

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE MATEMÁTICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ESTATÍSTICA

ALEXANDRE ANTONIO FRANZÃO

**Análise estatística das ocorrências de acidentes ferroviários na região  
Centro-sudeste paulista, causas e consequências**

Uberlândia  
Julho/2018

ALEXANDRE ANTONIO FRANZÃO

**Análise estatística das ocorrências de acidentes ferroviários na região  
Centro-sudeste paulista, causas e consequências**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Matemática, como parte dos  
requisitos para obtenção do Título de Bacharel em  
Estatística.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Tavares

Uberlândia  
Julho/2018

ALEXANDRE ANTONIO FRANZÃO

**Análise estatística das ocorrências de acidentes ferroviários na região  
Centro-sudeste paulista, causas e consequências**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção dos créditos da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Estatística e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora.

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo Tavares  
Uberlândia, MG

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães, UFU

Profa. MsC. Flavia Ferreira Marques Bernardino, UFU

Prof. Dr. Marcelo Tavares

Uberlândia  
Julho/2018

## RESUMO

O presente estudo teve como intuito cruzar informações coletadas durante oito anos de ocorrências e suas causas na região Centro-sudeste, para encontrar possíveis causas de ocorrências e estimar os percentuais de repetição dessas causas nas ocorrências. Esta pesquisa justifica-se por sua contribuição no que diz respeito a uma maior eficiência no transporte pelas malhas, diminuindo-se as perdas, aumentando-se a exportação e diminuindo-se o impacto econômico, de modo a integrar a ferrovia aos meios. Levantaram-se os dados de todas as ocorrências ferroviárias da região Centro-sudeste paulista dos anos de 2010 a 2018. Obteve-se a significância estatística das associações verificadas pela aplicação do teste não paramétrico do  $\chi^2$  (qui-quadrado). Os resultados apontaram os locais Uberlândia, Valefértil e Jardim do Ingá como sendo os locais onde ocorrem acidentes com maior frequência e que possuem o maior número de descarrilamentos; a Via Permanente é responsável pela maior parte dos acidentes, que em sua maioria resulta em descarrilamento nos locais Uberlândia, Valefértil e Jardim do Ingá; a segurança empresarial está ligada diretamente a acidentes causados por terceiros (abalroamento e atropelamento); e o abalroamento acontece com maior frequência em trens com vagões vazios, ao contrário do descarrilamento, que ocorre em sua maioria com trens de vagões carregados.

**Palavras-chave:** Análise estatística. Ocorrência ferroviária. Centro-sudeste paulista.

## ABSTRACT

The present study aimed to cross information collected during eight years of occurrences and their causes in the central-southeast region, to find possible causes of these occurrences and to estimate the percentage of repetition of these causes in the occurrences. This research is justified by its contribution in terms of greater efficiency in transport by the networks, reducing losses, increasing exports and reducing the economic impact in order to integrate the railroad to the means of transportation. Data was collected on all railway occurrences in the Central-southeast region of São Paulo between 2010 and 2018 (1156 cases). The statistical significance of the associations verified by the non-parametric test of  $\chi^2$  (chi-square) was obtained. The results showed the locations of Uberlândia, Valefertil and Jardim do Ingá as the places where accidents occur more frequently and that have the largest number of derailments; the Permanent Way is responsible for most of the accidents, which mostly result in derailment in the Uberlândia, Valefertil and Jardim do Ingá sites; business security is linked directly to accidents caused by third parties (collision and trampling); and collisions occur more frequently on trains with empty wagons, unlike derailment, which occurs mostly with trains with loaded wagons.

**Keywords:** Statistical analysis. Railway occurrence. Center-southeast of São Paulo.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1 Início da ferrovia.....	6
<b>2 A ferrovia no Brasil .....</b>	<b>6</b>
2.1 Centro-sudeste .....	8
2.2 Tipos de ocorrências .....	9
2.3 Tipos de causas de ocorrências .....	12
<b>3 JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>13</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
4.1 Dados .....	13
4.2 Teste Qui Quadrado $\chi^2$ .....	13
4.3 Simulação de Bootstrap .....	15
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Início da ferrovia**

No início do século XVI, diversos países europeus utilizavam o transporte sobre trilhos, e esses caminhos serviam exclusivamente para o transporte de carvão e minério de ferro extraídos de minas subterrâneas. As linhas eram compostas por trilhos de madeira, e, sobre eles, circulavam carroças que se locomoviam puxadas por cavalos (OLIVEIRA, 2013).

Já no século XVIII, algumas das empresas de mineração inglesas começaram a re-vestir os trilhos de madeira com lâminas metálicas – o objetivo era aumentar a vida útil dos trilhos. Percebeu-se, com isso, que o deslocamento das carroças sobre o trilho ficava mais fácil, o que gerava um aumento na produção, uma vez que o atrito entre as rodas e o trilho diminuía, deixando as carroças mais fáceis de serem tracionadas. Os cavalos passaram a tracionar uma composição de carroças e não apenas uma. Sendo assim, passou-se a fabricar trilhos inteiramente de ferro com bordas para conduzir carroças com rodas comuns. No final do século XVIII, já havia trilhos como conhecemos hoje, inteiramente de ferro e sem bordas, que conduziam vagões com bordas (LAJEUNESSE, 1980).

Com a revolução industrial, vieram as máquinas a vapor e a primeira locomotiva, criada em 1804 pelo inglês Richard Trevithick, proporcionando ainda mais o volume e a rapidez do transporte ferroviário. Em sua primeira viagem, a locomotiva de Richard Trevithick conseguiu levar 70 pessoas e nove toneladas de carvão em cinco vagões, a uma velocidade de 8 km/h por 15 km de trilhos. Em 1814, George Stephenson, mecânico de mina, construiu uma locomotiva chamada Blucher, que possuía um sistema de tração em todos os eixos, tornando-a capaz de puxar trinta toneladas de carga a uma velocidade de 6 km/h. Deu-se, então, início ao sistema ferroviário que conhecemos hoje (LAJEUNESSE, 1980).

## **2 A ferrovia no Brasil**

A ferrovia iniciou-se no Brasil em 1854 ainda com D. Pedro II, inaugurando o primeiro trecho de linha, a Estrada de Ferro Petrópolis, que ligava Porto Mauá a Frágoso, no Rio de Janeiro, com a extensão de apenas 14 km (DNIT, 2009).

No fim do século XIX e início do século XX, houve uma injeção significativa de investimento britânico para a construção de linhas férreas. A expansão ferroviária no

Brasil teve como principal objetivo buscar capital estrangeiro, visando um crescimento da economia exportadora. As linhas férreas interligavam diretamente os centros agrícola e de mineração aos portos (IPHAN, 2010).

A política de concessões estabelecida pelo governo brasileiro inviabilizava a construção de uma malha ferroviária. Após a Proclamação da República em 1890, para dar continuidade ao processo de implantação e manutenção das linhas férreas, nomeou-se uma comissão responsável por estabelecer quais linhas seriam concedidas, dando-se uma certa liberdade para as empresas interessadas proporem onde gostariam de se instalar. A partir dessas diretrizes, implantaram-se várias linhas estratégicas, entre elas a linha para defesa das fronteiras e as linhas que completavam a ligação entre o sudeste, o nordeste e o sul (IPHAN, 2010).

Esse processo de implantação de linhas concedidas, porém, teve um resultado contrário ao esperado, pois, como a construção das linhas em cada região pertencia a uma empresa ferroviária distinta, ele ocorreu conforme as preocupações locais e políticas, não havendo um plano comum e de interesses coletivos (MONBEIG, 1971). Por essas construções não possuírem os mesmos objetivos, gerou-se uma heterogeneidade de tecnologias e de bitolas, e, como consequência, a integração não existiu, pois cada ferrovia funcionava como sistemas isolados (CAIXETA-FILHO; GAMEIRO, 2001).

Até o início do século XX, as ferrovias ainda representavam pouca integração nacional entre si, o que gerava regiões desconexas, como a região central (São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro), três grandes regiões (regiões Nordeste, Sul e Centro-Oeste), além da região da Amazônia, que foi perdida devido ao projeto inicial de implantação que contemplava apenas a ligação das zonas produtoras e portos de escoamento (COUTO e SILVA, 2003).

Em 1940, devido à Segunda Guerra Mundial, houve mudanças nas relações de produção e consumo (decadência das lavouras de café, algodão, fumo, etc.), o que levou à perda de renda e deterioração de muitas linhas férreas. Como consequência, várias empresas devolveram as linhas ao estado (que atuou no sentido de recuperá-las). No entanto, essa nacionalização das ferrovias gerou uma sobrecarga na união e nos estados, levando a uma diminuição na quantidade de passageiros e a uma estagnação no transporte de mercadorias (MONBEIG, 1971).

Como as linhas voltaram para o estado, havia pouca liberdade em definir tarifas, as construções passaram a ter custos elevados, o tempo de construção passou a ser maior, sendo a prioridade o fornecimento aos portos de exportação, em que o processo de integração nacional não era seguido. Desse modo, as ferrovias perderam competitividade para as rodovias



(CAIXETA-FILHO; GAMEIRO, 2001).

Em 1971, pela Lei n.º 10.410/SP, o Governo do Estado de São Paulo unificou as cinco estradas de ferro de sua propriedade, que na época pertenciam ao Estado (MUNHOZ, 2014).

São elas:

- Companhia Paulista de Estradas de Ferros;
- Estrada de Ferro Sorocabana;
- Estradas de Ferro Araraquara;
- Companhia Mogiana de Estrada de Ferro;
- Estrada de Ferro São Paulo-Minas.

Assim, em decorrência dessa junção, criou-se a FEPASA – Ferrovia Paulista S.A. – com aproximadamente 5.000 km de vias férreas.

## **2.1 Centro-sudeste**

Em 1995, decretou-se desestatização da malha ferroviária, de modo que se levou a leilão a concessão das malhas ferroviárias, que teve início em 1996 com a Ferrovia Novoeste S.A e que finalizou-se em 1999 com o leilão da malha paulista. Hoje a concessão da malha paulista, juntamente com Triângulo Mineiro e Goiás (região Centro-sudeste paulista), pertence à empresa privada VLI – Valor Logística Integrada.

O transporte ferroviário na região paulista, com três terminais integradores, cinco terminais de carregamento e um terminal portuário distribuídos em três estados mais Distrito Federal (Figura 1), faz dela uma das mais importantes malhas ferroviárias do país. Essa região engloba importantes regiões produtoras do país, além de ser uma das principais rotas de exportação do Brasil por meio do Porto de Santos e também do Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita (VLI).



Figura 2.1 – Malha ferroviária centro-sudeste

A Centro-sudeste transporta hoje, entre os três estados, bilhões de TKU's (Toneladas por km) de produtos, como açúcar, soja, milho, fosfato, enxofre, bauxita, fertilizantes, entre outros. E como essa região movimenta bilhões de toneladas por quilômetro, empecilhos, no que diz respeito à circulação de trens, causam enormes impactos na produtividade do quantitativo transportado, no transporte e exportação de produtos de grande importância e causam, conseqüentemente, grandes perdas para a economia.

Hoje, em 2018, a principal causa que impede essa logística de seguir o fluxo é a ocorrência ferroviária, que, além dos impactos na produção, no transporte e na economia, também traz grandes prejuízos para a empresa devido a vagões que ficam inutilizáveis após a ocorrência. A linha férrea tem que ser reconstruída no local com tempo hábil, levando a grandes bancos de horas, e, muitas vezes, o produto é vazado dos vagões para o meio externo, causando um impacto ao meio ambiente dentro do gabarito da linha. Assim, esse trabalho de liberação da linha demanda bastante tempo, tempo para perícia no local e análise de possíveis causas da ocorrência (às vezes, até mais de uma causa), da reconstrução de toda a linha (preparação do solo, montagem da grade, aplicação de lastro, nivelamento e alinhamento da linha), da retirada dos vagões inutilizáveis e limpeza minuciosa do gabarito da linha, podendo levar dias, até mesmo semanas.

## 2.2 Tipos de ocorrências

De acordo com Ribeiro et al. (2011, acidente ferroviário é a ocorrência que, com a participação direta de veículo ferroviário, pode provocar danos a este, a pessoas, a outros

veículos, a instalações, a obras de arte, à via permanente, ao meio ambiente e, desde que ocorra paralisação do tráfego, a animais. São apresentadas a seguir os principais tipos de acidente ferroviário.

### **Abalroamento**

Abalroamento (Figura 2) é o acidente que acontece em PN (passagem de nível), onde há a colisão de um trem com outro meio de locomoção terrestre (carro, caminhão, etc.), sendo que, geralmente, essa ocorrência tem um tempo curto de liberação da linha, normalmente cerca de uma hora corrida após a perícia realizada pelos órgãos públicos e cerca de quatro horas após a ocorrência.



Figura 2.2 – Abalroamento

### **Atropelamento de Animais com Impacto**

Esse tipo de ocorrência ocorre quando um trem atropela uma animal de grande porte, que, em sua maioria, acontece com o atropelamento de bovinos devido à linha férrea passar por campos cercados por fazendas. A liberação da linha em um atropelamento de animal tem um tempo médio de três horas, pois necessita da limpeza da linha e da verificação do estado da linha, que são realizadas pela equipe de manutenção na via permanente.

### **Atropelamento pessoas**

Esse tipo de ocorrência acontece quando o trem de serviço atropela uma pessoa que está no centro da linha férrea, seja por distração ou por intenção/suicídio. O tempo médio de liberação da linha é de cinco horas após o ocorrido, pois essa ocorrência exige análise e perícia de órgãos públicos, como bombeiros e polícia (militar e civil).

### **Descarrilamento**

Descarrilamento (Figura 3) é todo evento em que uma ou mais rodas de um veículo ferroviário (locomotiva, vagão, auto de linha, etc.) saltam do boleto da linha e fazem contato com o solo. Quando tem um descarrilamento, há sempre algum dano à via permanente, e o tempo de liberação da linha varia muito, de acordo com a quantidade de rodas e vagões fora do boleto e dos danos à linha.



Figura 2.3 – Descarrilamento

### **Esbarro**

Impacto entre veículos ferroviários, trens circulando ou manobrando em vias distintas, podendo um deles estar parado. O tempo de liberação da linha é rápido, pois necessita de uma manobra mais cuidadosa dos trens.

### **Semi Tombamento - Adernamento**

Adernamento (Figura 4) – tombamento parcial – é a ocorrência ferroviária que, por motivos diversos, resulte na inclinação lateral parcial do veículo ferroviário (locomotiva, vagão, auto de linha, etc.) – menor que 90 graus em relação à posição normal do veículo no eixo ferroviário, em que o veículo não possui nenhum tipo de apoio, inclinado por gravidade.

Figura 2.4 – Adernamento



### **Tombamento**

Tombamento (Figura 5) é a ocorrência ferroviária que, por motivos diversos, resulta na inclinação lateral total do veículo ferroviário (locomotiva, vagão, auto de linha, etc.) em relação à posição normal do veículo no eixo ferroviário. Quando há um tombamento, também há danos à via permanente, e o tempo de liberação da linha varia muito de acordo com a quantidade de vagões tombados e manutenção da via.



Figura 2.5 – Tombamento

### 2.3 Tipos de causas de ocorrências

Descobrir as causas de um acidente ferroviário é tão importante quanto liberar a linha, pois sabendo as causas da ocorrência pode-se tratá-las para se evitar novos acidentes. As causas são definidas como:

- **Via permanente:** Responsável pela linha férrea;
- **Eletroeletrônica:** Responsável pela manutenção da eletrônica;
- **Implantação de Projetos:** Novos projetos ;
- **Material Rodante – Tração:** Responsável pela manutenção das locomotivas;
- **Material Rodante – Vagões:** Responsável pela manutenção dos vagões;
- **Mecanizada:** Responsável pela manutenção dos carros de linha;
- **Operação:** Responsável pelos maquinistas;
- **Segurança Empresarial:** Danos causados por terceiros;
- **Cliente:** Assidentes em patios de cliente.

### 3 JUSTIFICATIVAS

Diante do que foi exposto anteriormente, o objetivo principal deste trabalho é cruzar informações coletadas durante oito anos de ocorrências e suas causas na região Centro-sudeste, para encontrar possíveis causas de ocorrências, repetitivas em certos trechos, e estimar os percentuais de repetição em que essas causas se fazem presentes nas ocorrências. Com isto, ganha-se uma forte ferramenta para se tentar combater as causas mais frequentes de cada região antes mesmo de se tornarem ocorrências, ou, na pior das hipóteses, entrando no pós ocorrência, para auxiliar no processo de perícia de causas, acelerando, então, o processo de análise das possíveis causas. Dessa maneira, será possível ter uma eficiência maior no transporte pelas malhas, diminuindo as perdas.

### 4 METODOLOGIA

#### 4.1 Dados

Levantaram-se os dados de todas as ocorrências ferroviárias da região Centro-sudeste Paulista dos anos de 2010 a 2018. Esses dados são constituídos por seis variáveis qualitativas que descrevem a ocorrência, e essas variáveis são:

- **Natureza da Ocorrência:** tipo de acidente;
- **Local da Ocorrência:** local onde ocorreu o acidente;
- **Tipo da Causa:** a definição da relevância da causa;
- **Área Responsável:** a área responsável pela causa do acidente;
- **Falha Funcional:** define se foi ou não falha funcional;
- **Situação de Carregamento:** a situação do trem (carregado ou não).

#### 4.2 Teste Qui Quadrado $\chi^2$

O qui-quadrado, simbolizado por  $\chi^2$ , é um teste estatístico de hipóteses utilizado para encontrar o valor da dispersão de duas ou mais variáveis nominais, procurando responder se existe associação entre elas. Trata-se de um teste não paramétrico, ou seja, não é um teste dependente de parâmetros populacionais, como média e variância. O princípio básico desse

método é comparar proporções, isto é, as possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para um certo evento.

É possível afirmar que dois grupos têm comportamentos de forma semelhante se as diferenças entre as frequências observadas e as frequências esperadas forem muito pequenas. Quanto mais próximas de zero forem as diferenças, menor será a diferença entre os grupos. Portanto, o teste é utilizado para:

- Verificar se a frequência com que um determinado acontecimento observado em uma amostra se desvia significativamente ou não da frequência com que ele é esperado;
- Comparar a distribuição de diversos acontecimentos em diferentes amostras, a fim de avaliar se as proporções observadas desses eventos mostram ou não diferenças significativas ou se as amostras diferem significativamente quanto às proporções desses acontecimentos.

Para que o teste seja aplicável, algumas condições devem ser satisfeitas. São elas:

- Os grupos devem ser independentes;
- Os itens de cada grupo devem ser selecionados aleatoriamente, ou seja, não deve haver qualquer tipo de ação tendenciosa;
- As observações devem ser contagens ou frequências;
- Cada uma das observações deve pertencer a somente um grupo;
- A amostra deve ser relativamente grande, com pelo menos cinco observações em cada célula.

A significância estatística das associações verificadas foi obtida pela aplicação do teste do  $\chi^2$  (qui-quadrado) de independência que permite verificar se as ocorrências provenientes de variáveis categóricas ou de atributos destas estão (ou não) relacionados (ou seja, são ou não independentes). Se as proporções forem as mesmas (hipótese nula,  $H_0$ ), as variáveis serão independentes ou não relacionadas, mas, pelo contrário, se apresentarem diferenças estatisticamente significativas (hipótese alternativa,  $H_1$ ), então considera-se haver relações entre as variáveis analisadas (SIEGEL, 1988; SAPS FORD; JUPP, 1996).

### 4.3 Simulação de Bootstrap

A simulação de dados é, possivelmente, a área em que mais se usa geração de números aleatórios na atualidade e é também muito antiga. Essa é uma área muito vasta, que cresceu muito e teve sua revolução com o advento do computador. Foi, no entanto, o aparecimento do computador que permitiu a um número crescente de pessoas a possibilidade de realizar simulações, desde simples jogos até modelos da economia em escala mundial. O importante na simulação é a validação dos modelos, pois, se o modelo reproduzir com alguma fidelidade a realidade, torna-se claro a influência de certas alterações na realidade e, ainda, permite que essas alterações sejam testadas antes de serem levadas para a realidade no modelo, ou seja, com o programa de simulação (DACHS, 1988).

Segundo Naylor (1971), citado por Santos (2001), a simulação é aplicada na construção de modelos de formas extremamente diversas, desde as esculturas e pinturas da Renascença até os modelos em escala de aviões supersônicos e modelos analíticos de processos mentais. Dessa forma, a simulação tornou-se algo quase que indispensável para cientistas e teóricos.

Para Manly (1988), uma opção que vem sendo usada na literatura, além de outras abordagens, é a dos testes que fazem uso de computação intensiva. Esses testes são, por exemplo, os de bootstrap e aleatorização. Esses dois procedimentos diferem entre si apenas, na maioria das circunstâncias, se a reposição é ou não considerada no processo de reamostragem.

Na administração, por exemplo, o termo bootstrap é utilizado com ênfase na afirmativa de que, novos negócios são consolidados sem volumes de grandes investimentos financeiros. Na computação, a expressão “boot” indica que o computador se torna autossustentável executando apenas alguns programas do sistema operacional.

A metodologia utilizada na realização das reamostragens diferencia a técnica bootstrap basicamente em três abordagens nomeadas por Carpenter e Bithell (2000): bootstrap não paramétrico, paramétrico e semi-paramétrico. Portanto, o teste  $\chi^2$  foi realizado via simulação de bootstrap, devido ao não atendimento das pressuposições.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as frequências analisadas, nenhuma das variáveis possui valores ausentes ou nulos, ou seja, todas as sete variáveis possuem 1156 valores válidos de ocorrências ferroviárias coletadas durante oito anos.

A Tabela 4.1, referente à frequência de ocorrências por cidade, traz uma maior



incidência de ocorrências, em que, dos 1156 casos de acidentes, 103 ocorreram na cidade de Uberlândia, 74 na Valefértil e 68 em Jardim do Ingá. Essa frequência pode estar associada à manutenção da linha nesses locais, pois são linhas mais antigas.

Tabela 4.1 – Frequência dos locais dos acidentes  
Local Anterior Pátio

	Frequência	Porcentual
ADM	33	2,9
ALMEIDA CAMPOS	4	0,3
ARAGUARI	56	4,8
BABAÇU	14	1,2
BATUÍRA	13	1,1
BERNARDO SAIÃO	20	1,7
BONFINÓPOLIS	29	2,5
BRASÍLIA	39	3,4
BREJO ALEGRE	8	0,7
BUCAINA	28	2,4
CALAMBAU	45	3,9
CARAÍBA	14	1,2
CATALÃO	41	3,5
EGERINEU TEIXEIRA	14	1,2
ENG AMORIM	16	1,4
ENG HÉLIO MARTINS	12	1,0
GENERAL CURADO	14	1,2
GOIANDIRA	35	3,0
IPAMERI	48	4,2
IRARA	8	0,7
ITAIPÚ	10	0,9
JARDIM DO INGÁ	68	5,9
JARINA	9	0,8
LEOPOLDO BULHÕES	34	2,9
PALESTINA	19	1,6
PEDREIRA	21	1,8
PIRAPETINGA	26	2,2
PIRES DO RIO	15	1,3
POOL	4	0,3
POSTO FOSFAGO	16	1,4
RONCADOR NOVO	41	3,5
SENADOR CANEDO	24	2,1
SOLDADO ESTEVES	29	2,5
STEVENSON	23	2,0
SUCUPIRA	12	1,0
UBERABA	62	5,4
UBERLÂNDIA	103	8,9
VAI-VEM	16	1,4
VALEFÉRTIL	74	6,4
VIANÓPOLIS	51	4,4
ZELÂNDIA	8	0,7
Total	1156	100,0

O tipo de acidente é de muita importância para as companhias, pois dependendo da natureza os custos são muito elevados. Na Tabela 4.2, nota-se que a natureza de maior

frequência é o descarrilamento, com 725 casos dos 1156 levantados. Essa incidência provavelmente está ligada ao fato de os trens possuírem sensores de descarrilamento que sinalizam ao maquinista quando um vagão foi descarrilhado, levando à parada do trem e evitando que vire um tombamento.

Tabela 4.2 – Frequência do tipo do acidente  
Natureza da Ocorrência

	Frequência	Porcentual
Abalroamento	161	13,9
Atropelamento Animais	147	12,7
Atropelamento pessoas	54	4,7
Descarrilamento	725	62,7
Esbarro	8	0,7
Adernamento	22	1,9
Tombamento	39	3,4
Total	1156	100,0

É importante avaliar a hipótese de falha funcional, pois medidas de prevenção devem ser tomadas para a não reincidência, A Tabela 4.3 indica que falha funcional tende a pouca frequência nas causas dos acidentes, sendo que somente em 36 dos 1156 casos ocorreram acidentes por falha funcional.

Tabela 4.3 – Frequência de falha

FalhaFuncional	Frequência	Porcentual
Não	1120	96,9
Sim	36	3,1
Total	1156	100,0

Se o acidente acontece com o trem carregado, o prejuízo financeiro e o tempo de atendimento são maiores. Como mostrado na Tabela 4.4, não há grande diferença em relação à incidência de acordo com a situação do carregamento (carregado ou não): 594 casos para vagões carregados e 562 para vagões vazios.

Tabela 4.4 – Frequência da situação de carregamento

Situação de carregamento
--------------------------

	Frequência	Porcentual
Não	562	48,6
Sim	594	51,4
Total	1156	100,0

A Tabela 4.5, referente à tabulação cruzada entre as variáveis “Local da Ocorrência” e “Natureza da Ocorrência”, mostra que há uma relação do tipo de acidente com o local do ocorrido. Pelo teste  $\chi^2$ , comprovou-se o que a Tabela 4.1, de frequência indicava, informou, que os locais Uberlândia, Valefêtil e Jardim do Ingá são os de maiores incidências relacionadas com descarrilamento. O teste traz também uma baixa relação de Esbarro para todas as regiões, o que mostra que há poucas linhas duplas.

Tabela 4.5 – Tabulação Cruzada de Local da Ocorrência e Natureza da Ocorrência

Loca / Nat. da Ocor.	Abalr.	Atrop. Animais	Atrop. pessoas	Descar.	Esbarro	Adern.	Tomb.	Total
ADM	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
ALMEIDA C.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARAGUARI	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05
BABAÇU	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
BATUÍRA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
BERNARDO S	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
BONFINÓPOLIS	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
BRASÍLIA	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
BREJO ALEGRE	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
BUCAINA	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
CALAMBAU	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04
CARAÍBA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
CATALÃO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04
EGERINEU T.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
ENGENHEIRO A.	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
ENGENHEIRO H.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
GENERAL C.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
GOIANDIRA	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
IPAMERI	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
IRARA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
ITAIPIÚ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
JARDIM DO I.	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,06
JARINA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
LEOPOLDO B.	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
PALESTINA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
PEDREIRA	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
PIRAPETINGA	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
PIRES DO RIO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
POOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
POSTO F.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
RONCADOR N.	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04
SENADOR C.	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
SOLDADO E.	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
STEVENSON	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02
SUCUPIRA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
UBERABA	0,00	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05
UBERLÂNDIA	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,09
VAL-VEM	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
VALEFÉRTIL	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,06
VIANÓPOLIS	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04
ZELÂNDIA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total	0,14	0,13	0,05	0,63	0,01	0,02	0,03	1,00

Valor-p teste  $\chi^2$  via bootstrap p=0,0000

Realizado o teste  $\chi^2$  para se testar a dependência entre variáveis “Local da Ocorrência” e “Área Responsável”, comprovou-se uma relação da área responsável com o local do acidente. A área de Via Permanente é responsável pela maioria dos acidentes ocorridos em Uberlândia e Jardim do Ingá, da mesma forma que acidentes em Ipameri e Jardim do Ingá têm alta responsabilidade de segurança empresarial. Nota-se, também, que áreas como eletroeletrônica, implantação de projetos e mecanizada são responsáveis por acidentes em minoria dos locais.

A Figura 4.1 representa a frequência da “Área Responsável” em relação à “Natureza da Ocorrência”. Há indícios de que a área responsável pela maior parte dos descarrilamentos é a Via permanente, e, para se comprovar, foi realizado o teste  $\chi^2$  com simulação de bootstrap.

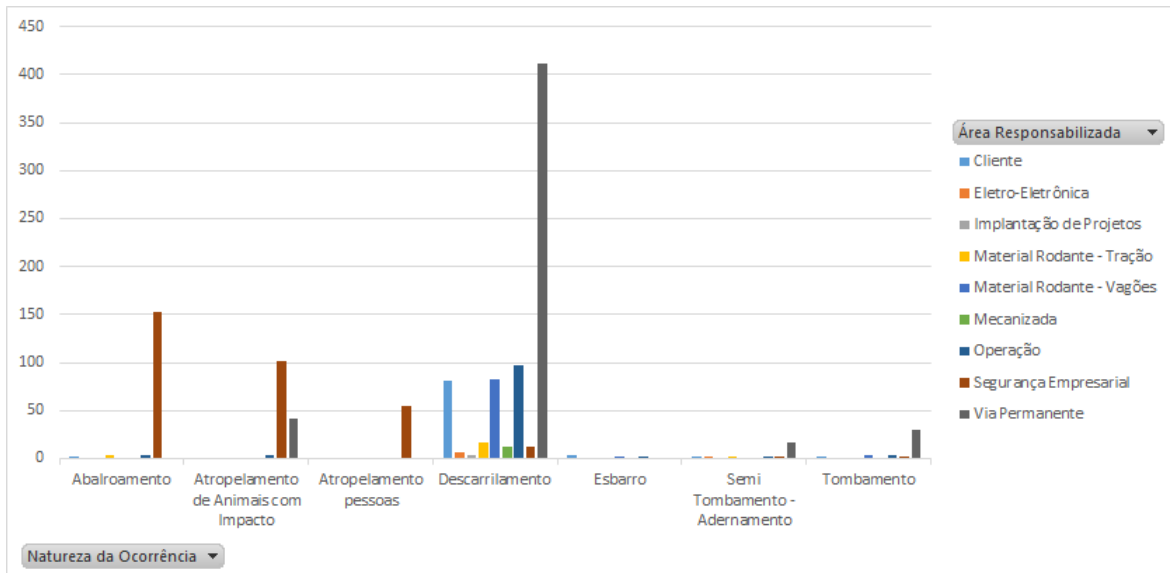


Figura 4.1 – Gráfico da Área Responsável dentro de Natureza da Ocorrência

Como indicado na Figura 4.1, a dependência entre a Área Responsável e a Natureza da ocorrência foi confirmada pelo teste  $\chi^2$ , assim como mostra a Tabela 4.6, em que a Via Permanente com Descarrilamento tem o maior percentual de incidência, seguida por Segurança empresarial com Abalroamento.

Tabela 4.6 – Tabulação Cruzada de Área Responsável e Natureza da Ocorrência

Natureza / Resp.	Cliente	Eleto	Proj.	Tração	Vagões	Mecan.	Oper.	Segur.	VP	Total
Abalroamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,14
Atrop. Animais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,04	0,13
Atrop. pessoas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05
Descarrilamento	0,07	0,01	0,00	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01	0,36	0,63
Esbarro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
.Adernamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Tombamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
Total	0,08	0,01	0,00	0,02	0,08	0,01	0,10	0,28	0,43	1,00

Valor-p teste  $\chi^2$  via bootstrap p=0,0000

A Figura 4.2 traz indícios de diferença na situação do carregamento quando olhado dentro de natureza da ocorrência: descarrilamento acontece com maior frequência em trens carregados, e o contrário ocorre com abalroamento, em que a maior frequência se dá em trens vazios. Para se ter certeza dessa diferença, testou-se a dependência das variáveis usando  $\chi^2$  via bootstrap.

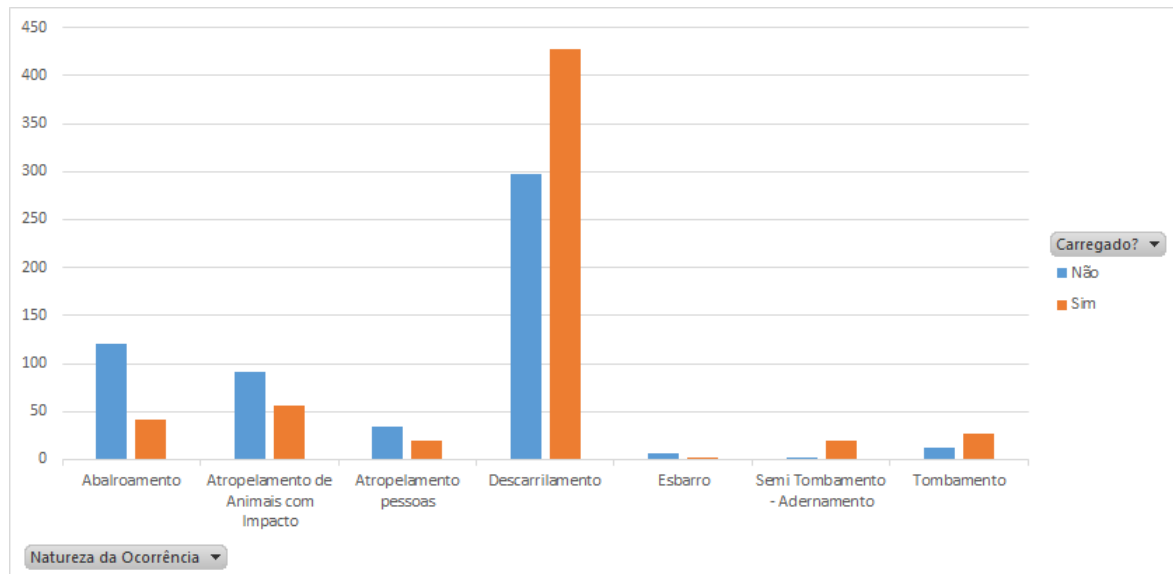


Figura 4.2 – Gráfico da situação do carregamento dentro de Natureza da Ocorrência

O teste  $\chi^2$  via bootstrap confirmou os indícios da Tabela 4.7, mostrando uma dependência entre a situação do carregamento dos vagões em relação à natureza do acidente, e as maiores diferenças estão em descarrilamento, com sua maior frequência em trens com vagões carregados, e abalroamento com trens de vagões vazios.

Tabela 4.7 – Tabulação Cruzada de Situação do Carregamento e Natureza da Ocorrência

Natureza / Situação	Vazio	Carregado	Total
Abalroamento	0,10	0,04	0,14
Atrop. Animais	0,08	0,05	0,13
Atrop. pessoas	0,03	0,02	0,05
Descarrilamento	0,26	0,37	0,63
Esbarro	0,01	0,00	0,01
Adernamento	0,00	0,02	0,02
Tombamento	0,01	0,02	0,03
Total	0,49	0,51	1,00

Valor-p teste  $\chi^2$  via bootstrap  $p=0,0000$

Nota-se uma relação entre os responsáveis “Via Permanente” e “Segurança Empresarial” com os Tipos de causa. Essa relação é representada na Figura 4.3.

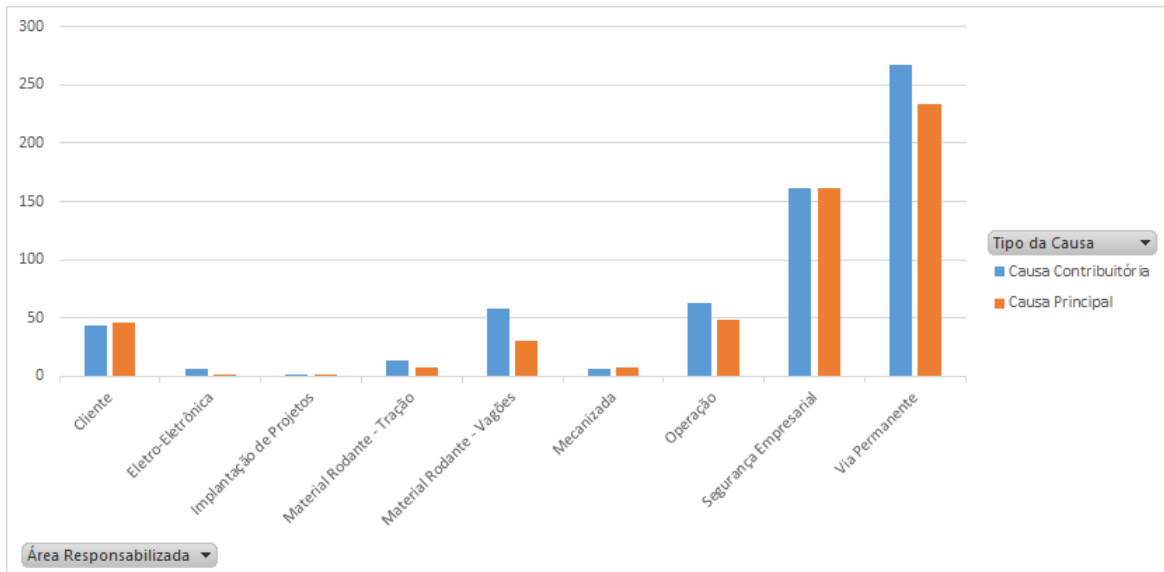


Figura 4.3 – Gráfico da Tipo de Causa dentro de Natureza da Ocorrência

O teste  $\chi^2$  mostra que há sim uma dependência da Área de Via Permanente com relação ao Tipo de Causa, o que mostra que a Via Permanente é responsável pela maior parte dos acidentes, ou como principal causa, ou como contributória.

Tabela 4.8 – Tabulação Cruzada do Tipo de Causa e Natureza da Ocorrência

Natureza / Causa	Contributória	Principal	Total
Cliente	0,04	0,04	0,08
Eleto	0,01	0,00	0,01
Projetos	0,00	0,00	0,00
Tração	0,01	0,01	0,02
Vagões	0,05	0,03	0,08
Mecanizada	0,01	0,01	0,01
Operação	0,05	0,04	0,10
Segurança	0,14	0,14	0,28
Via Perm.	0,23	0,20	0,43
Total	0,54	0,46	1,00

Valor-p teste  $\chi^2$  via bootstrap p=0,0000

De acordo com o mostrado na Figura 4.4, se vê uma relação entre falha funcional com “Descarrilamento”, “Esbarro” e “Tombamento” com os Tipos de Causa.

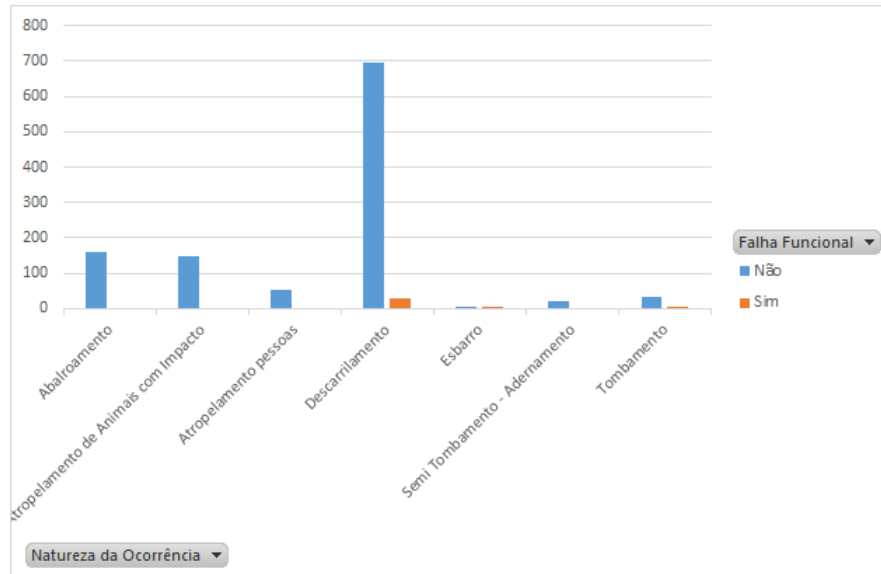


Figura 4.4 – Tabulação Cruzada de Falha Funcional e Natureza da Ocorrência

Como apresentado na Figura 4.4, o teste  $\chi^2$  mostra a dependência da falha acontecida com descarrilamento, esbarro e tombamento; isso se dá devido as outras naturezas serem causadas por terceiros não associados à ferrovia.

Tabela 4.9 – Tabulação Cruzada de Falha Funcional e Natureza da Ocorrência

Natureza / Falha	Não	Sim	Total
Abalroamento	0,14	0,00	0,14
Atrop. Animais	0,13	0,00	0,13
Atrop. pessoas	0,05	0,00	0,05
Descarrilamento	0,60	0,026	0,63
Esbarro	0,01	0,001	0,01
Adernamento	0,02	0,00	0,02
Tombamento	0,03	0,004	0,03
Total	0,97	0,03	1,00

Valor-p teste  $\chi^2$  via bootstrap p=0,0000

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados e discussões apresentados anteriormente, conclui-se que existe dependência significativa entre os cruzamentos apresentados e testados neste trabalho. Os locais Uberlândia, Valefértil e Jardim do Ingá são os locais onde ocorrem acidentes com maior frequência e possuem o maior número de descarrilamentos. A Via Permanente é

responsável pela maior parte dos acidentes, como causa principal ou contributória, que em sua maioria resulta em descarrilamento nos locais Uberlândia, Valefértil e Jardim do Ingá. A segurança empresarial está ligada diretamente a acidentes causados por terceiros (abalroamento e atropelamento), o que leva à conclusão de não falha funcional para esses acidentes. O abalroamento acontece com maior frequência em trens com vagões vazios, ao contrário do descarrilamento, que ocorre em sua maioria com trens de vagões carregados



## REFERÊNCIAS

- CAIXETA-FILHO J. V.; GAMEIRO, A. H. **Especificidade das modalidades de transporte para a movimentação de produtos agrícolas, Transporte e logística em sistemas agroindustriais.** , [S.l.], 2001.
- CARPENTER J.; BITHELL, J. Bootstrap Confidence Intervals: when, which, what? A practical guide for medical statistician. **Statistics in Medicine**, v.19. p1141-1164. , [S.l.], 2000.
- COUTO E SILVA, G. **Geopolítica e poder.** [S.l.] 2003.
- DACHS, J. N. W. **Estatística computacional: uma introducao em turbo-pascal.** [S.l.]: LTC, 1988.
- DNIT, D. N. d. I. d. T. **Especificação técnica de material, ETM - 003: dormentes.** [S.l.] 2009.
- IPHAN, I. d. P. H. e. A. N. **Breve história da ferrovia no Brasil.** [S.l.] 2010.
- LAJEUNESSE, G. F. **Encyclopédie des chemins de fer. Editions de la Courtille Paris.** [S.l.] 1980.
- MANLY, B. **Randomization bootstrap and Monte Carlo methods in biology.** [S.l.] 1988.
- MONBEIG, P. **O Brasil.** Difusão Europeia do Livro. [S.l.] 1971.
- MUNHOZ, W. R. H. **História das ferrovias no Brasil.** [S.l.] 2014.
- NAYLOR, T. H. et alii. **Técnicas de simulação em computadores.** Editora Vozes: 1971.
- OLIVEIRA, R. W. H. **Caracterização da escória de ferro silício-manganês para a aplicação como agregado em pavimentação ferroviária.** [S.l.] 2013.
- RIBEIRO, G. V. et al. **Uma Contribuição metodológica ao atendimento emergencial em ferrovias.** [S.l.]2011.
- SANTOS, A. **Definição do tamanho amostral usando simulação Monte Carlo para os testes de normalidade univariado e multivariado baseados em assimetria e curtose.** 2001. 71f. 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária)—Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SAPSFORD R.; JUPP, V. **Data Collection and Analysis**. London: sage publications. [S.l.]1996.

SIEGEL, S. Non Parametric Statistics for the Behavioral Sciences. 2. ed. NY: macgraw-hill international editions. [S.l.]1988.

VLI, V. L. I. , [S.l.].