

ESTATÍSTICA ESPACIAL NA GEOGRAFIA: UM ESTUDO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP

SPATIAL STATISTICS IN GEOGRAPHY: A STUDY OF TRAFFIC ACCIDENTS IN PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Patrícia Sayuri Silvestre Matsumoto¹
Edilson Ferreira Flores²

Resumo: O fenômeno dos acidentes de trânsito desaponta desde meados do século passado como um grande problema enfrentado pelos habitantes das grandes cidades. Todavia, atualmente o aumento incessante da frota de veículos também se faz presente em cidades menores, criando um tráfego lento e/ou desordenado, aumentando a probabilidade da ocorrência de acidentes, sejam os mais simples, em que somente se danificam os veículos, ou até mesmo os mais complexos, podendo lesionar ou acometer pessoas ao óbito. O desenvolvimento de geotecnologias tem possibilitado o uso de novas técnicas que proporcionam análises espaciais para auxiliar no tratamento da informação geográfica. No escopo desta perspectiva, surgem contribuições para o estudo espacial do fenômeno dos acidentes de trânsito, através dos Sistemas de Informação Geográfica e da estatística espacial. Este trabalho visa explorar a distribuição espacial dos acidentes de tráfego no município de Presidente Prudente, a partir de uma análise geográfica e temporal dos dados de acidentes que ocorreram entre junho de 2009 e janeiro de 2010. Para isso, utiliza-se a técnica de mapeamento por geocodificação de endereços, com o auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas e, a técnica do estimador de intensidade de Kernel, por meio da estatística espacial.

Palavras-chave: Acidentes de Trânsito; Sistemas de Informação Geográfica; Estatística Espacial; Estimador de Intensidade de Kernel.

Abstract: The phenomenon of traffic accidents disappointing since the middle of last century as a major problem faced by the inhabitants of large cities. However, today the relentless increase the fleet of vehicles is also present in smaller cities, creating a slow traffic and / or disorderly, increasing the likelihood of accidents, are the simplest, where only vehicles are damaged, or even even more complex and can injure or attack people to death. The development of geotechnology have enabled the use of new techniques that provide spatial analyzes to assist in the management of geographic information. In the scope of this perspective, there are contributions to the study of the spatial phenomenon of traffic accidents through the GIS and spatial statistics. This study aims to explore the spatial distribution of traffic accidents in the city of Presidente Prudente, from a geographical and temporal analysis of the data of accidents that occurred between June 2009 and January 2010. It uses the technique of mapping address geocoding with the aid of Geographic Information System and technique Kernel estimator intensity through the spatial statistics.

Key words: Accidents of traffic; Geographic Information System; Spatial Statistic; Estimator of Intensity Kernel.

¹ Bacharel em Geografia pela FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente. Contato: pamatumot@gmail.com; Financiamento da pesquisa de Iniciação Científica pela FAPESP.

² Prof. Dr. do Departamento de Matemática, Estatística e Computação da FCT/UNESP. Contato: efflores@fct.unesp.br

Introdução

O fenômeno do trânsito e dos acidentes por ele gerado desaponta desde meados do século XX como um grande problema enfrentado pelos habitantes das grandes cidades, principalmente das regiões metropolitanas do país. Todavia, atualmente esse fenômeno não se restringe somente a essas cidades e regiões, mas já se faz presente em cidades menores, consideradas médias, como é o caso de Presidente Prudente. Isso se constitui como um problema e desafio para os planejadores e gestores do trânsito, preocupados em garantir um tráfego mais fluido e seguro aos habitantes do município.

Na Geografia, procedimentos matemático-estatísticos têm sido empregados no tratamento de dados georreferenciados, inseridos como parte integrante dos currículos de várias universidades (BATELLA, 2006), sendo de grande valia à análise geográfica, pois tornam os fenômenos localizados no espaço, passíveis de observações e análises. Assim, podem contribuir tornando precisas as análises de cunho quantitativas, podendo ser apropriadas para uso na análise dos acidentes de trânsito em estudos de caso. Nesse sentido, o uso da estatística espacial traz importantes contribuições a diversas áreas, através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), haja vista que este beneficia estudos interdisciplinares, com o cruzamento de fenômenos diferentes, podendo auxiliar no desenvolvimento de pesquisas que trabalhem e dialoguem com variadas temáticas.

Nesta pesquisa foi utilizada a técnica de estatística espacial do estimador de intensidade de Kernel para averiguar a distribuição espacial dos acidentes de trânsito, registrados em Boletins de Ocorrência (BO's) policiais no 18º Batalhão da Polícia Militar do Interior (18º BPM/I) de Presidente Prudente, em parceria com a Secretaria Municipal de Assuntos Viários de Presidente Prudente (SEMAV). Foi considerado um período de análise que compreende os meses de junho de 2009 até janeiro de 2010, destacando-se a distribuição do fenômeno no tempo e no espaço através da geração de mapas de interpolação.

O Estimador de Intensidade de Kernel é uma técnica de estatística espacial que demonstra onde estão alocadas as concentrações em um plano. Quando este estimador é utilizado em um SIG, gera uma interpolação que se insere sobre as bases cartográficas, identificando o fenômeno georreferenciado, localizado no espaço geográfico, destacando a localização em que ocorre a maior ou menor intensidade das concentrações do fenômeno, a partir de percepções de intensidade na visualização de uma cor ou, em um conjunto delas.

O objetivo deste trabalho foi gerar um banco de dados georreferenciado, contendo as informações dos acidentes de trânsito em Presidente Prudente, que ocorreram em oito meses (de junho de 2009 a janeiro de 2010), de modo com que este pudesse estabelecer análises geográficas quanto às características do fenômeno e quanto a sua distribuição espacial, podendo identificar a ocorrência de padrões de agrupamentos, ou mesmo de disposições aleatórias ou regulares. Verificado a presença de concentrações, através dos SIG's pode-se estabelecer análises para entender a distribuição de acidentes por meio das distintas variáveis do banco de dados, relacionando-as, para que se compreendesse o comportamento do fenômeno na cidade.

O estado de São Paulo têm aumentado excessivamente sua frota de veículos desde o ano de 2000. Em 2010 foram registrados 19.588.288 veículos no estado, compondo a maior frota do país (DETRAN, 2011). Essa é uma realidade que

preocupa profissionais ligados ao trânsito para ordenar os espaços de circulação sem que os mesmos sejam prejudicados com acidentes de trânsito. Técnicas de estatística espacial, com o auxílio dos SIG's, são importantes ferramentas para auxiliar esses profissionais, fornecendo dados precisos quanto a localização dos pontos críticos a acidentes, que servem de base para intervenções de engenharia do tráfego, ou mesmo para pequenas modificações no funcionamento viário da cidade. As análises geográficas ulteriores a aquisição dos dados são elementares, pois podem nortear o planejamento e gestão do trânsito no município.

Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica

Na segunda metade do século passado, o desenvolvimento tecnológico possibilitou a informatização e a digitalização de dados, tornando possível o armazenamento e a representação dos mesmos, abrindo espaço para o aparecimento de novas tecnologias, dentre elas, o geoprocessamento.

Câmara (2000) descreve geoprocessamento como disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, que vem influenciando crescentemente os estudos em diversas áreas como na Cartografia, na Análise de Recursos Naturais, nos Transportes, nas Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

As ferramentas computacionais para geoprocessamento são os Sistemas de Informação Geográfica, sistemas que geram análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) ou *GIS* (*Geographic Information System*) "são sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los" (CÂMARA et al, 1996, p. 21).

Os SIG's tornam possível reduzir milhares de registros numéricos, ou de texto, em um único mapa facilitando a compreensão das informações. São sistemas diferenciados, contendo fenômenos localizados através de levantamentos precisos da superfície terrestre, ou seja, georreferenciados, capazes de unir um banco de dados a uma projeção cartográfica, de modo que se possa assinalar um objeto e saber o valor dos seus atributos no banco de dados, ou inversamente, selecionar um registro da base de dados e saber a sua localização e apontá-la numa visualização.

SIG's são sistemas interdisciplinares, podem fornecer estudos relacionados a ciências das áreas Humanas, Exatas e Biológicas, tais como para geógrafos, estatísticos, arquitetos, geólogos, engenheiros, assistentes sociais, médicos, biólogos, sociólogos e diversos outros ramos de pesquisas. Pode fornecer importantes informações para serviços públicos, como bombeiros, polícia, saúde, trânsito, saneamento, energia, água e educação; para a indústria e comércio, na mineração, comunicações, logística, agricultura, *marketing*; para o meio-ambiente, no monitoramento, correção e modelamento; para a economia, através de indicadores sociais, econômicos e políticos.

Câmara e Queiroz (2001, p. 2-3), definem que estrutura de um SIG está atrelada a vários componentes hierárquicos, como a interface do usuário, a entrada e edição de dados, as funções de consulta e análise espacial, a visualização e plotagem e o armazenamento e recuperação de dados (banco de dados geográficos). Estas estruturas são representadas na Figura 1:

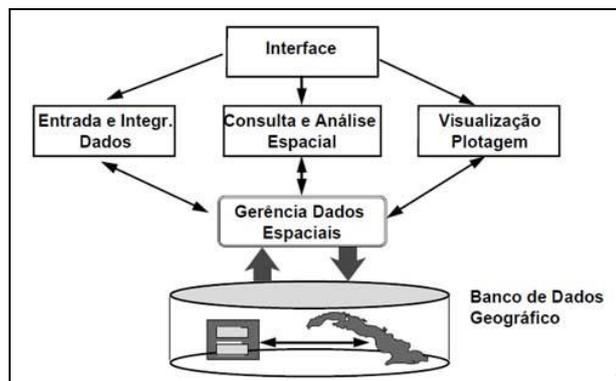


Figura 1: Componentes de um SIG.
Fonte: Câmara, 2001.

Na *interface* ocorre a relação do homem com a máquina, é o início da estrutura, etapa em que se define como operar e controlar esse sistema. Em nível intermediário, na entrada e edição dos dados, ocorre o processamento, a edição, as consultas espaciais e as análises, as visualizações e a saída. E em nível mais interno há a gerência do banco de dados geográficos, que armazena e recupera os dados e seus atributos.

Os SIG's tornaram-se essenciais porque dão disponibilidade rápida de informações para resolver problemas e contestar as perguntas de modo imediato. É muito utilizado para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos e como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

A literatura tem atribuído aos SIG's um papel de sistema computacional dedicado ao gerenciamento de dados espaciais, conforme observa Antônio Vitte:

O termo geográfico traz implícito a idéia de que dados sobre localidades, pontos ou objetos podem ser identificados por coordenadas geográficas. Já a palavra informação pressupõe que um SIG esteja organizado de forma a possibilitar o acesso a mapas, imagens, gráficos e tabelas, de acordo com a interação do usuário com ela. A palavra sistema traz implícito um modelo de arquitetura estruturados em vários componentes inter-relacionados e conectados a partir de diferentes funções (VITTE, 2007, p.121).

Assim, o conjunto dos termos descritos cria um sistema diferencial, capaz de unir informações geográficas em suas estruturas, formando uma visualização do fenômeno e seus atributos.

Do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço. Nesta perspectiva, os conceitos apresentados visam esclarecer as questões básicas do Geoprocessamento e dos SIG's, por exemplo, representar em computadores os dados geográficos, relacionar as estruturas de dados geométricos e alfanuméricos

com os dados do mundo real e demonstrar modelos de representações computacionais.

Nas atividades de planejamento de uma cidade, as funções de um SIG normalmente se relacionam com o processamento e a análise de fatos, atividades e objetos urbanos. Para monitorar a ocorrência de acidentes de trânsito e tratar esse fenômeno em nível operacional, um SIG pode auxiliar no controle do transporte coletivo municipal e na sinalização viária; em nível gerencial pode produzir uma análise e gerenciamento do transporte, dos acidentes de trânsito, das diretrizes viárias, da determinação de vetores de crescimento da cidade e da identificação de locais com maior índice de acidentes de trânsito; e em nível estratégico pode reestruturar o trânsito, os estudos do solo e da eficiência do sistema viário e o planejamento de expansão de infraestruturas (FERRARI, 1997, p. 141-2). Essas funções dos SIG's ainda podem ser enriquecidas com a estatística espacial e a aplicação de algumas de suas técnicas, estabelecendo resultados elementares para o desenvolvimento de atividades relacionadas aos setores de planejamento das prefeituras.

Estatística Espacial e o Estimador de Kernel

SANTOS e SOUZA (2007, p.17) definem estatística espacial como um ramo da estatística que permite analisar a localização espacial de eventos. Além de identificar, localizar e visualizar a ocorrência dos fenômenos que se materializam no espaço, é possível modelar a ocorrência destes, podendo acrescentar fatores a estrutura de distribuição espacial, ou a identificar padrões.

Existem diversas técnicas de análise espacial. O que as diferencia das comuns é a possibilidade de identificação e distribuição sobre um determinado espaço. Na 1ª lei da Geografia, segundo Waldo Tobler³, 1979 *apud* Santos; Souza (2006, p.20) "todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes". Dessa frase se retira a premissa da dependência espacial e sua formulação matemática, em que as observações próximas no espaço possuirão valores similares, indicando a correlação de atributos e daí a medição quantitativa desse relacionamento (CARNEIRO; SANTOS; QUINTANILHA, 2005, p.2).

Assim sendo, por métodos estatísticos é possível entender as relações mantidas entre os eventos, modelar o fenômeno cuja distribuição é afetada pela sua localização geográfica e por sua relação com seus vizinhos.

As ocorrências podem ser classificadas em espacialmente aleatória, aglomerada e regular, conforme a Figura 2. Espacialmente aleatória é a ocorrência cuja distribuição espacial não apresenta qualquer padrão detectável. Quando os dados aparecem em aglomerados, ou *clusterizados*, têm um padrão de similaridade. E os dados regulares seguem um determinado padrão ou espaçamento.

³ Tobler, WR, 1979. Cellular geography. Philosophy in geography, p. 379-86.

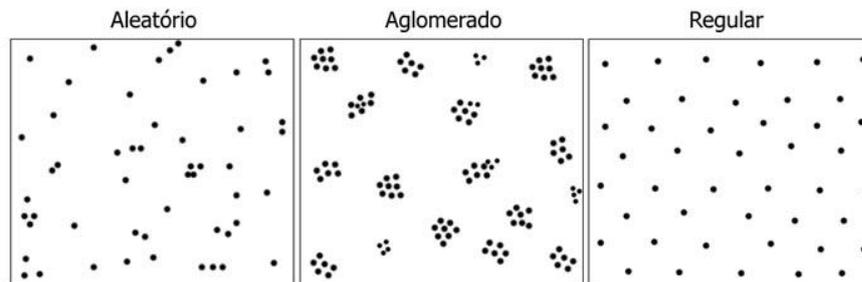


Figura 2: Ocorrência espacialmente aleatória, aglomerada e regular.
Fonte: Adaptado de SANTOS; SOUZA, 2007.

Dentre as técnicas de estatística espacial, o estimador de intensidade de Kernel é uma técnica que considera a intensidade, detectando a ocorrência de distribuições de eventos em aglomerados ou sua ocorrência de maneira aleatória. Este estimador é uma função bidimensional que pondera os eventos dentro de uma região, definida por um raio, produzindo a contagem dos pontos ali contidos e indicando a superfície de maior ou menor concentração dos eventos analisados (BAILEY; GATRELL, 1995).

Ao analisar o comportamento de padrões de pontos, segundo Câmara e Carvalho (2001), estimando a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo, pode-se ajustar uma função bi-dimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região R de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse. A Figura 3 exemplifica o exposto, através da distribuição de pontos em vias de uma cidade, onde se observa uma região de influência, definida pela função, bem como o estimador e os pontos a serem interpolados

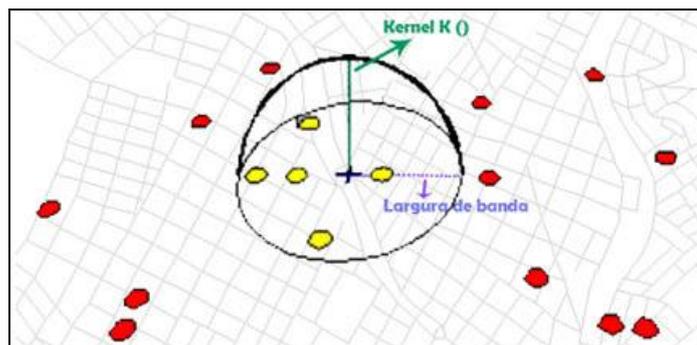


Figura 3: Estimador de intensidade de distribuição de pontos em vias.
Fonte: Adaptado de Bailey; Gatrell, 1995. Org. Patricia Matsumoto.

O estimador gera uma grade em que cada célula representa o valor da intensidade, densidade, média, razão entre atributos etc. O valor obtido será uma medida de influência das amostras na célula, que varia em função de parâmetros básicos: o raio de influência τ , em que $\tau \geq 0$ define a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla o "alisamento" da superfície gerada. O raio de influência define a área centrada no ponto de estimação, indicando quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade (λ). Um raio muito pequeno irá gerar uma superfície muito descontínua, e se for grande demais, a superfície poderá

ficar muito amaciada. Outro parâmetro é a função de estimação com propriedades de suavização do fenômeno, em que h representa a distância entre a localização que se deseja calcular a função e o evento observado, definindo a suavização da superfície gerada. Para grandes larguras h a intensidade estimada é suave e, para pequenas larguras, a intensidade tende a dar picos centrados nos pontos (CÂMARA, CARVALHO, 2001, p.5-6).

No estimador de Kernel são calculadas as distâncias de cada ponto aos eventos observados que estiverem dentro da região de influência limitada pela distância h . Supondo que s represente uma localização em uma região R , s_1, \dots, s_n são localizações de n eventos observados, onde h_i é a distância entre o ponto s e a localização s_i . Assim, a função de Kernel interpola um valor de intensidade para cada célula de uma grade, considerando uma função simétrica, utilizando-se para o cálculo os pontos situados até certa distância do centro da célula (CARNEIRO; SANTOS; QUINTANILHA, 2005, p.4).

Em um Kernel quártico, como função bivariada, para obter uma estimativa da intensidade do padrão de pontos, em que cada ponto corresponde apenas à ocorrência do evento, trata-se de um estimador de intensidade ou *eventos por unidade de área*, conforme a fórmula (1).

$$\hat{\lambda}_\tau = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (1)$$

Onde, π corresponde a 3,141592;

h é a distância entre o ponto s e a localização s_i e;

τ é o raio de influência que define a vizinhança do ponto a ser interpolado.

Se existe um valor associado ao ponto deve-se utilizar a fórmula (2), que representa a quantidade do *atributo por unidade de área*.

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} \left(\frac{(s-s_i)}{\tau}\right) y_i \quad (2)$$

Onde, y_i é o atributo do evento analisado e;

$s - s_i$ é a distância h entre o ponto estimado e o que se quer estimar;

O estimador de intensidade é muito útil para fornecer uma visão geral da distribuição dos eventos num determinado espaço, uma vez que gera mapas interpolados definindo a percepção de maior ou menor intensidade. Essa função é elementar para auxiliar nas análises espaciais de localização de eventos, de modo a verificar suas concentrações em determinados espaços, neste caso, a ocorrência de acidentes de trânsito em Presidente Prudente.

Os acidentes de trânsito em Presidente Prudente

O município de Presidente Prudente está localizado a -22.12° de latitude e -51.38 de longitude, ao oeste do estado de São Paulo (Figura 4). A cidade possui 207.625 habitantes e uma área de 562,80 km² (CENSO IBGE, 2010), tendo a área urbana aproximadamente 124 km².



Figura 4: Localização do município de Presidente Prudente.
Fonte: Base cartográfica do IBGE. Org. Patricia Matsumoto.

O município foi fundado em 1917, entretanto, teve seu maior crescimento urbano a partir da década de 1970, quando a intensificação do uso dos automóveis trouxe a conotação simbólica de desenvolvimento. Desse modo, a partir dessa década foi se concentrando uma grandiosa frota automotora, que com o passar dos anos, gerou a necessidade de uma readequação do espaço de circulação na cidade.

Atualmente, segundo o Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo (DETRAN - SP), em Presidente Prudente há uma frota de 109.883 veículos registrados no município, os quais, 65.431 são automóveis, 22.303 motocicletas/motonetas, 3.603 caminhonete/caminhoneta/utilitário, 1.018 microônibus/ônibus, 1.016 semi-reboques/reboques, 3.348 caminhões e 4.473 em outras categorias (DETRAN, 2010). Tendo em vista que o município possui 207.625 habitantes (IBGE, 2011), existem 1,88 pessoas para cada veículo registrado no município ou, contraditoriamente, existem 0,5 veículos para cada pessoa. Esses são somente os dados dos veículos registrados no município, desconsiderando os veículos flutuantes de outras regiões que residem na cidade⁴.

Essa grande frota circulando cotidianamente pelo espaço intraurbano revela uma mudança de comportamento da população ao longo dos anos: os veículos individuais têm sido privilegiados em detrimento dos coletivos. Ocorrem mudanças dos hábitos no consumo idealizado de veículos, em que os automóveis passam a representar, além de facilidade no deslocamento, *status* para o indivíduo.

⁴ É muito comum veículos flutuantes de estudantes que residem temporariamente em Presidente Prudente e também de pessoas que moram nas cidades vizinhas e que se deslocam diariamente – estes veículos não são registrados em Presidente Prudente, mas aumentam a frota de veículos no município.

Ademais, as oportunidades para obtenções de veículos têm sido facilitadas por políticas creditícias e até mesmo por um aumento da renda e de oportunidades. Essas mudanças aconteceram rapidamente nas cidades brasileiras, sobretudo posteriormente a década de 1970, criando um problema de circulação, já que o sistema viário não acompanhou a expansão capitalista e territorial das cidades. Assim sendo, faz-se necessário a realização de estudos da circulação nas cidades e de alguns de seus fatores pré-determinados e condicionantes, como os acidentes de trânsito, considerando suas causas integradas. Para tanto, é importante analisar como os acidentes de trânsito estão distribuídos espacialmente em Presidente Prudente e quais são suas principais características.

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho foi o mapeamento e análise espacial dos acidentes de trânsito, em que se adotou como procedimentos metodológicos a coleta de dados dos BO's de acidentes de trânsito do município, sua digitalização para georreferenciamento, a Geocodificação de endereços, a análise e interpretação dos dados localizados e a aplicação de técnicas de estatística espacial para identificar concentrações.

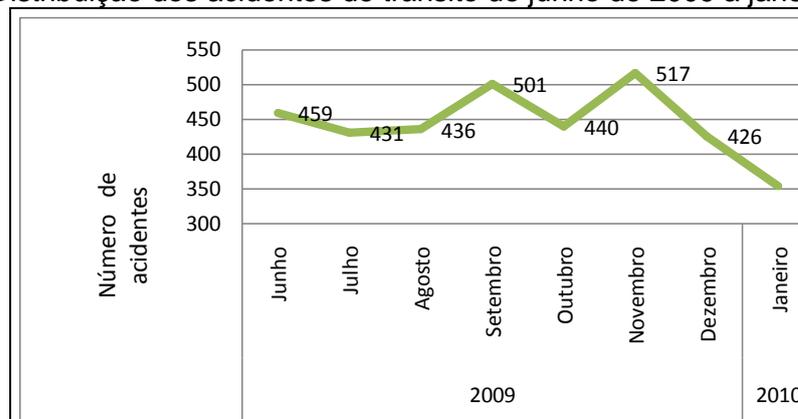
Os dados foram coletados de BO's⁵ manuais e digitalizados em uma planilha do *Microsoft Excel 2003*. Posteriormente, para a localização dos acidentes de trânsito no município de Presidente Prudente foi utilizado o *software* ArcView 3.2, por meio da ferramenta de Geocodificação, a qual faz uma relação entre um tema de base do endereço e as planilhas de endereços do fenômeno com seus atributos - neste caso, os acidentes de trânsito com o logradouro e outras variáveis. Para isso, a ferramenta estabelece as propriedades de Geocodificação do tema e cria um arquivo índice de Geocodificação.

A Geocodificação é um processo que compara dois endereços para determinar se eles são o mesmo, tanto na tabela de endereços criada como na tabela de atributo no tema de referência, fazendo a plotagem dos eventos quando relacionados. Essa técnica é extremamente útil para georreferenciar fenômenos que contenham amplos bancos de dados, como é o caso deste trabalho.

Após o georreferenciamento dos dados por meio da Geocodificação de endereços foi identificado um total de 3.564 fatos, considerando um período de oito meses, de junho de 2009 até janeiro de 2010. Ao longo desse tempo foi calculado uma média de 445 acidentes por mês, contudo, os mesmos ocorreram em maior frequência no mês de novembro e menor no mês de janeiro, conforme se observa no Gráfico 5.

⁵ No 18º BPM/I de Presidente Prudente existem dois tipos de BO's: os manuscritos e os digitais. Os manuscritos são feitos pelos policiais no momento do acidente, onde as viaturas se deslocam, geralmente quando há vítimas lesionadas ou quando o veículo sofre algum dano mecânico, tornando-se impossibilitado de rodar para comparecer até o posto policial de atendimento mais próximo. Já os BO's digitais são feitos por iniciativa dos próprios envolvidos (acidentes sem vítimas), os quais devem se deslocar até a base policial mais próxima ao local do acidente - normalmente esses BO's são feitos de forma mais simplificada para fins de agilizar seguros, atestados, preservação de integridade, garantias etc.

Gráfico 5: Distribuição dos acidentes de trânsito de junho de 2009 a janeiro de 2010.



Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

Os meses de setembro e novembro apresentaram crescimentos significativos (Gráfico 5), em contrapartida, o mês de janeiro teve intenso declínio de sua reta. O mês de novembro representou 15% do total de acidentes, setembro 14%, junho 13%, julho, agosto, outubro e dezembro representaram 12% cada um e, janeiro representou 10% dos 3.564 acidentes, nos oito meses.

Estes dados revelam a realidade material da cidade no que tange a sua dinamicidade, ou seja, os dados de acidente de trânsito vão de encontro com os períodos em que há maior quantidade de fluxos de veículos. Presidente Prudente é conhecido como município polarizador dos serviços em toda região. É considerada cidade universitária, além de concentrar serviços, comércio e indústria, atraindo pessoas dos municípios vizinhos.

Analisando os meses de julho, dezembro e janeiro - considerando os dois primeiros parcialmente e o terceiro integralmente de férias - tiveram os menores números de acidentes. Julho e Dezembro como meses de período letivo e férias possuem uma média de 428 acidentes, já o mês de janeiro considerado integralmente de férias, totaliza o menor registro dos fatos, somente 354.

Os SIG's são excelentes ferramentas para se tratar os eventos do trânsito, já que os acidentes de trânsito constituem um fenômeno espacial dinâmico, de causas integradas. O banco de dados elaborado neste trabalho contém inúmeras variáveis, como: a natureza do acidente, o dia da semana em que ocorreu o fato, a hora, o sexo e a idade dos envolvidos, as características do veículo, o tipo de acidente, as condições do tempo e da pista, entre outros. Sendo assim, os SIG's possibilitam construir análises rápidas e precisas para se obter respostas a esse fenômeno que se altera no tempo e espaço.

Uma ferramenta muito utilizada no SIG é a *Query Builder*, que gera consultas por apontamento através da seleção das variáveis e algumas codificações, como símbolos de <, >, =, <=, >= and, or, e not. Em um banco de dados se pode fazer a seleção da variável desejada, cruzar informações correlacionadas e obter as respostas na *View*, ou mesmo no banco de dados.

A ferramenta identifica os dados selecionados de acordo com a consulta indicada pelo usuário do sistema. Quando identificado os atributos de interesse se pode extrair um novo tema, convertendo-o em formato ".shp", em que se poderá aplicar outras técnicas, como as de estatística espacial. Uma análise espacial da distribuição dos acidentes demonstra onde os mesmos estão alocados e identifica

mais facilmente comportamentos diferenciados de acordo com as variáveis selecionadas a serem analisadas. Para aplicar as técnicas de estatística espacial foi utilizado o *software TerraView 3.3.1*, com a geração de mapas de Kernel.

Por meio da ferramenta Query Builder e da extração do tema foi feita uma consulta para identificar onde estão e quais são os acidentes que ocorreram nos sábados entre as 7 e às 14 horas e entre as 14 e 21 horas, assim como durante a semana nas mesmas horas, considerando o período de análise de oito meses. Para isso, no cruzamento da variável hora com o dia da semana foi aplicado a técnica do estimador de Kernel, de modo a identificar as concentrações entre os sábados e os dias da semana, nas primeiras e últimas horas, verificando as diferenças de concentrações, conforme se observa na Figura 6A e 6B e na Figura 7A e 7B.

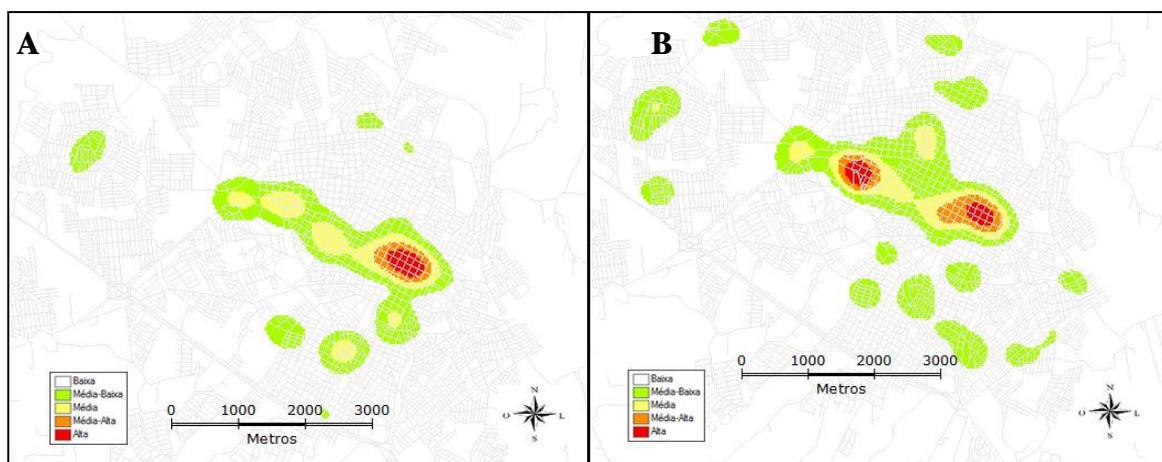


Figura 6: Acidentes de trânsito nos sábados: A) entre as 7 e 14 horas B) entre as 14 e 21 horas. Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

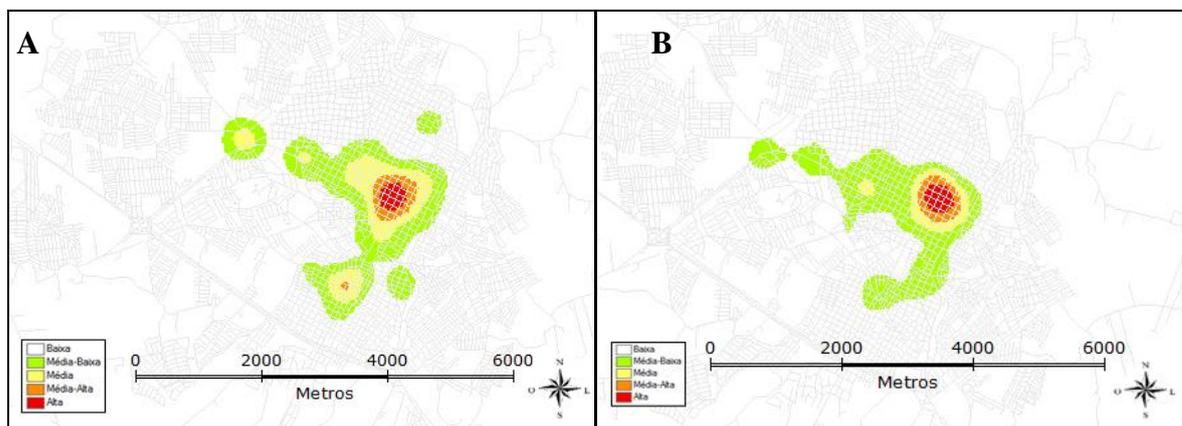


Figura 7: Acidentes de trânsito nas terças-feiras: A) entre as 7 e 14 horas B) entre as 14 e 21 horas. Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

Observando as duas figuras é possível inferir que a diferença nas horas é um fator de influência para os deslocamentos da ocorrência de acidentes nos sábados, pois na Figura 6 A ocorre concentração alta somente no quadrilátero central, ou seja, no setor técnico e comercial da cidade. Em contrapartida, conforme as horas passam, ocorre também concentração alta na localidade do *Prudenshopping* (Figura 6 B), momento em que esse estabelecimento exerce sua maior centralidade. Quando se analisa os dias da semana, o comportamento da

distribuição espacial dos acidentes é um pouco diferenciado, haja vista que nos dois períodos selecionados (das 7 às 14 e das 14 às 21 horas) em todos os dias da semana (segunda-feira até sexta-feira) a concentração alta se deteve somente no quadrilátero central, não se deslocando para áreas do *Prudenshopping*, conforme se verifica nas terças-feiras na Figura 7 A e 7 B.

Apesar de as maiores concentrações terem ocorrido no quadrilátero central, quando se considera a variável hora, desconsiderando o dia da semana e selecionando o período em que não há funcionamento do setor técnico comercial dentro e no entorno do quadrilátero central, o ponto crítico a acidentes de trânsito é visivelmente deslocado para o bairro Jardim Bongiovani (Figura 8 A), estabelecendo uma relação de lazer noturno/madrugada com a concentração de acidentes, ao contrário do quadrilátero, que tem suas concentrações altas apenas durante o dia e noite (Figura 8 B e C).

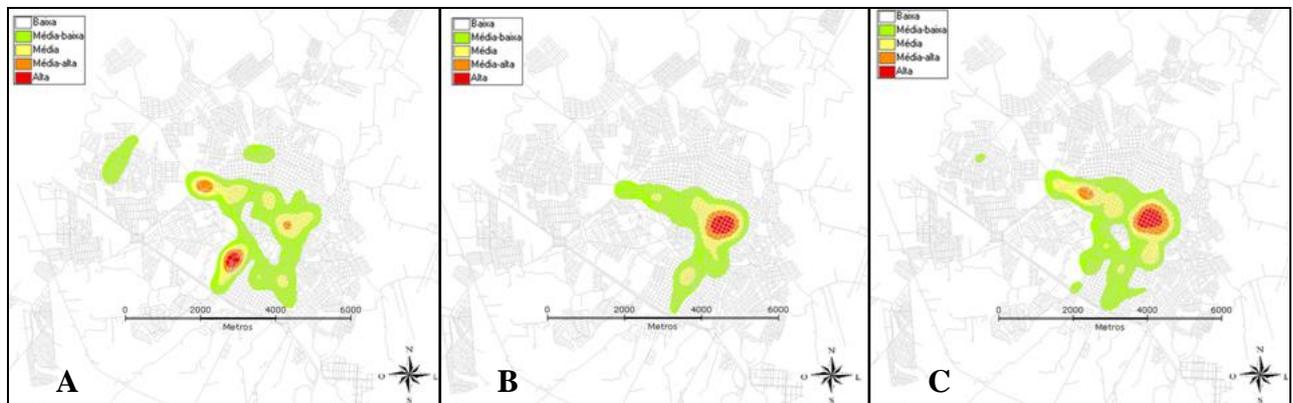


Figura 8: Mapa de Kernel para os acidentes de trânsito: A) Madrugada B) Dia ; C) Noite.

Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

A Figura 8 A demarca a intensidade alta de acidentes no bairro Jardim Bongiovani, considerando o período da madrugada. O bairro concentra bares, boates, casas de *shows*, moradias estudantis, etc., portanto, percebe-se uma forte relação entre os locais e a hora em que ocorreram os acidentes, visto que nesta localidade é comum o flagrante de embriaguez nos condutores, multas por alta velocidade, entre outras infrações⁶. A Figura 8 A ainda apresenta média alta concentração no cruzamento dos hipermercados *Carrefour* e *Muffato Max*, assim como pequeno ponto de concentração média-alta no quadrilátero central. Já na Figura 8 B, caracterizada pelos acidentes durante o dia (manhã até tarde), percebe-se que a alta e média-alta concentração se restringe apenas ao quadrilátero e seu entorno, momento em que o local exerce sua maior centralidade. Por fim, na Figura 8 C, caracterizada pelo final da tarde e a noite, a concentração alta continua no quadrilátero e aparece média-alta concentração no *Prudenshopping*.

Essas diferentes espacializações dos acidentes de trânsito, tanto em dias diferentes, como também nas diferentes horas, demonstram que em Presidente Prudente não existe apenas uma centralidade, mas que as mesmas se modificam a

⁶ Com a coleta de dados dos BO's foi possível identificar grande número de infrações por irregularidades como o consumo de bebida alcoólica, excesso de velocidade, poluição sonora, apreensão de substâncias entorpecentes, entre outras, principalmente no bairro Jardim Bongiovani – essas informações foram identificadas em uma coluna nomeada "Observação" no banco de dados elaborado nesta pesquisa.

todo momento, e podem ser expressas pela ocorrências de acidentes nos diferentes espaços da cidade.

Desconsiderando os atributos, pela análise temporal dos oito meses se verificou que os acidentes de trânsito encontram-se concentrados principalmente no centro da cidade, com pouco deslocamento espacial e temporal. Nos oito meses analisados, individualmente, todos seguem o mesmo padrão de aglomerações, com pequenas alterações na extensão territorial da cidade, porém mostrando as mesmas áreas críticas de alta concentração na área do quadrilátero central, conforme a Figura 9.

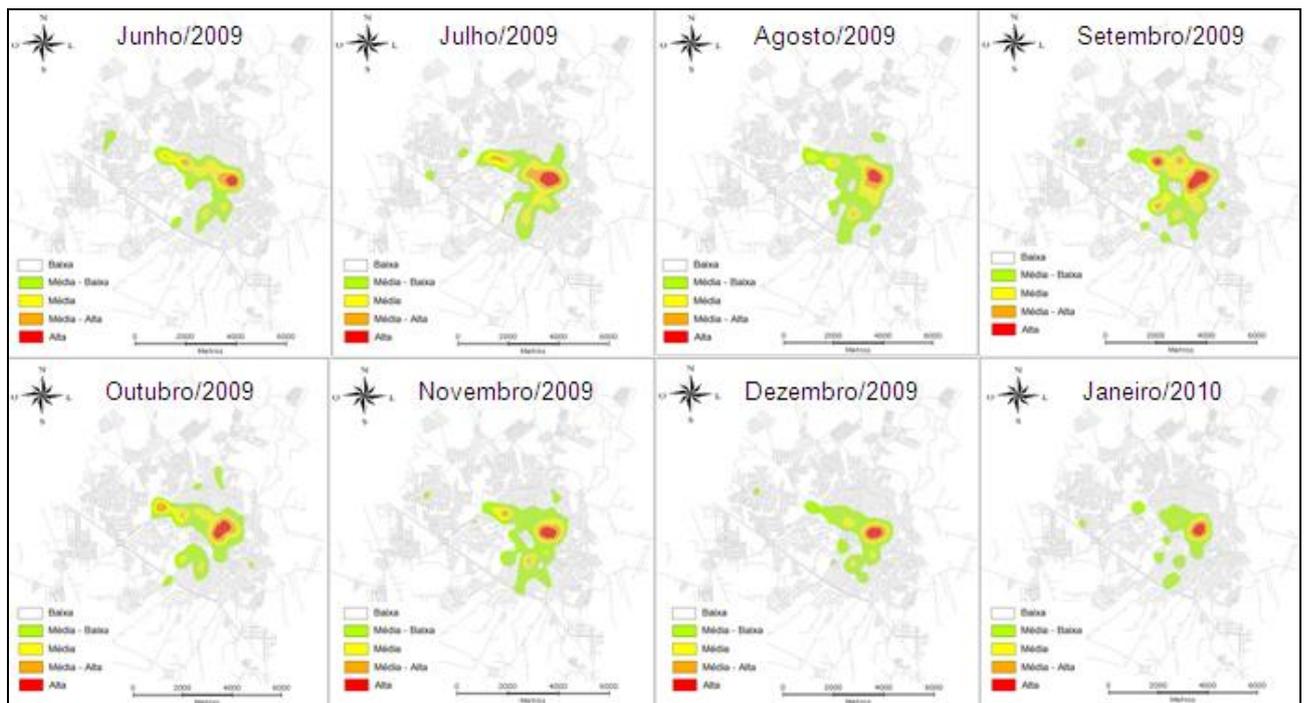


Figura 9: Mapa de Kernel para os acidentes de trânsito de junho de 2009 a janeiro de 2010, individualmente.

Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

Quando se soma todos os acidentes de trânsito desde junho de 2009 até janeiro de 2010, totalizando 8 meses de dados (Figura 10) o mesmo ocorre: as maiores concentrações estão alocadas no quadrilátero central, o que permite constatar que esses mesmos locais possuem algum problema de ordem estrutural, já que não são fenômenos que podem ser explicados por alguma circunstância momentânea – a alta concentração não acontece somente num mês, podendo ter uma justificativa, mas é um problema que aparece em todos os meses -, portanto, precisa ser acompanhado pelas autoridades e necessita de intervenções.

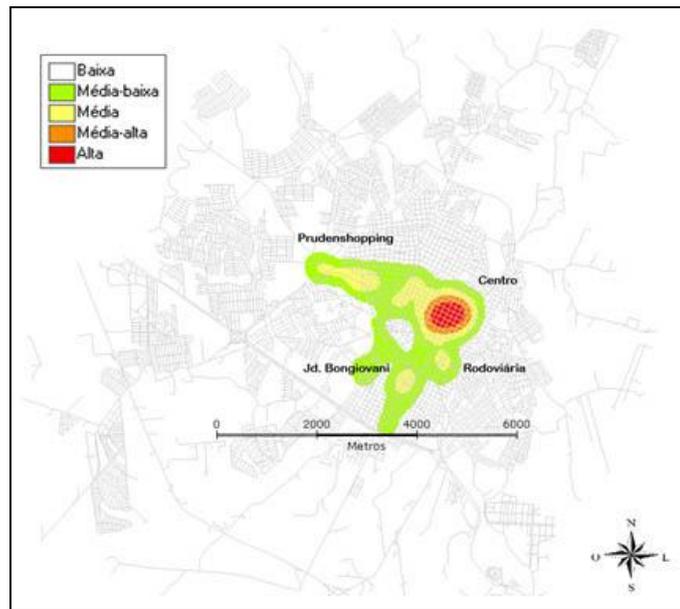


Figura 10: Mapa de Kernel para os acidentes de trânsito de junho de 2009 a janeiro de 2010.
Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

A Figura 10 demonstra a concentração alta no quadrilátero central, local que concentra as avenidas mais influentes e o setor técnico e comercial da cidade, se constituindo como importante área composta por muitos fluxos diários, formando o centro da cidade.

Castells (1983) ao discutir o conceito de centro afirma que o mesmo se constitui por um conteúdo social, ao mesmo tempo em que contém um local geográfico (Castells, 1983, p. 311). Assim, a centralidade, como um motor das articulações dos elementos que compõem a estrutura urbana, expressaria, ao mesmo tempo, um conteúdo e uma forma, uma vez que se materializa nos centros propriamente ditos, nos desdobramentos do centro, subcentros, entre outros.

A diferença entre centro e a centralidade é que o primeiro conceito refere-se a um espaço físico, que exerce alguma centralidade, ou seja, um movimento de atração de pessoas, fluxos etc. - movimento centrípeto -, e o segundo é o efeito atrativo exercido por algum espaço físico, não necessariamente o centro.

A centralidade criada por subcentros aumenta o fluxo de pessoas e veículos, caracterizando um trânsito mais lento e tenso, com maior probabilidade a ocorrência dos fatos, o que denota certa concentração dos acidentes e isso é perceptível em Presidente Prudente.

Os acidentes que acontecem nos bairros e conjuntos habitacionais mais distantes têm pouca concentração, tendendo a acidentes isolados e aleatórios, sendo motivo de menor prioridade para intervenção por parte dos profissionais do trânsito, pois o fato pode ter ocorrido por imprudência dos condutores, condições adversas do trânsito (tempo, iluminação, buracos etc.), falha mecânica do veículo, entre outros fatores. Em contrapartida, à medida que os acidentes se aproximam da área do centro principal, sua intensidade é aumentada, necessitando de intervenções mais complexas, como planejamento, gestão e obras de engenharia de tráfego que requerem urgência em suas execuções.

O bairro Jardim Bongiovani (Figura 10) é o que se pode chamar de subcentros, pois localiza-se relativamente longe e mesmo assim desempenha

papéis urbanos: exerce centralidade em hierarquia menor que o centro principal da cidade; é subcentro porque a concentração não decorre do centro principal, mas de sua própria centralidade.

Comparando-se um mês normal do ano com um mês de férias foi possível identificar uma mudança nos padrões de concentração (Figura 11). O mês outubro é considerado normal, pois a área da educação está em ano letivo e as profissões de modo geral funcionam regularmente nesse período, desse modo, neste mês houve uma concentração média, média-alta e alta na área do *shopping* (principalmente no bairro Jardim das Rosas e Jardim Paulista) e na área do bairro Jardim Bongiovani houve concentração média. Esses dois pontos agregam elevado número de estudantes e funcionários das universidades, visto que estão presentes as duas maiores universidades da cidade, a UNESP (Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”) e a UNOESTE (Universidade do Oeste Paulista), e ainda concentra um setor de comércio e serviços local, de lazer noturno, entre outras atividades, de acordo com a Figura 11 A.

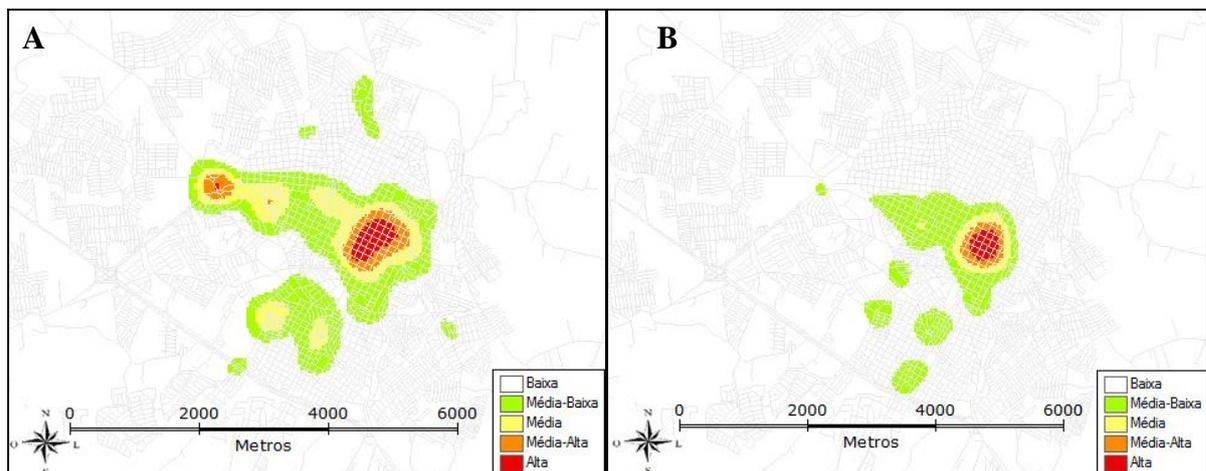


Figura 11: Mapa de Kernel para os acidentes de trânsito: A) outubro, mês regular; B) janeiro, mês de férias.

Fonte: Dados de BO's de acidentes de trânsito – 18º BPM/I. Org. Patricia Matsumoto.

Já no mês de férias, janeiro, a concentração presente na Figura 11 A aparece em menor intensidade na Figura 11 B, tanto ao eixo sudeste da cidade (área do Jardim Bongiovani) que passa de média para média-baixa concentração, quanto no eixo noroeste (área do Prudenshopping) que passa de alta e média-alta concentração para média-baixa ou baixa. No mês de janeiro (Figura 11 B) as concentrações presentes em outubro (Figura 11 A) diminuem, ou desaparecem.

Presidente Prudente é considerada uma cidade universitária, pois detém importantes universidades, como a UNESP, Unoeste, UniToledo (Centro Universitário Toledo) e Uniesp (União das Instituições Educacionais do Estado de São Paulo), logo, detém elevada quantidade de estudantes, que representam grande movimento na cidade. Sendo assim, percebeu-se uma relação de que quando os mesmos estão em período de férias, há uma diminuição das ocorrências em acidentes de trânsito.

Todos os lugares que modificaram seus pontos de concentração expressam alguma centralidade - *shopping*, universidades, centro comercial e de serviços, área

de lazer noturno, hipermercados, entre outros. Nesse sentido, como o município é composto, em grande parte, por estudantes, é perceptível a influência das férias na diminuição do número de acidentes de trânsito, quando parte da população sai para as férias.

As técnicas aplicadas neste trabalho, com auxílio do SIG e da estatística espacial, se mostraram elementares para analisar a distribuição dos acidentes de trânsito e para se identificar características, padrões de intensidade e dependência entre estes fenômenos, pois estas técnicas indicam os locais críticos a acidentes e ainda são capazes de traçar características importantes dos acidentes que podem ajudar a diminuir e prever as ocorrências.

Considerações finais

Mapear o fenômeno dos acidentes de trânsito é importante porque quando identificados, os mesmos indicam quais são os locais mais afetados, demonstrando os pontos críticos que precisam de intervenção, seja na infraestrutura de obras de engenharia de trânsito ou em medidas político-sociais. Devido ao período em que vivemos, em que os modos de vida da população refletem o consumo excessivo de veículos e a prioridade de deslocamentos individuais, o trânsito é um tipo de fenômeno que necessita de periódica manutenção, atuando em constante mudança no desenvolvimento econômico e assim refletindo nos espaços de circulação.

As novas geotecnologias e a aplicação de estatística espacial possibilitaram criar alguns diagnósticos acerca do comportamento dos acidentes de trânsito em Presidente Prudente, possibilitando a comparação das estatísticas dos fatos no tempo e no espaço, que revelam como o problema evolui e qual o seu grau de gravidade em alguns locais da cidade. Apesar de pouco deslocamento das concentrações ao longo dos oito meses de análises, identificou-se um ponto mais crítico, o quadrilátero central, sendo este um problema permanente, que por sua vez, deve rapidamente ser suprimido.

Na medida em que foram aumentando as necessidades de deslocamento, em função do aumento da população, da mudança de hábitos, econômica, ou do aumento da renda, o espaço urbano foi sendo adaptado de forma desconexa. Assim, é possível perceber que em Presidente Prudente o ponto mais prejudicado é o quadrilátero central e seu entorno - centro principal da cidade -, sito a local de primeira expansão do município, que ao longo dos anos não sofreu modificações nas infraestruturas, ao passo que o número de habitantes, o modo de vida e a economia continuaram crescendo. Nesse sentido, a tendência é cada vez mais esse local ser um ponto de alta concentração de acidentes, merecendo maior atenção.

Nas análises espaço-temporais dos acidentes houve um deslocamento dos mesmos durante os meses de férias e em período regular, haja vista que no mês de janeiro as concentrações diminuíram ou desapareceram de alguns locais, enquanto que em outubro, período letivo, os mesmos refletem aglomerações intensificadas.

Ademais, outros pontos bastante prejudicados são os novos subcentros, principalmente a área do Prudenshopping, do bairro Jardim Bongiovani, dos hipermercados e cruzamentos de algumas vias importantes para a cidade. Em muitos desses locais não é apenas as condições físicas causadoras dos acidentes, mas a elevada frota de veículos e a imprudência dos condutores. Nestes casos, há a necessidade de maior rigor na legislação e sua fiscalização, pois em fatos como

embriaguez, por exemplo, poucas penas são imputadas aos infratores graves, possibilitando, ou até mesmo incentivando novas ações.

Outro fator que modificou a localização dos acidentes foi a hora e dia da semana. Percebe-se que em dias da semana, principalmente em períodos de funcionamento do comércio do centro de Presidente Prudente, sito ao quadrilátero central, há concentração alta, todavia, conforme as horas passam e o mesmo se mantém fechado, há um deslocamento dessa concentração para os arredores do *Prudenshopping*. Quando se seleciona o dia da semana de sábado, a concentração alta no *shopping* já se inicia no período da tarde, diferente dos dias da semana em que isso não ocorre. Essa análise aponta que quando o comércio do quadrilátero central está em funcionamento há concentração de acidentes, caso contrário, há uma diminuição e deslocamento para outras áreas da cidade. As variáveis hora e dia da semana expressam as diferentes centralidades existentes em Presidente Prudente, que vão se deslocando conforme a apropriação e utilização dos espaços durante o dia, na cidade.

Os SIG's e as técnicas de estatística espacial são importantes ferramentas para auxiliar no gerenciamento das atividades de trânsito de um município. Para a realização deste trabalho foi criado um extenso banco de dados, contendo inúmeras informações, que facilmente podem ser atualizadas e combinadas, possibilitando consultas complexas de forma rápida, que por sua vez, podem respaldar decisões e subsidiar projetos a serem desenvolvidos pelas entidades responsáveis, realizando a manutenção dos acidentes de trânsito, tornando o trânsito mais seguro e fluido.

O conhecimento desta pesquisa pode ser colocado a disposição do poder público, para que possam fazer análises através do banco de dados e utilizar essas metodologias para gerenciar o tráfego, atentando aos pontos críticos de acidentes. Deste modo, pode-se buscar a supressão dos mesmos através das análises nos locais referidos, seja através de uma reestruturação da engenharia de tráfego, ou mesmo em campanhas e mudanças político-sociais. Pondo em prática os conhecimentos apresentados é possível acreditar em uma cidade com um sistema viário bem estruturado, com livre circulação e uma diminuição das ocorrências de trânsito.

Bibliografia

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. Essex: Longman Scientific and Technical, 1995. 413p.

BATELLA, W. B. ; DINIZ, A. M. A. **O uso de técnicas elementares de estatística espacial no estudo da reestruturação espacial da criminalidade violenta no Estado de Minas Gerais: 1996-2003**. Caderno de Geografia (PUCMG), v. 16, p. 153-167, 2006.

BRASIL. DENATRAN. **Frota Municipal de Veículos**. Departamento Nacional de Trânsito, 2011.

_____. DETRAN – SP. Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo, 2010.

_____. CÓDIGO NACIONAL DE TRÂNSITO, Lei nº 9.503. Sancionado em 23 set. 1997.

_____. SECRETARIA EXECUTIVA DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Cadernos de Saúde. SIM/DATASUS** (Sistema de Informações sobre a Mortalidade/Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde), 2009

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistema de Informações Geográficas**. Instituto de Computação. Campinas: UNICAMP, 1996. 193p.

CAMARA, G.; CARVALHO, M. **Análise de processos pontuais**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap2-eventos.pdf>>. Acesso em: 06 de mar. de 2010.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. de. **Arquitetura de sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> Acesso em: 03 de abr. 2009.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, M. A. V. **Conceitos básicos em ciência da geoinformação**, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> Acesso em: 03 abr. de 2009.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, M. A.; DAVIS, C. **Geoprocessamento: teoria e aplicações**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> Acesso em: 03 de abr. de 2009.

CARNEIRO, E. O.; SANTOS, R. L.S.; QUINTANILHA, J.A. **Análise espacial aplicada na determinação de áreas de risco para algumas doenças endêmicas: o uso de técnicas de geoprocessamento na saúde pública**. Congresso Brasileiro de Cartografia, 22. Anais... Macaé, Rio de Janeiro. 2005.

CASTELLS, Manuel. **A questão urbana**. São Paulo: Paz e terra, 1983. 590 p

DAVIS, C.; CÂMARA, G. **Introdução**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> Acesso em: 03 de abr. de 2009.

FAJARDO, S. **A questão locacional e a Nova Geografia.** *Ambiência*, Guarapuava, v.6, n.1, p.161-8, 2010.

FERRARI, R. **Viagem ao SIG** planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de Sistemas de Informação Geográfica. Curitiba: Sagres, 1997. 171 p.

GADRET, H. J. **Trânsito superfunção urbana.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1969. 217p.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. N. **Quantificação em Geografia.** São Paulo: Difel, 1981. 161 p.

Introdução ao ArcView GIS. **O que é Geocodificação.** In: Manual ARCVIEW. GEMPI – Gestão Empresarial & Informática LTDA. 1992-1996.

SANTOS, S. M.; SOUZA, W. V. (Org.). **Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública.** Brasília: Ministério da saúde, 2007. 122p.

Tutorial sobre Banco de Dados Geográficos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos, 2006.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas.** São Paulo: Annablume, 2000. 284 p.

_____. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas.** São Paulo: Annablume, 2001. 218p.

*Recebido em 8 de março de 2012.
Revisado em 25 de agosto de 2012.
Aceito em 28 de agosto de 2012.*