenso fluxo de pedestres.

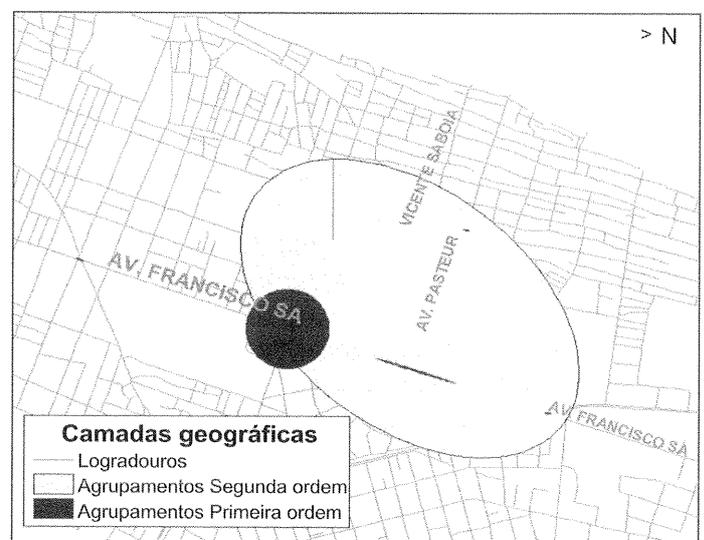


Figura 13: Agrupamentos de 1ª ordem da UPS sobrepostos ao agrupamento da Av. Pres. Castelo Branco.

A Figura 14 apresenta a sobreposição dos agrupamentos de 3ª ordem aos agrupamentos de 2ª ordem com a qual se justifica a localização dos agrupamentos de 3ª ordem na zona oeste da cidade. Por ser uma área bem abrangente, deve-se estudar cuidadosamente possíveis intervenções, sejam de educação, de fiscalização ou de engenharia, a serem implantadas nesta área.

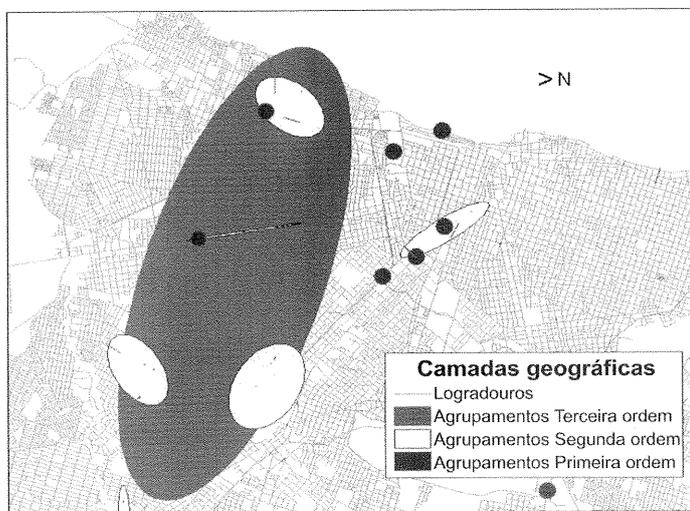


Figura 14: Agrupamentos de 2ª ordem da UPS contidos no agrupamento de 3ª ordem.

Após esta sobreposição de agrupamentos, pode-se indicar qual a forma de tratamento mais apropriada para cada local crítico identificado pela técnica de agrupamento. Desta forma, pode-se indicar o tratamento de local crítico para os seguintes locais: Av. Antonio Sales x Av. Eng. Santana Júnior; Av. Gal Murilo Borges x Av. Dor. Raul Barbosa; e Av. Aguanambi x Av. Domingos Olímpio. Recomenda-se o tratamento de via crítica para a Av. Pres. Castelo Branco, entre a Av. Pasteur e a Av. Dr. Therberge, e para a Av. Domingos Olímpio, entre a Av. do Imperador e a R. Sen. Pompeu. Já um tratamento de área crítica deve ser analisado para a área oeste da cidade.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia elaborada possibilitou identificar os diversos tipos de pontos críticos (interseções, trechos e áreas) existentes em uma malha viária urbana, demonstrando o potencial das ferramentas de análise espacial para os estudos de segurança viária. Tal fato foi verificado especialmente quando os resultados apresentados pelo SIAT-FOR foram comparados aos obtidos pela técnica de agrupamento e estes apresentaram algumas vantagens em relação ao sistema de banco de dados digital: contagem de acidentes próximos à interseção, contagem de acidentes alocados ao outro nome da interseção e visualização do relacionamento espacial dos dados de acidentes com outros dados espaciais, sejam eles vinculados à segurança viária ou não. Deve-se observar também que a técnica alterou a ordem de classificação das interseções com maior severidade de acidentes, o que não seria possível sem o uso das ferramentas de análise espacial.

Uma etapa importante da metodologia e que merece bastante atenção é a definição da quantidade mínima de UPS em um agrupamento de 1ª ordem,

pois este valor pode alterar significativamente os resultados obtidos nas etapas de identificação de vias e áreas críticas. Estes resultados são alterados porque os agrupamentos de 2ª ordem são gerados a partir da localização e do centro mínimo dos agrupamentos de 1ª ordem, que variam conforme a quantidade de ocorrências mínimas em um agrupamento. Deve-se alertar para o fato de que a seqüência crescente de geração de agrupamentos não corresponde à aplicação específica de medidas de local crítico, de via crítica ou de área crítica respectivamente. Pode ser que um agrupamento de 1ª ordem seja tratado como trecho crítico e um agrupamento de 2ª ordem seja tratado como área crítica.

A aplicação desta metodologia depende de dois fatores principais: existência de sistema informatizado de acidentes e georeferenciamento dos acidentes armazenados. No Brasil, infelizmente, poucos são os municípios que possuem sistemas informatizados e menos ainda os que se preocupam em georeferenciar os registros de acidentes. Tais fatos inviabilizam não só a aplicação desta metodologia como também, principalmente, tornam as análises de dados sobre segurança viária imprecisas e, algumas vezes, incorretas. Torna-se necessária, portanto, a imediata elaboração de sistemas informatizados de acidentes em vários municípios brasileiros.

Recomenda-se desenvolver outras metodologias de identificação de locais críticos usando índices relativos, como por exemplo, o índice da taxa de acidentes, considerando a influência da variável volume de tráfego. Outro potencial uso desta ferramenta é a identificação da correlação de acidentes com dados censitários e de uso do solo, usando ferramentas de regressão espacial e análise confirmatória. Recomenda-se também o desenvolvimento de um sistema de informações e de análises espaciais de acidentes de trânsito, contendo rotinas ou procedimentos automatizados que facilitem o intercâmbio de dados entre um banco de dados informatizado de acidentes e os pacotes comerciais de SIG e de estatística espacial. Um outro tema que merece atenção diz respeito ao desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a combinação das linhas de atuação de locais/áreas críticas com as linhas de atuação acidente/solução típica.

A disponibilidade gratuita de *software* e ferramentas de análise espacial na rede mundial de computadores, *Internet*, possibilita a elaboração de outras pesquisas relacionadas aos diversos problemas que envolvem a área de Engenharia de Transportes. Tal fato possibilita um maior desenvolvimento destas duas áreas de pesquisa, devido ao menor custo obtido com esta disponibilidade e também à possibilidade de

aplicação de outras ferramentas gratuitas de análise espacial mais específicas para os problemas de Transportes.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio financeiro (Bolsa de Produtividade em Pesquisa) do CNPq, entidade governamental brasileira promotora do desenvolvimento científico e tecnológico e do Projeto de Pesquisa do Sistema Espacial de Apoio à Decisão em Transportes (SEAD-T) do Fundo Setorial de Transportes (CT-Transportes). Os autores também agradecem à Autarquia Municipal de Trânsito, Cidadania e Serviços Públicos (AMC) de Fortaleza pela cooperação em todas as etapas da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMC (2004) *Estatísticas de acidentes de trânsito 2003*. Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania, Prefeitura Municipal de Fortaleza, CE.
- ASTEF (2001) *Manual do Usuário do Sistema Computacional do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito*. Associação Técnico Científica Engenheiro Paulo de Frontim - ASTEF. Convênio ASTEF/Universidade Federal do Ceará/ Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania. Relatório do 4º plano de trabalho, Fortaleza, CE.
- Bailey, T. C. e A. C. Gatrell (1995) *Interactive spatial data analysis*. Longman, Londres, Inglaterra.
- Bayappureddy, D. (2004) Geographic Information System for identification of high accident locations. Disponível em: <<http://gis.esri.com/library/userconf/proc96/to150/pap105/p105.htm>>. Acesso em: 25 de jun. 2004.
- Caliper (1996) *User's Guide*. Version 3.0. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts, EUA.
- Câmara, G.; A. G. Monteiro; M. S. Carvalho (2000) Análise espacial e geoprocessamento. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.), *Análise espacial de dados geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, SP. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de out. 2002.
- Câmara, G. e M. S. Carvalho (2000) Análise de eventos pontuais. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.), *Análise espacial de dados geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, SP. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de out. 2002.
- Cardoso, J. L. (1998) Detecção de zonas de acumulação de acidentes em áreas urbanas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil -LNEC. Ciclo de Seminários. Lisboa, Portugal.
- Cressie, N. (1993) *Statistics for spatial data*. John Wiley, Chichester, EUA.
- DENATRAN (1987) *Manual de Identificação Análise e Tratamento de Pontos Negros*, 2ª ed., Departamento Nacional de Trânsito - Ministério da Justiça, Brasília, DF.
- DENATRAN (1997) *Código de Trânsito Brasileiro*, Lei nº 9503, de 23 de setembro de 1997, Departamento Nacional de Trânsito - Ministério da Justiça, DOU de 24/09/97, Retificação em 25/09/97, Brasília, DF.
- DENATRAN (2002) *Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito – 2002*, Departamento Nacional de Trânsito, Ministério das Cidades, Coordenação-Geral de Informatização e Estatística – CGIE. Disponível em: <[www.denatran.gov.br/cidentes.htm](http://www.denatran.gov.br/cidentes.htm)>. Acesso em: 10 de fev. 2005.
- DENATRAN (2004) *Política Nacional de Trânsito*. Departamento Nacional de Trânsito - Ministério das Cidades. Brasília, DF.
- Diógenes, M. C. (2004) *Indicadores de desempenho no gerenciamento da segurança viária*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Programa de Pós graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 133 fl.
- ESRI (1996) *User's Guide*. Environmental Systems Research Institute. Redlands, Nova Iorque, EUA.
- Everitt, B. S.; S. Landau e M. Leese (2001) *Clusters analysis*. Oxford University Press. Londres, Inglaterra.
- Grubestic, T. H. e A. T. Murray (2003) *Detecting hot spots using clusters analysis and GIS*, Ohio, EUA. Disponível em: <<http://www.ojp.usdoj.gov/nij/maps/Conferences/01conf/Grubestic.doc>>. Acesso em: 19 ago. 2003.
- Flahaut, B.; M. Mouchart; E. San Martin e I. Thomas (2003) *The local spatial autocorrelation and kernel method for identifying black zones: A comparative approach*. *Accident Analysis & Prevention*, v. 35, p. 991-1004.
- Framarim, C. S.; C. T. Nodari e L. A. Lindau (2002) *Técnicas de identificação de locais propensos a ocorrências de acidentes: principais características e dificuldades de aplicação*. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, v.1, pp. 417-426, Natal, RN.
- IHT (1996) *Guidelines for the safety audit of highways*. Institute of Highways and Transportation. International Edition. Londres, Inglaterra.
- Jones, A. P.; I. H. Langford e G. Bentham (1996) *The application of K-function analysis to the geographical distribution of road traffic accident outcome in Norfolk England*. *Social Science Medicine*, v. 42, n. 6, pp.879-885.
- Kim, K.; J. Boski e E. Yamashita (2002) *A typology of motorcycle crashes: rider characteristics, environmental factors and spatial patterns*. *72<sup>nd</sup> Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, EUA.
- Levine, N.; K. E. Kim e L. H. Nitz (1995) *Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes spatial patterns*. *Accident Analysis and Prevention*, v. 27, p. 663-674, EUA.
- McShane, W. R. e R. P. Roess (1990) *Traffic Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nova Jersey, EUA.
- Ministério dos Transportes (2002) *Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito*. Ministérios dos Transportes, Brasília, DF.
- Mitic, D.; T. Sayed e S. R. Zein (1999) *Computer systems for identification of correctable collision prone-locations*. *69<sup>th</sup> Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers (CD-ROM)*, Las Vegas, EUA.
- Nicholson, A. (1998) *Analysis of spatial distributions of accidents*. *Safety Science*, v. 31, p. 71-91.
- NIJ (2002) *CrimeStat: User's Guide*. National Institute of Justice. Ned Levine & Associates, Washington, EUA. Disponível em: <<http://www.icpsr.umich.edu/NACJD/crimestat.html#download#>>. Acesso em: 14 de mai. 2002.
- Queiroz, M. P. (2003). *Análise espacial dos acidentes de trânsito do município de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 124 fl.
- Queiroz, M. P. e C. F. G. Loureiro (2003) *Análise espacial exploratória dos acidentes de trânsito agregados nas zonas de tráfego de Fortaleza*. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, v.1, p. 518-529. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

Queiroz, M. P.; C. F. G. Loureiro e Y. Yamashita (2004) Caracterização de padrões pontuais de acidentes de trânsito aplicando as ferramentas de análise espacial. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, v.1, p. 427-439. Florianópolis, SC.

Queiroz, M. P.; C. F. G. Loureiro; F. J. C. Cunto e L. C. Lima (2003) Georeferenciamento do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR):

resultados iniciais. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, CD-ROM*, Rio de Janeiro, RJ.

Ripley, J. (1981) *Spatial Statistics*. Wiley & Sons Ltda., Inglaterra.

Teixeira, G. L.; Y. Yamashita e C. F. G. Loureiro (2002) O Paradigma da análise espacial. Disponível em: <<http://www.seadt.ceftru.unb.br>>. Acesso em: 10 de jan. 2005.

#### CONTATOS

<sup>1</sup>Nome: Marcelo Pereira Queiroz  
E-mail: marcelo@det.ufc.br

<sup>2</sup>Nome: Carlos Felipe Grangeiro Loureiro  
E-mail: felipe@det.ufc.br

<sup>3</sup>Nome: Yaeko Yamashita  
E-mail: yaeko@unb.br