

Revista Brasileira de Cartografia (2016), Nº 68/4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial: 831-841  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **ANÁLISE FATORIAL MULTIVARIADA EM DADOS DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS PARA O MAPEAMENTO DE TRECHOS CRÍTICOS**

*Multivariate Factorial Analysis in Road Accident Data for  
Mapping Critic Segments*

**Mariana Dias Chaves Batistão<sup>1</sup>, Vilma Mayumi Tachibana<sup>2</sup>  
& João Fernando Custodio da Silva<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Presidente Prudente – SP**

Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente - SP - Brasil.

mmariana.chaves@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP**

**Departamento de Estatística**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Presidente Prudente – SP**

Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente - SP - Brasil.

vilma@fct.unesp.br

**<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP**

**Departamento de Cartografia**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Presidente Prudente – SP**

Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente - SP - Brasil.

jfsilva@fct.unesp.br

*Recebido em 30 de Janeiro, 2016/ Aceito em 27 de Março, 2016*

*Received on January 30, 2016/ Accepted on March 27, 2016*

### **RESUMO**

Organismos internacionais de saúde, e brasileiros também, consideram a alta incidência de acidentes viários uma epidemia por causa das milhares de vítimas fatais e sobreviventes com sequelas. A quantidade no espaço urbano é preocupante, porém a letalidade dos eventos rodoviários é maior. O estudo dos fatores determinantes é complexo e por isso não despreza nenhum tipo de contribuição calcada em ciência e tecnologia. O uso de técnicas de análise estatística multivariada é uma poderosa ferramenta de descrição e análise de dados multivariados, devido a sua capacidade de relacionar todas as variáveis de um conjunto de dados e extrair as informações sumarizadas sobre o todo. A análise fatorial resume os dados que descrevem o conjunto em um número menor de conceitos do que as variáveis originais individuais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de aplicação da análise fatorial multivariada em dados de acidentes de trechos rodoviários da SP-270, entre os quilômetros 493 e 592, do período de 01 de janeiro de 2007 a 21 de abril de 2013. Os dados foram disponibilizados pela Polícia Militar Rodoviária do estado de São Paulo em forma de tabelas e utilizados para interpretação das variáveis envolvidas. A análise identificou onze fatores referentes às variáveis altamente correlacionadas e os trechos (quilômetros) ligados com as características de cada fator. Os resultados obtidos estão condizentes com a estatística descritiva (dados originais). A análise estatística pode contribuir

com o mapeamento dos trechos críticos mediante a informação georreferenciada apropriada aos condutores sobre a situação de segurança em trechos das rodovias e conseqüentemente subsidiar os processos de tomada de decisão para fins de atenuar os riscos e os acidentes viários.

**Palavras chaves:** Segurança Viária, Acidente Rodoviário, Estatística Multivariada, Análise Fatorial.

## ABSTRACT

Health international organizations, and also Brazilians, consider the high incidence of road accidents an epidemic due to thousands of fatal victims and injured survivors. Although the amount in urban areas is worrisome, those road events are lethal in general. Road accidents have been considered a high complexity matter due to many variables that contributes to their occurrence so that the study of their determinant factors should not despise knowledge based on science and technology. The technique of multivariate statistical analysis is a powerful tool to describe and analyze multivariate data in order to establish a relationship among all variables of a data set and then to extract summarized information of the whole problem. The factorial analysis condenses the describing data set in a lesser number of concepts. This work aimed at the evaluation of the potential of the multivariate factorial analysis applied to a road accident data of the SP-270 segments between kilometers 493 and 592 occurred from 01 January 2007 and 21 April 2013. The recorded data were provided in tables by the São Paulo State highway police. The analysis identified eleven factors referred to highly correlated variables and the road segments related to the characteristics of each factor. The results are coherent with the descriptive statistics. This methodology can contribute with the critic road segment mapping through georeferenced information to be released to drivers about the safe condition of road segments and consequently subsidize the decision making process in order to mitigate the risks and to reduce the occurrence of road accidents.

**Keywords:** Road Safety, Road Accident, Multivariate Statistics, Factorial Analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Considera-se o trânsito como a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga e descarga. Em condições seguras, ele é um direito de todos e dever dos órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito (esfera federal, estaduais, municipais), a estes cabendo, no âmbito das respectivas competências, adotarem as medidas destinadas a assegurar esse direito (BRASIL, 1997).

Acidente de trânsito é uma ocorrência que afeta diretamente o cidadão, porquanto a este são impingidos aspectos relacionados com a morte, com a incapacitação física, perdas materiais, podendo provocar sérios comprometimentos de cunho psicológico, muitas vezes de difícil superação (BRASIL, 2010).

A acidentalidade no trânsito é um grave problema no mundo contemporâneo (WHO, 2004). Esse cenário vai se tornar ainda mais trágico se as políticas adequadas não forem colocadas em prática. A previsão é que esses números irão crescer ainda mais atingindo a marca de dois milhões de óbitos no ano de 2020 - considerando um aumento de óbitos de 80% nos países não desenvolvidos e uma

redução de 30% nas nações desenvolvidas, pois com a concretização de ações eficazes, os países desenvolvidos têm conseguido reduzir os acidentes e as mortes no trânsito (FERRAZ *et al.*, 2012).

Diante de tal situação, a ONU (Organização das Nações Unidas) lançou o programa “Década de Ação pelo Trânsito Seguro 2011-2020”, no qual os governos dos países signatários se comprometem a tomar novas medidas para prevenir os acidentes no trânsito, que matam cerca de 1,3 milhões de pessoas por ano (ONUBR, 2011).

Acredita-se que uma política adequada de segurança no trânsito deve atuar no sentido de reduzir a exposição ao risco, a quantidade de acidentes, a severidade de acidentes e os danos às vítimas. Para reduzir a ocorrência e a severidade dos acidentes deve-se atuar em três áreas distintas: Engenharia, Educação e Esforço Legal. O estudo dos acidentes rodoviários tem por base os acidentes ocorridos em determinada rodovia, os quais devem ser caracterizados conforme a sua natureza, forma de ocorrência e sistemática de repetição, a fim de que possam ser estabelecidos critérios de prevenção. A classificação dos acidentes é feita de acordo com o local, o momento, as características dos

veículos, as pessoas envolvidas e as vítimas, o tipo e estado do pavimento e as condições ambientais (FERRAZ et al., 2012).

Muita atenção sempre foi dedicada ao estudo de estatística univariada de acidentes rodoviários a fim de caracterizá-los. A melhora quantitativa e qualitativa dos registros de dados da Polícia Militar Rodoviária de São Paulo (PMR-SP) contribuiu para o início da utilização de outras técnicas estatísticas.

Apesar desta melhora, os dados têm sido apontados como imprecisos e incompletos (JUNIOR & BRAGA, 2010), de modo que a qualidade dos registros é sem dúvida um tema crucial, porém não abordado diretamente neste trabalho. Pesou a consideração de que, embora imperfeito, o registro, tal como está, é uma aproximação razoável do fato ocorrido. A construção de uma metodologia de análise para delimitar os trechos críticos não estará invalidada por causa de dados aproximados.

O comportamento dos dados coletados de amostragem ou experimentação geralmente sugere uma explicação modificada dos fenômenos sumarizada no espaço, tempo, ambiente e veículo. A complexidade da análise dos acidentes exige que os pesquisadores coletem as informações disponíveis sobre todas as variáveis. A análise multivariada está relacionada com métodos estatísticos para descrever e analisar esses dados multivariados (JOHNSON & WICHERN, 2007). Portanto, é recomendável analisar as variáveis da ocorrência dos acidentes rodoviários com estatística multivariada por conta da variabilidade temporal e espacial do dado em questão.

Dois são os objetivos deste estudo. Um de cunho estratégico (médio e longo prazos) que visa aprimorar a metodologia de análise (CHAVES, 2014), de modo a qualificá-la para integrar um sistema de análise e alerta de segurança viária referenciado ao trecho crítico da rodovia. O outro, de cunho tático (curto e médio prazos), pretende investigar, descrever e interpretar as variáveis envolvidas nos acidentes dos segmentos por meio da análise fatorial multivariada e cotejo com os resultados da análise univariada.

O presente artigo apresenta e discute o emprego da análise estatística multivariada, mediante a contribuição da análise fatorial, aplicada em acidentes registrados e agrupados por quilômetro.

Descreve-se a relação entre um conjunto maior de variáveis e um grupo de onze fatores.

## **2. AREA DE ESTUDO**

A rodovia estadual Raposo Tavares (SP-270) pertence ao conjunto das principais vias macro metropolitanas, que articulam as viagens externas à Região Metropolitana de São Paulo (CONSÓRCIO JPG - PRIME, 2010). Os dados que subsidiaram o presente trabalho referem-se a um segmento desta rodovia e foram gratuitamente cedidos pela PMR-SP. O estudo foi realizado com base nos 1.177 acidentes registrados no segmento entre os quilômetros 493 e 592 (Figura 1), no período de 01 de janeiro de 2007 a 21 de abril de 2013.

Neste segmento, Lemes (2011) já havia constatado que o trecho entre os quilômetros 568 e 570 era um dos mais críticos, porque registrou a maior concentração de acidentes graves do segmento. A sua metodologia de análise foi empírica e pouco reveladora de uma base científica. Chaves (2014) reprocessou os dados, tendo por base a análise univariada, e confirmou o trecho crítico, com o intuito de conhecer preliminarmente a tipificação dos acidentes do segmento estudado.

O trecho crítico constatado está na parte urbana da rodovia que serve e cruza o município de Presidente Prudente, que possui 222.192 habitantes e uma área de 560,637 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016).

## **3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS**

A tipificação dos acidentes pode seguir diferentes linhas de classificação. No Brasil, ela é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por intermédio de sua PB-32 "Relatório de Acidentes de Trânsito". Adota-se a seguinte classificação: abaloamento lateral no mesmo sentido, em sentidos opostos e transversal; atropelamento, capotamento, choque, colisão, combinação, engavetamento e tombamento.

No caso do acidente ter ocorrido em uma rodovia estadual, tem-se que a malha rodoviária estadual é composta pelas rodovias e seus complementos rodoviários sob a jurisdição de uma unidade da Federação e compreende a infraestrutura rodoviária e a estrutura operacional. Por estrutura operacional entende-se o conjunto de atividades que possibilitam o uso adequado da malha rodoviária.



Fig. 1 - Ilustração do segmento (km 493 – km 592) da rodovia Raposo Tavares.

Os dados dos acidentes foram analisados pelo método da estatística descritiva (CHAVES, 2014) e da estatística multivariada, particularmente, a análise fatorial multivariada.

### 3.1 Análise descritiva

Os dados quantitativos utilizados neste trabalho foram cedidos pela Polícia Militar Rodoviária (PMR) do estado de São Paulo e compõe cinco planilhas referentes aos acidentes rodoviários identificados pelo quilômetro de ocorrência, que cobrem o período de 2007 a 2013.

Uma análise descritiva dos dados foi realizada como trabalho preliminar à análise multivariada e se concentrou no trecho entre os quilômetros 560 a 570, que apresentou a maior porcentagem de ocorrências. Maiores detalhes podem ser obtidos em Chaves (2014) e Lemes (2011). Foram avaliadas as ocorrências por tipo de vítima, gravidade, acidente (Figura 2), veículo envolvido (Figura 3) e dias da semana (Figura 4).

O número de ocorrências que envolvem vítimas é menor que aqueles que possuem vítimas, principalmente entre os quilômetros 560 e 565 e no km 570. Quanto à distribuição da gravidade do acidente, em leve, grave a

fatal, predominam os acidentes do tipo leve no trecho, apesar de se constatarem ocorrências de acidentes dos três tipos. Entre os quilômetros 564 e 568 há uma concentração de ocorrências e a maior aparece próximo do quilômetro 569.

Quanto aos tipos de colisão, a título de exemplo, ilustrou-se na Figura 2, apenas a somatória das colisões do tipo traseira, lateral e transversal. A colisão frontal foi mantida numa classe separada por ser o tipo de colisão mais perigosa (FERRAZ et al., 2012). Neste caso, até o km 563, os números de acidentes são menores se comparados aos demais e nesse subtrecho (km 560 até km 563) não há ocorrência de alguns dos tipos de acidentes, por exemplo, atropelamento de pedestres. O número de ocorrências cresce nos dois quilômetros seguintes; diminui novamente no 566 e volta a subir, sendo o quilômetro que acumula o maior número, o 569. Nele, o tipo de acidente mais corriqueiro é a colisão traseira, seguida do engavetamento, capotamento e tombamento.

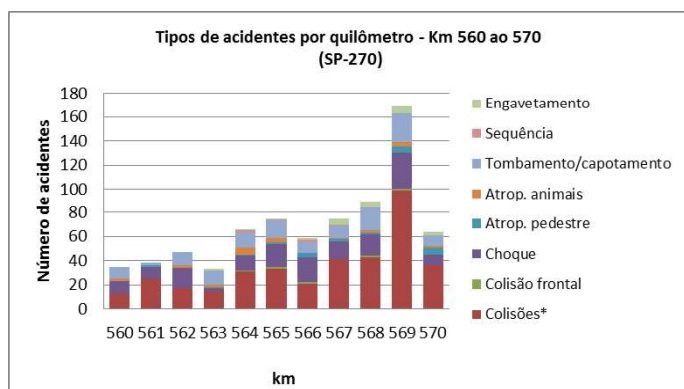
Fato interessante é que dos doze tipos de acidente, cada trecho do experimento apresenta em média sete tipos e o quilômetro 569 apresentou os onze.

Para a análise do tipo de veículo envolvido nos acidentes no decorrer do trecho, foi gerado o gráfico de dispersão (Figura 3). A Figura 3 mostra que as ocorrências se concentram entre os quilômetros 564 a 569. Do km 564 ao 566 só aparecem automóveis e motos envolvidos, veículo que também predomina até o quilômetro 569. Sobre este quilômetro, esse fato pode ser justificado pela proximidade aos trevos de acesso à Presidente Prudente e circulação de moradores entre os bairros da cidade que tem acesso pela Avenida Manoel Goulart, cruzando a rodovia Raposo Tavares na altura do quilômetro 569. O

que também se confirma por ser o único trecho que envolve bicicletas em acidentes.

Quanto aos dias da semana, a Figura 4 apresenta o diagrama da dispersão dos dados do trecho. Domingo é o dia de menor número de acidentes, seguido de segunda-feira e quarta-feira. Há uma concentração de acidentes na terça-feira e sexta-feira nos quilômetros 565 e 569. Neste último, como dominante dentre todos os dias da semana.

Sábado apresenta pequena variação de números de acidentes, distribuído de modo mais homogêneo nos quilômetros do trecho do experimento.



\*Somatória das colisões do tipo traseira, lateral e transversal  
Fig. 2 - Ocorrência de acidentes por quilômetro.

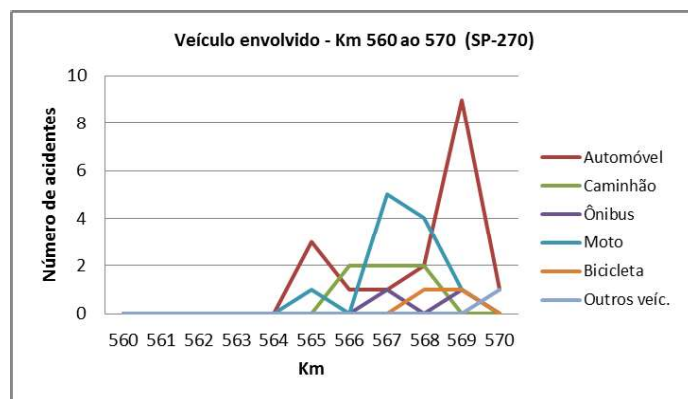


Fig. 3 - Tipo de veículo envolvido.

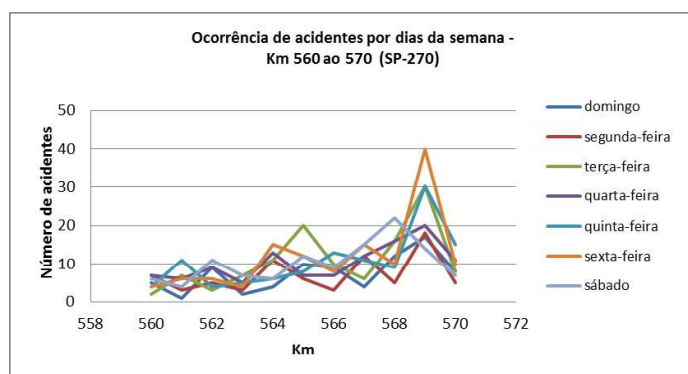


Fig. 4 - Ocorrência de acidentes por dia da semana.

Portanto, após a interpretação dos resultados das análises, o trecho (km 560 a km 570) apresentou, em síntese: grande parte dos acidentes de gravidade leve; tipos colisão traseira, engavetamento, capotamento e tombamento; envolvendo automóveis e motos; nas terças e sextas-feiras. Fato que se dá predominantemente entre os quilômetros 568 e 570.

### 3.2 Análise multivariada

Johnson e Wichern (2007) ressaltam que a análise de dados que já era interessante com uma variável, torna-se fascinante quando várias variáveis estão envolvidas. Existem diversas técnicas de análise conjunta de várias variáveis para alcançar diferentes objetivos. Com o objetivo de descrever a relação entre um conjunto grande de variáveis em termos de alguns fatores que medem aspectos comuns, realizou-se a análise fatorial no conjunto de dados deste trabalho.

#### 3.2.1 Análise fatorial pelo método de componentes principais

A análise fatorial é um método estatístico multivariado cujo propósito principal é definir a estrutura subjacente em uma matriz de dados. Em termos gerais, aborda-se o problema de analisar a estrutura das inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis, definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, chamadas de fatores. O objetivo principal da análise fatorial é resumir os dados, obtendo dimensões latentes, que quando interpretadas e compreendidas, descrevem os dados em um número muito menor de conceitos do que as variáveis originais individuais (HAIR *et al.*, 2009 *apud* SEHABER, 2013).

Seja o vetor de observações dos dados  $X$ , com  $p$  variáveis, cuja média é  $\mu$  e matriz de covariância  $\Sigma$ . O modelo de análise fatorial é:

$$X - \mu = LF + \varepsilon \quad (1)$$

em que  $F$  variáveis não observáveis denotada fatores,  $L$  é a matriz de cargas fatoriais a ser estimada e  $\varepsilon$  são os erros.

De acordo com Johnson e Wichern (2007), há duas maneiras utilizadas para estimação das cargas fatoriais: o método das componentes principais e o método da

máxima verossimilhança. O primeiro realiza a decomposição espectral da matriz de covariância ou correlação para obtenção dos coeficientes dos fatores e o segundo leva em conta a hipótese de normalidade para estimação dos fatores. O primeiro método é condizente com este artigo.

A premissa do método fatorial é a dependência clara entre as variáveis. Os fatores são responsáveis pelo agrupamento e definição de um indicador ou escore para cada classe de variáveis. A proporção da variabilidade de uma variável explicada pelos fatores se dá em função da comunalidade, que é a razão entre a contribuição da  $i$ -ésima variável e número total de fatores. Bons modelos fatoriais têm valores de comunalidade altos. Além dela, a variância específica é a contribuição do fator específico, ou seja, a parte de cada variável que não é explicada pelos fatores comuns.

#### 3.2.2 Determinação do número de fatores

Para fazer o uso das técnicas apresentadas, é necessário decidir o número de fatores que deve ser retido na análise. Se esse número for muito pequeno pode haver uma redução exagerada da dimensionalidade e muita informação pode ser perdida; se ele for muito grande, pode-se não atender os objetivos da redução (JOHNSON & WICHERN, 2007).

Existem vários critérios para escolha desse número, dentre os quais serão abordados três, utilizados no desenvolvimento do trabalho (JOHNSON & WICHERN, 2007).

- Critério de Kaiser

Sugere manter na análise os fatores correspondentes aos autovalores maiores do que a média dos autovalores, se a análise for baseada na matriz de covariância, ou os correspondentes aos autovalores maiores do que 1, se a análise for feita a partir de uma matriz de correlação.

- 70% da variância total

Este critério inclui os componentes que conjuntamente explicam 70% da variância total do conjunto das variáveis em questão; trata-se de um critério mais subjetivo, existindo divergências quanto ao limiar mínimo da variância explicada.

- Screeplot

A porcentagem de variância explicada por cada fator ou autovalores é representada graficamente; quando essa porcentagem (diferença entre os autovalores) se reduz e a curva passa a ser quase

paralela aos eixos das abscissas, é feito o corte desses fatores, excluindo esses fatores.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise fatorial dos acidentes envolveu as características do tipo da vítima, tipo da colisão e veículo envolvido, totalizando 22 variáveis. Além disso, foi considerado todo o trecho rodoviário, entre os quilômetros 493 e 592. As análises foram todas desenvolvidas no *software* estatístico *Minitab 16*, disponibilizado para a pesquisa. Inicialmente foi determinado o número de fatores referentes ao conjunto de

variáveis, seguido da classificação do mesmo e interpretação dos fatores resultantes.

O critério de Kaiser, considerando novamente a matriz de correlação, apontou que o número de fatores é igual a 13. Os 70% da variância total sugerem que são necessários 10 dos 22 fatores pelo critério dos componentes principais para explicar 72,5% da variância total. A análise poderia também ser feita pelo método da máxima verossimilhança, entretanto os dados não são normalmente distribuídos, o que impediu o procedimento. O corte (reta tracejada) do critério *screepplot* (Figura 5) indicou 11 ou 10 fatores.

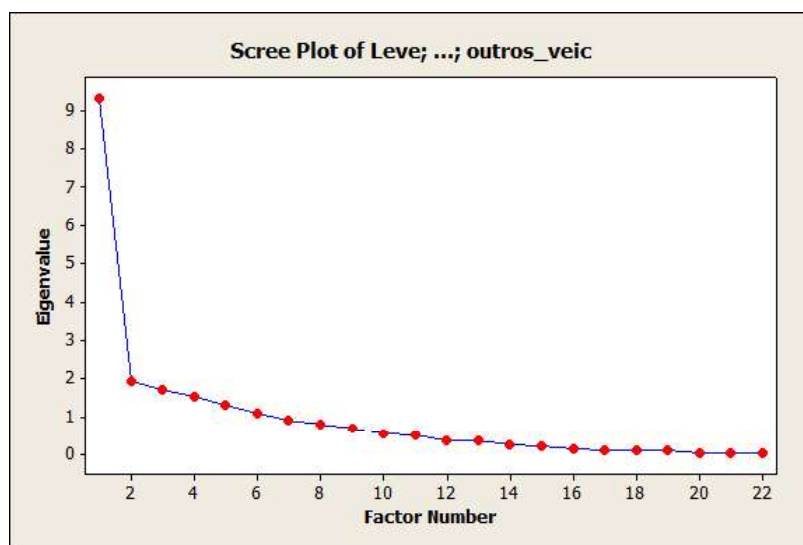


Fig. 5 - *Screepplot* das variáveis da análise fatorial.

Dos resultados acima, optou-se pelo modelo dos dados com onze fatores. Em seguida, a quantidade de ocorrências para cada variável foi inserida no programa em função do quilômetro para uma posterior relação com os fatores.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise fatorial, que é composto pelo número de fatores associados às variáveis e respectivas comunalidades. Para mais detalhes dos atributos das variáveis recomenda-se a leitura de Chaves (2014), capítulo 2.

Tabela 1: Análise fatorial do conjunto de dados - *software* estatístico *Minitab*

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7	Factor8	Factor9	Factor10	Factor11	Comun
Leve	0,641	0,256	0,400	-0,273	0,199	0,164	-0,266	-0,192	-0,228	-0,108	0,104	0,960
Grave	0,186	0,058	0,688	-0,012	0,146	-0,012	-0,259	-0,292	-0,283	-0,389	0,046	0,918
Fatal	0,224	0,287	0,335	-0,578	0,151	0,230	-0,305	-0,208	0,117	-0,268	0,102	0,887
Colisão Traseira	0,650	0,305	0,346	-0,363	0,330	0,147	-0,168	-0,142	-0,016	0,088	0,051	0,958
Colisão Frontal	0,271	-0,062	0,089	-0,124	-0,026	0,025	-0,132	-0,915	-0,067	-0,043	0,035	0,964
Colisão Lateral	0,738	0,185	0,184	-0,109	0,098	0,109	-0,326	-0,272	-0,215	-0,008	0,078	0,879
Colisão Transeira	0,276	0,112	0,085	-0,297	0,001	-0,054	-0,865	-0,140	0,014	0,023	0,006	0,955
Choque	0,769	0,066	0,016	-0,346	0,045	0,088	0,079	-0,287	-0,169	-0,124	-0,014	0,858
Atrop. Pedestre	0,437	0,282	0,164	-0,222	0,738	0,031	-0,111	-0,004	-0,060	0,035	0,069	0,914
Atrop. Animais	0,137	-0,009	-0,003	-0,113	-0,009	0,075	-0,014	-0,034	-0,087	-0,048	0,962	0,973
Tombamento	0,802	-0,012	0,215	0,023	0,036	-0,142	-0,248	0,038	-0,045	-0,216	0,248	0,885
Capotamento	0,461	0,170	0,398	-0,060	0,199	0,468	-0,008	-0,178	0,018	-0,334	-0,022	0,806
Sequência	0,216	0,077	0,082	0,007	0,005	-0,041	0,008	-0,064	-0,946	-0,028	0,090	0,968
Engavetamento	0,532	0,415	0,390	-0,303	0,303	0,298	0,066	-0,094	-0,113	-0,105	-0,086	0,924
Outros	0,317	0,188	0,242	-0,305	0,286	0,229	0,070	-0,063	-0,005	-0,637	0,139	0,856
automovel	0,251	0,003	0,136	-0,880	0,052	-0,056	-0,249	-0,096	0,005	-0,076	0,135	0,956
camoneta	-0,006	0,926	-0,090	0,047	0,012	0,010	-0,116	0,027	-0,136	-0,224	-0,054	0,955
caminhao	0,025	-0,048	0,143	-0,025	-0,023	0,937	0,030	-0,005	0,039	-0,080	0,078	0,917
onibus	0,319	0,848	0,221	-0,186	0,063	-0,079	-0,019	0,030	0,071	0,117	0,066	0,939
moto	0,117	0,486	0,117	-0,517	-0,045	0,352	-0,016	0,008	-0,155	-0,482	-0,014	0,913
bicicleta	0,291	0,032	0,863	-0,238	-0,018	0,256	-0,001	0,035	0,008	-0,008	-0,020	0,955
outros_veic	0,011	-0,076	-0,008	0,033	0,959	-0,017	0,031	0,017	0,017	-0,132	-0,040	0,947
Variance	3,9644	2,4452	2,2177	2,1630	1,8933	1,5898	1,2980	1,2623	1,1957	1,1649	1,0937	20,288
% Var	0,180	0,111	0,101	0,098	0,086	0,072	0,059	0,057	0,054	0,053	0,050	0,922

Segue a interpretação dos onze fatores que consideram os maiores escores das variáveis em cada fator:

Fator 1 - Imprudência do motorista: é o fator mais significativo, que explica 18% da variância dos dados. As variáveis envolvidas neste fator são colisão traseira, lateral e choque; o que sugere também aspectos de não respeitar a velocidade e ultrapassagem dos veículos. Ao analisar os fatores e selecionar apenas o mais expressivo (choque), identificou-se que nos quilômetros 541, 566, 569 e 590 são foram os locais com maior ocorrência dessas variáveis.

Fator 2 - Perímetro urbano: explica 11% da variância dos dados. As variáveis envolvidas são engavetamento, caminhoneta e ônibus. Acidentes que envolvem essas variáveis se dão, principalmente, nos quilômetros 567, 569 e 571, próximos à Presidente Prudente-SP e correspondem a trechos de acesso à cidade.

Fator 3 - Vulnerabilidade dos ciclistas: esse fator envolve as variáveis: ciclista e acidentes do tipo grave. Ele explica 10% dos dados. Ao analisar os escores fatoriais e levar em consideração a variável bicicleta, os quilômetros 568, 569 e 585 estão intimamente ligados com as características desse fator, que, também estão próximos do perímetro urbano.

Fator 4 - Acidentes fatais: os acidentes com automóveis e motos envolvem os maiores números de vítimas fatais e explicam 9,8% dos dados. Pelo maior escore, os quilômetros 569 e 574 estão ligados a esse fator.

Fator 5 - Pedestres na rodovia: este fator envolve a presença de pedestres na rodovia e atropelamentos. É responsável por 8,6% dos dados. O quilômetro mais relacionado com esse fator é o 570. Importante destacar que foi implantada uma passarela de pedestres neste quilômetro em 2011.

Fator 6 - Caminhões na rodovia: as variáveis envolvidas nesse fator são a colisão do tipo capotamento e caminhão, o que evidencia que a maioria das ocorrências de capotamento está ligada a veículos desse tipo. Esse fator explica 7,2% das ocorrências e relaciona-se com os quilômetros 532 e 568.

Fator 7 - Ultrapassagens mal sucedidas: explicam 5,9% dos dados do modelo e envolvem os acidentes com colisão transversal

e lateral. Relaciona-se também com os acidentes fatais. Esse tipo de colisão ocorre quando há impacto entre dois veículos que se cruzam ortogonal ou obliquamente. Os quilômetros relacionados com esse fator são 569, 578, 579 e 584.

Fator 8 - Distração dentro do veículo: os maiores fatores contribuintes para colisão frontal e choque são a distração do condutor dentro do veículo. Este fator explica 5,7% dos dados e esse tipo de ocorrência se concentra nos quilômetros 565, 579, 583 e 590.

Fator 9 - Sequência de colisões: esta variável representa 5,4% da variação dos dados. Ao analisar o escore fatorial mais representativo conclui-se que os quilômetros 564 e 566 estão intimamente ligados com essa característica.

Fator 10 - Motociclistas na rodovia: a presença de motociclistas na pista é altamente correlacionada com a ocorrência de capotamentos. Esse fator, que explica 5,3% dos dados, relaciona-se com os quilômetros 568 e 569, pelo escore mais representativo.

Fator 11 - Animais na pista: fator que explica apenas 5% dos dados e se relaciona com atropelamento de animais na pista. Devido à grande presença de propriedades próximas à rodovia neste trecho do estado de São Paulo, animais soltos podem vir a cruzar a pista. Nos quilômetros 499 a 501, 516, 542, 564, 574 e 576 há grande incidência dessas ocorrências.

A Tabela 2 sintetiza os fatores, a variância dos dados em cada fator, as variâncias envolvidas e os respectivos quilômetros.

A síntese indica que a imprudência do motorista é o principal fator dos acidentes analisados neste estudo de caso. Em seguida, vem respectivamente, a presença de perímetro urbano, dos ciclistas, de pedestres, de caminhões, ultrapassagens mal sucedidas, distração do condutor, colisões em sequência, motociclistas e animais na rodovia. Também é possível notar que os quilômetros 567, 568 e 569 são os mais críticos. Esses resultados vêm ao encontro com os apresentados com a estatística descritiva, reforçando o trecho como sendo crítico.



Tabela 2: Relação entre os fatores, variáveis envolvidas e quilômetros da rodovia

Fator	Variância dos dados	Variáveis envolvidas	km envolvido
1-Imprudência do motorista	18	Colisão traseira, lateral e choque	541, 566, 569 e 590
2-Perímetro urbano	11	Engavetamento, camioneta e ônibus	567, 569 e 571
3-Ciclistas nas rodovias	10	Ciclista e acidentes do tipo grave	568, 569 e 585
4-Acidentes fatais	9,8	Automóveis, motos e vítimas fatais	569 e 574
5-Pedestres nas rodovias	8,6	Pedestres na rodovia e atropelamentos	570
6-Caminhões nas rodovias	7,2	Capotamento e caminhão	532 e 568
7-Ultrapassagens	5,9	Colisão transversal, lateral e acidentes fatais	569, 578, 579 e 584
8-Distração do condutor	5,7	Colisão frontal e choque	565, 579, 583 e 590
9-Sequência de colisões	5,4	Sequência de colisões	564 e 566
10-Motociclistas na rodovia	5,3	Motociclistas e capotamentos	568 e 569
11-Animais na pista	5	Atropelamento e animais na pista	499 a 501, 516, 542, 564, 574 e 576

## 5. CONCLUSÃO

A análise fatorial foi aplicada a 22 variáveis e os 11 fatores gerados aglomeraram todo o modelo. O resultado sugere que o fator “imprudência do motorista” deve ser tratado com maior atenção, visto que é o condutor quem toma a maior parte das decisões durante a condução. O fator “animais na pista”, apesar de representar apenas 5% do modelo de dados, é importante no sentido de retratar uma particularidade do local.

É recomendável, em função dos resultados, efetuar a análise mais de uma vez e em períodos diferentes, a fim de eliminar as variáveis pouco explicadas nos fatores. Além disso, acrescentar dados referentes às condições da pista e climatológicas no momento do acidente enriquecem a informação.

Dados de hora e dias da semana para cada ocorrência por quilômetro serão explorados na continuidade desta linha de pesquisa, objetivando uma análise temporal. Será explorada a técnica estatística multivariada de componentes principais para posterior comparação e complementação com a fatorial. Busca-se assim relacionar todos os dados do acidente, presentes no boletim de ocorrência, diretamente com o quilômetro da rodovia.

É evidente que o resultado, isto é, a conclusão da análise está eivada de certa margem de erros. Isto é assunto para outro tipo de modelagem que leve em conta a propagação de erros, a qual não está em consideração no momento.

Os autores clamam a seu favor a construção

de uma metodologia de análise que integra as geotecnologias em um processo de pesquisa que requer iterações com ajustes e refinamentos, conforme parâmetros específicos e particulares adentrem o modelo de dados.

Em trabalhos futuros, além da ampliação do escopo da metodologia com a inserção da análise dos componentes principais, dados de outras rodovias da região oeste do estado de São Paulo estão sendo preparados. Avaliações cruzadas de índices, a serem calculados, e análise estatística multivariada dos novos dados, complementadas por imagens dos trechos críticos tomadas por uma unidade de mapeamento móvel, estão em preparo. Imagens como as da Fig. 6 foram tomadas por um sistema de mapeamento móvel e servem para visualizar, analisar e levantar hipóteses sobre os possíveis fatores contribuintes de acidentes nos trechos críticos.

Espera-se que, em um futuro próximo, a metodologia em desenvolvimento seja realmente uma efetiva contribuição para o estudo da gênese dos acidentes rodoviários, com o benefício da segmentação por quilômetro e frações, como décimos e centésimos. Deste modo, instituições e cidadãos terão acesso à informação georreferenciada dos acidentes rodoviários de um dado trecho e rodovia. À frente disso está a expectativa de que haja redução na quantidade e severidade dos acidentes, considerando que o condutor seja previamente informado e alertado sobre os trechos críticos das rodovias e suas respectivas localizações geográficas.



Fig. 6 - Exemplo de um par de imagens georreferenciadas de um pequeno trecho da SP-270.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) pelo suporte no desenvolvimento desta pesquisa; à Polícia Militar Rodoviária do estado de São Paulo pelos dados disponibilizados e ao então Capitão João Carlos Lemes pela atenção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro – CTB**. Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/ctb.htm>. Acesso em: 15/11/2011.

BRASIL. Ministério dos Transportes e Ministério da Justiça. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e Departamento de Polícia Rodoviária Federal. **Acidentes por quilômetro (resumido) – 01/01/2010 a 30/06/2010**. Disponível em: [www.dnit.gov.br](http://www.dnit.gov.br). Acesso em: 12/10/2012.

CHAVES, M. D. **Desenvolvimento de um sistema de informações georreferenciadas de segurança viária** 161p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, FCT-UNESP. Presidente Prudente, 2014.

CHAVES, M.D.; SILVA, J.F.C. Visualização de trechos rodoviários críticos em sistema de informações georreferenciadas de segurança viária. In: Congresso Nacional de Pesquisa e ensino em Transportes. v.1, p. 1-5 **Anais...** Curitiba, 2014.

CONSÓRCIO JPG – PRIME. **Rodoanel Mario**

**Covas-Trecho Norte. Estudos ambientais**. 40p. São Paulo, 2010.

DER. **Classificação e Codificação de Rodovias Estaduais**. 25p. Departamento de Estradas de Rodagem – Secretaria dos Transportes. São Paulo, 2005.

DETRAN-SP. **Departamento Estadual de Trânsito: Dicas de direção defensiva**, 2009. Disponível em: [http://www.detran.sp.gov.br/renovacao/direcao\\_defensiva.asp](http://www.detran.sp.gov.br/renovacao/direcao_defensiva.asp). Acesso: em 17/11/2011

FERRAZ, A. C. P. *et al.* **Segurança no trânsito. São Carlos**: Grupo Gráfico São Francisco. 2012.

IBGE. **IBGE Cidades@**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354140&search=sao-paulo|presidente-prudente>. Acesso em: 23/05/2016.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 794p. New Jersey: Prentice-Hall, 6th.ed., 2007.

JUNIOR, R.T.; BRAGA, M.G.C. **Avaliação das informações estatísticas de acidentes de trânsito disponíveis nos sites dos departamentos estaduais de trânsito do Brasil**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/estatisticas.pdf>. Acesso em: 29/09/2016.

LEMES, J. C. **Polícia registra 200 multas por excesso de velocidade no 1º dia de operação**. Ifronteira. Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <http://www.ifronteira.com/noticia-regiao-566>. Acesso em: 05/10/2011.

MAGNUSSON, W. E.; MOURÃO, G. M. **Estatística sem matemática**. 138p. Editora Planta. Londrina, 2003.

ONUBR. Nações Unidas do Brasil. **Década de Ação pelo Trânsito Seguro 2011-2020 é lançada oficialmente hoje (11) em todo o mundo**. Disponível em: <http://www.onu.org.br/decada-de-acao-pelo-transito-seguro-2011-2020-e-lancada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o-mundo/>. Acesso em: 28/08/2013.

RODRIGUES, N.I.V. **Estudo da segurança rodoviária numa rede regional de estradas nacionais**. Dissertação (Mestrado) da Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. 147p. Bragança, 2012.

SECO, A.J.M.; FERREIRA, S.M.P.; SILVA, A.M.B.; COSTA, A.H.P. **Manual do Planeamento de acessibilidades e transportes – Segurança Rodoviária**. 59p. Comissão de coordenação e desenvolvimento regional do norte. Portugal, 2008.

SEHABER, V. F. **Análise estatística multivariada dos acidentes de trânsito da Br-376 no período entre os anos de 2009 e 2012**. Dissertação (Mestrado) do Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. 226p. Curitiba, 2013.

WHO. World Health Organization. **World report on road traffic injury prevention**. 22p. Geneva, 2004.