Programa de Engenharia Civil
COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Universidade Federal do Rio de Janeiro

IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS URBANOS EM EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Arthur Jorge de Veras da Silva

Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

BANCO DE DADOS

RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Introdução

Eventos de incêndio podem ter como consequência:

- Pessoas feridas
- Vítimas fatais
- Perdas econômicas e sociais
- Impactos no trânsito

A compreensão dos fatores associados aos eventos de incêndio pode fomentar a adoção de novas medidas de segurança, modificações de diretrizes governamentais e modernização de leis e regulamentações

Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

BANCO DE DADOS

RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Objetivo

Identificar padrões de ocorrência de incêndios mediante o emprego de modelo de **regressão múltipla** e técnicas de **análise geoespacial** no município de **Rio de Janeiro** - RJ com base no banco de dados dos atendimentos (2015-2019) do CBMERJ.

Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

BANCO DE DADOS

RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Danos causados por incêndios

<u>NFPA (2019; 2020)</u>

Local: Estados Unidos da América

Período de Análise: 2018 a 2019

Perdas relacionadas a incêndios:

✓**Perdas diretas:**

2019 - 14,8 bilhões de dólares.

2018 - 25,6 bilhões de dólares.

✓**Civis mortos ou feridos**:

2019 - 3.704 mortes e 16.600 feridos

2018 - 3.655 mortes e 15.200 feridos

Sazonalidade de incêndios urbanos

YAO e ZHANG (2016)

Local: Nanjing - China

Período de Análise: 2002 a 2013

Quantidade de eventos: 28.383 incêndios urbanos

✓ **Meses críticos:** julho e agosto

✓ **Dias críticos:** domingo e terça-feira

✓ **Horários críticos:** 17h às 22 h

Métodos de avaliação de risco de incêndio

- ✓ Métodos para regiões – **Regressão múltipla** foi a técnica **mais prevalente** e a adoção do **sistema de informação geográfica** (SIG) proporcionou **melhorias nos resultados**

Preditores de incêndios urbanos

<u>Estudo de HU *et al.* (2019)</u>

Local: China

Período de Análise: 2013 a 2016

Variáveis estatisticamente significativas:

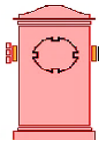
- tamanho da população;
- densidade populacional;
- nível de renda; e
- escolaridade.

CBMERJ

Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro

Criado em 1856 por D. Pedro II

A principal função é o combate a incêndios



O agente extintor mais usado é a água, por ser de fácil acesso e barata.

Atualmente, possui 115 quartéis (Operacionais e Administrativos)

Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

BANCO DE DADOS

RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Caracterização dos incêndios urbanos

- ✓Sazonalidade mensal
- ✓Sazonalidade por dia da semana
- ✓Sazonalidade horária

Regressão linear múltipla

- ✓ **Linearidade**: a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes deve ser linear;
- ✓ **Independência dos dados**: as variáveis foram medidas adequadamente e de forma independente;
- ✓ **Homocedasticidade**: a variância do erro é constante para os diferentes valores da variável independente;
- ✓ **Ausência de multicolinearidade**: não ocorrência de alta correlação entre as variáveis independentes do modelo;
- ✓ **Resíduos normalmente distribuídos**.

Análise geoespacial

Em modelos espaciais, a **hipótese de independência** das observações **em geral é falsa**, sendo avaliada pela medição da **autocorrelação espacial dos resíduos** da regressão (Índice de Moran dos resíduos).

Serão utilizados os softwares GeoDA e QGIS.

Análise geoespacial

- ✓Spatial Lag Models (SAR): atribuem a autocorrelação espacial à variável dependente Y;

$$\mathrm{y} + (\rho \mathrm{Wy}) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

- ✓Spatial Error Models (CAR): atribuem a autocorrelação ao erro.

$$\mathrm{y} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n + \varepsilon + \rho W \varepsilon$$

ρ = coeficiente espacial autorregressivo

W = matriz de proximidade espacial

Comparação entre modelos

Critério de Informação de Akaike (AIC)

- ✓ mensura a qualidade de um modelo estatístico.
- ✓ o modelo com menor valor e AIC é considerado o modelo de melhor ajuste.

Coeficiente de determinação

- ✓ Indica o quanto do fenômeno é explicado.

Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDOS

BANCO DE DADOS

RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Área de estudo

Extensão

≈ 1200 km²

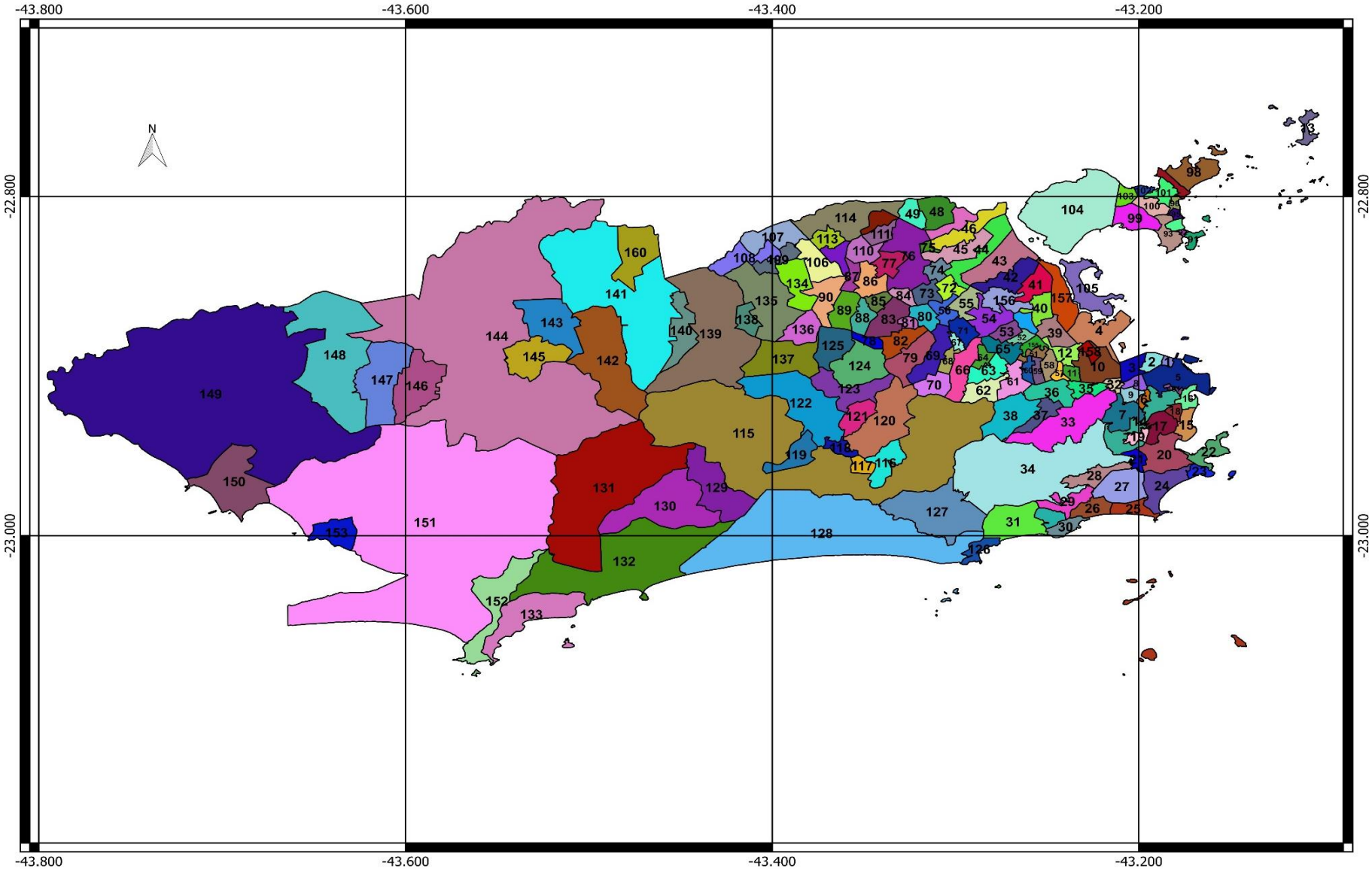
Área Urbana

545,42 km²

Divisão

- Cinco Áreas de Planejamento
- 33 Regiões Administrativas
- 163 Bairros

Área de estudo



Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

BANCO DE DADOS

RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Incidência de Incêndio

Banco de dados dos atendimentos de incêndios urbanos em edificações (residenciais, comerciais etc) do CBMERJ de 2015 a 2019

Para estipular quais regiões têm o maior risco, foi utilizado o conceito de incidência de incêndio;

$$Incidência\ de\ Incêndio = \frac{Média\ de\ incêndios\ em\ um\ ano\ (inc)}{Área\ urbana\ (km^2)}$$

Variáveis independentes

Código	Nome	Fonte
X01	% área urbana	IPP (2021)
X02	% moradores com 60 anos ou mais	IPP (2021)
X03	% apartamentos em relação à quantidade total de moradias	IPP (2021)
X04	% domicílios com rendimento domiciliar per capita superior a 5 salários-mínimos	IPP (2021)
X05	% analfabetismo de 10 a 14 anos	IPP (2021)
X06	Índice de Cobertura de Hidrantes (ICH)	Silva (2017)
X07	Idade média das edificações	Prefeitura-RJ (2021)

Sumário

INTRODUÇÃO

OBJETIVO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

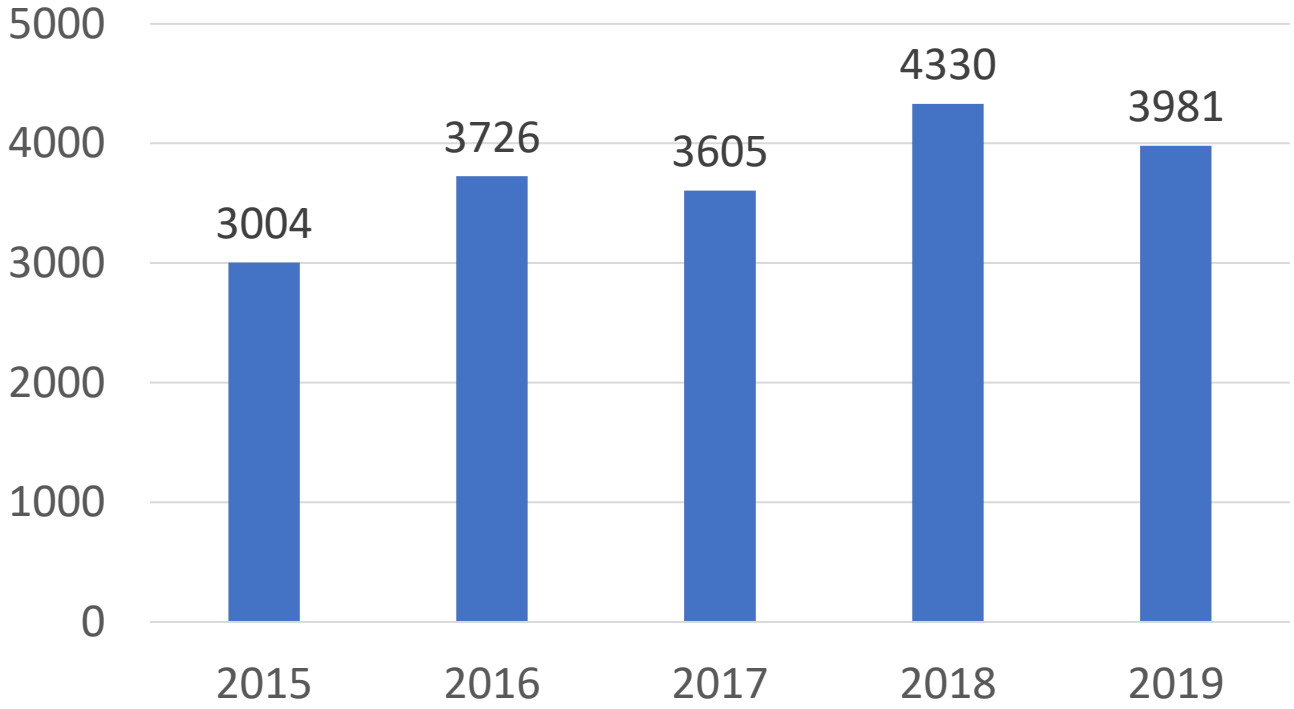
BANCO DE DADOS

RESULTADOS

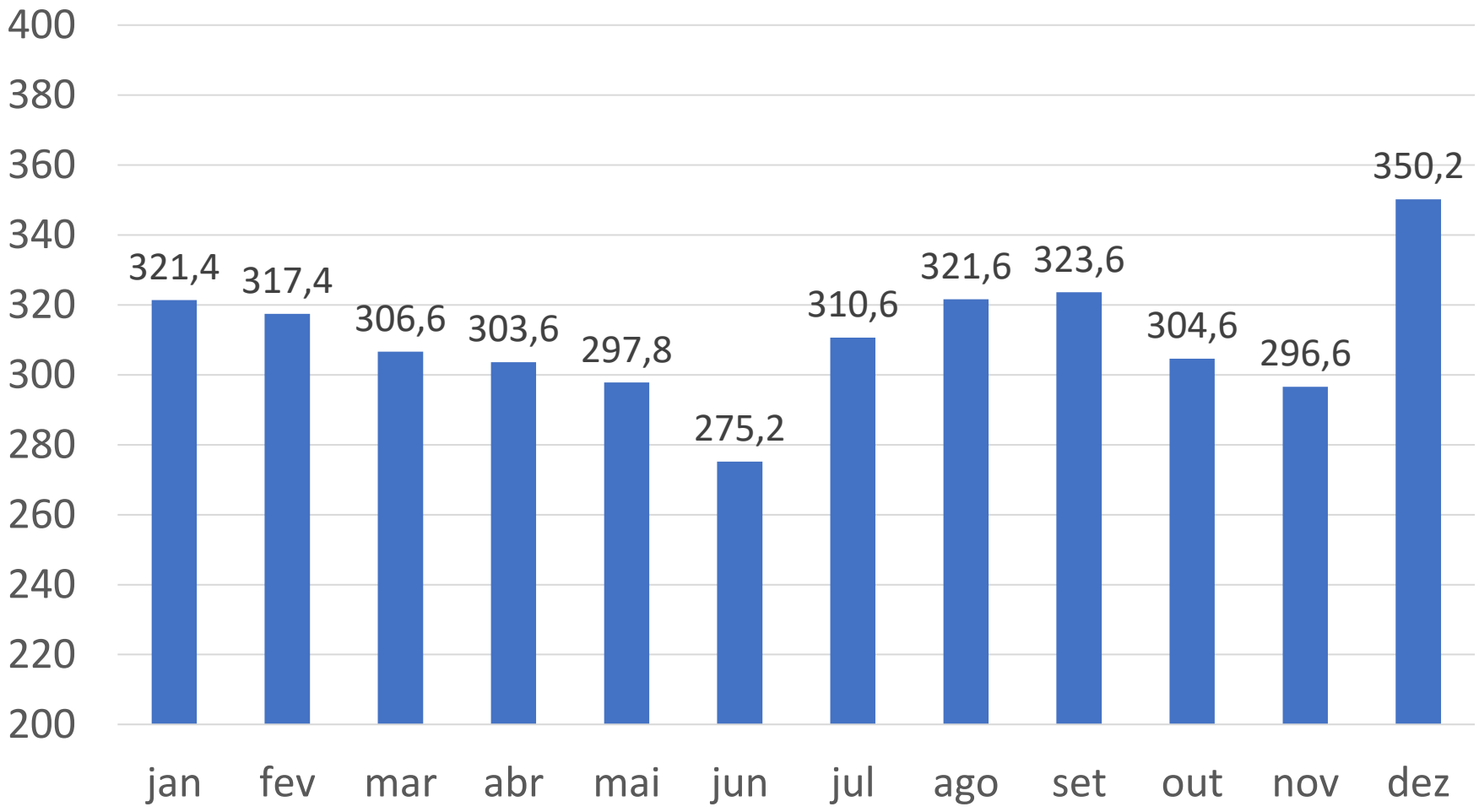
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estatística de Incêndio

No período de 2015 a 2019, ocorreram 18.646 eventos de incêndio urbanos em edificações.



Sazonalidade mensal



Sazonalidade horária

Hora	Domingo	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira	Sábado	Total Geral
0h às 1h	25,6	22	20	16	20,4	22,2	21,4	147,6
1h às 2h	22,8	17	15,8	15,2	17,4	15,6	21,2	125
2h às 3h	20,4	16	12,6	12	16,6	14	18,6	110,2
3h às 4h	14,4	13,6	11,2	11,6	10,4	10,6	13,2	85
4h às 5h	11,2	12,8	7,2	10	10,2	10	12	73,4
5h às 6h	15,8	10,2	14	11	11,6	7,2	13,2	83
6h às 7h	15,4	15,2	11,6	11,4	13,6	14,6	14,8	96,6
7h às 8h	15,2	13,8	13,4	13,2	13,8	13,6	14,4	97,4
8h às 9h	15,8	17	16	18,6	15,8	14,4	18,6	116,2
9h às 10h	18,8	16	19,8	22	22,6	18,4	21,6	139,2
10h às 11h	21,4	23,4	24,8	22,4	27,2	24,2	27,4	170,8
11h às 12h	23,4	29,2	24	26,6	21,2	26	29,2	179,6
12h às 13h	25,4	28,6	27,6	28,4	26,6	29,2	28,2	194
13h às 14h	30,2	29	25,8	27,8	29,2	22,4	27	191,4
14h às 15h	28,8	26,2	23,4	24	27,2	26,4	28,8	184,8
15h às 16h	31,6	27,6	23,6	25,4	23,6	29,8	24,4	186
16h às 17h	26,6	22,4	28,8	27,8	25,4	27,8	23,6	182,4
17h às 18h	32,6	30,4	31,4	21,4	33,8	25,4	25,4	200,4
18h às 19h	31,6	32,4	26,8	27,8	29	24,8	28,8	201,2
19h às 20h	36,6	38,6	28,4	28,8	29,8	30,6	28,2	221
20h às 21h	28,2	28,4	28,6	28,8	30,4	27	33,8	205,2
21h às 22h	27,6	25,8	24,6	26,6	26,4	30,6	28,6	190,2
22h às 23h	22,2	20,2	25,2	29	29,6	30,4	32	188,6
23h às 0h	21	21,8	19,4	22,4	20,6	25,8	29	160
Total Geral	562,6	537,6	504	508,2	532,4	521	563,4	3729,2

Incidência de incêndio

✓Cada faixa equivale a 20% da quantidade de bairros (160);

Muito Alta

- **11,801 a 41,500**

Alta

- **8,541 a 11,800**

Média

- **7,081 a 8,540**

Baixa

- **4,791 a 7,080**

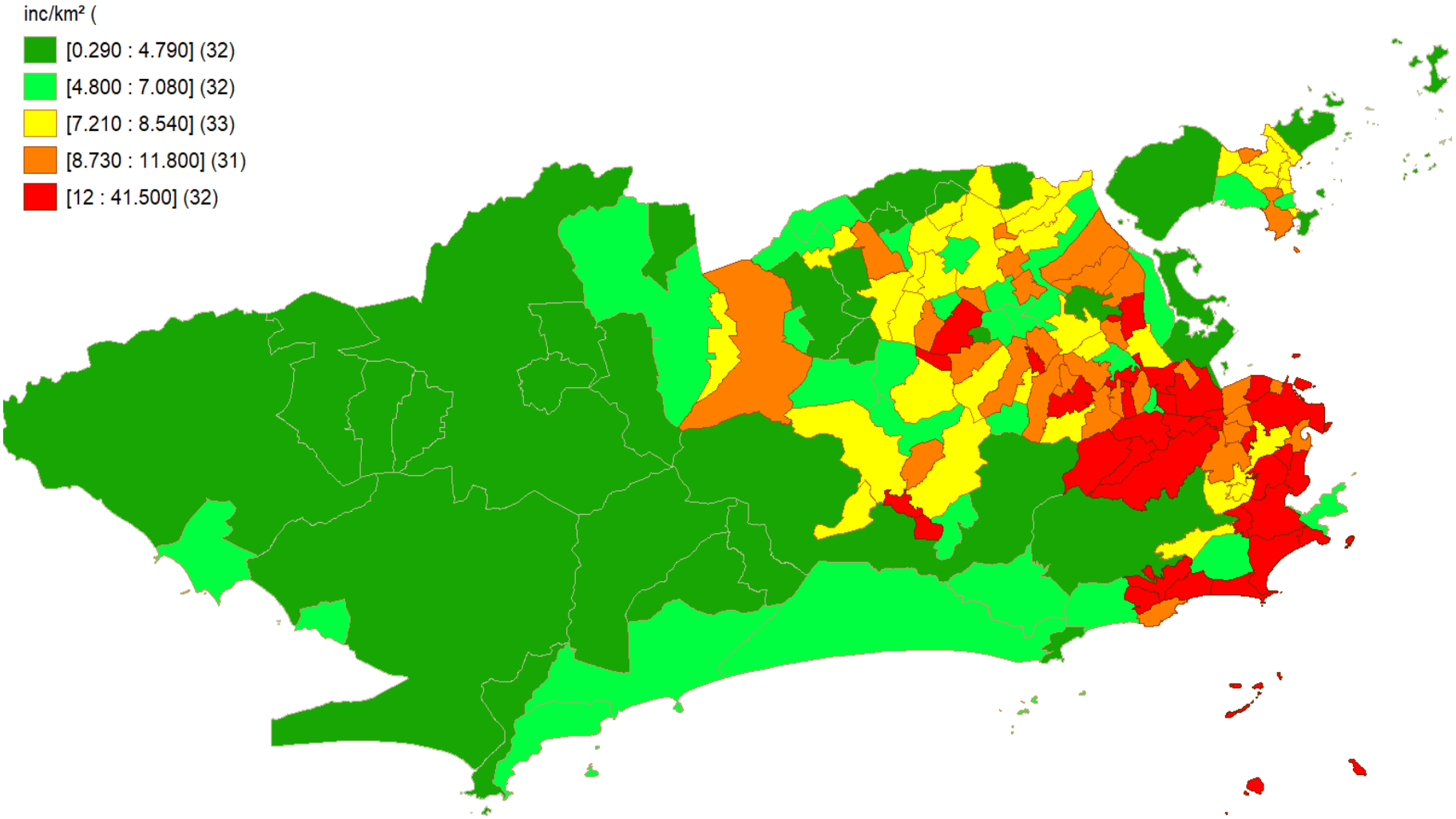
Muito Baixa

- **0,290 a 4,790**

Incidência de Incêndio

Classificação	Bairro	n° Incêndios (média)	Área urbana (km²)	Incidência de Incêndio (inc/km²)
1	Copacabana	111,2	2,678	**41,52**
2	Catete	20,6	0,566	**36,42**
3	Ipanema	39,8	1,578	**25,23**
35	Cidade Nova	10,6	0,921	**11,51**
45	Glória	10,8	0,992	**10,88**
62	Realengo	106	12,066	**8,78**
67	Santa Teresa	19,8	2,329	**8,50**
71	Jardim Botânico	11,2	1,354	**8,27**
96	Marechal Hermes	27,8	3,857	**7,21**
104	São Francisco Xavier	3,4	0,531	**6,41**
113	Maré	23	3,944	**5,83**
129	Pavuna	37	7,724	**4,79**
130	Freguesia (Ilha)	10,2	2,155	**4,73**
146	Inhoaíba	18,8	5,963	**3,15**
160	Vila Militar	1,6	5,513	**0,29**

Mapa de Incidência de Incêndio



Regressão linear múltipla

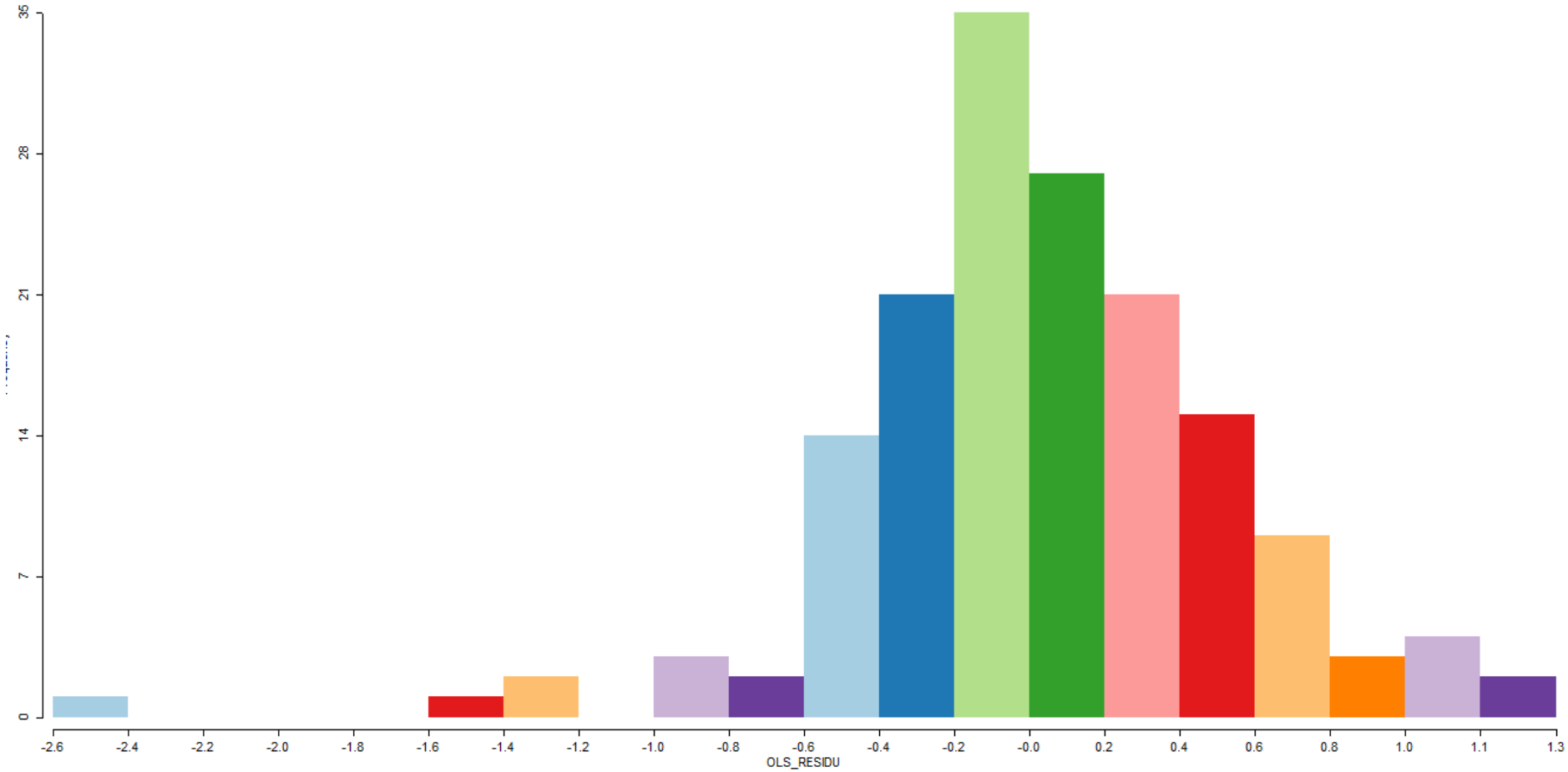
Variável dependente	Ln(Y01)
Variáveis independentes	X01, X03 e X04
R^2	0,49
R^2 ajustado	0,48
Critério de Akaike	238,672

X01 – Índice de Cobertura de Hidrantes

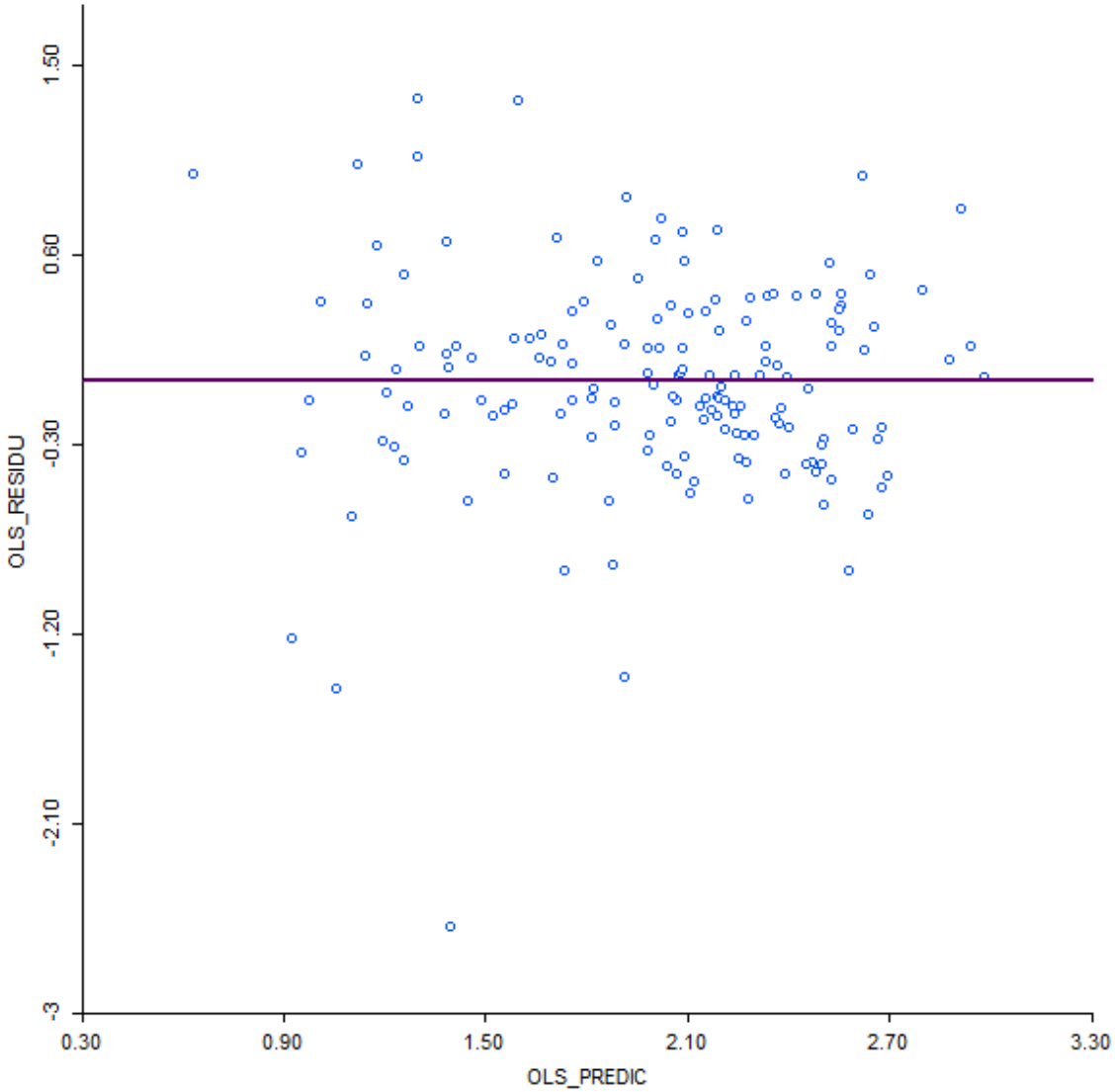
X03 - % área urb

X04 - % 60 anos ou mais

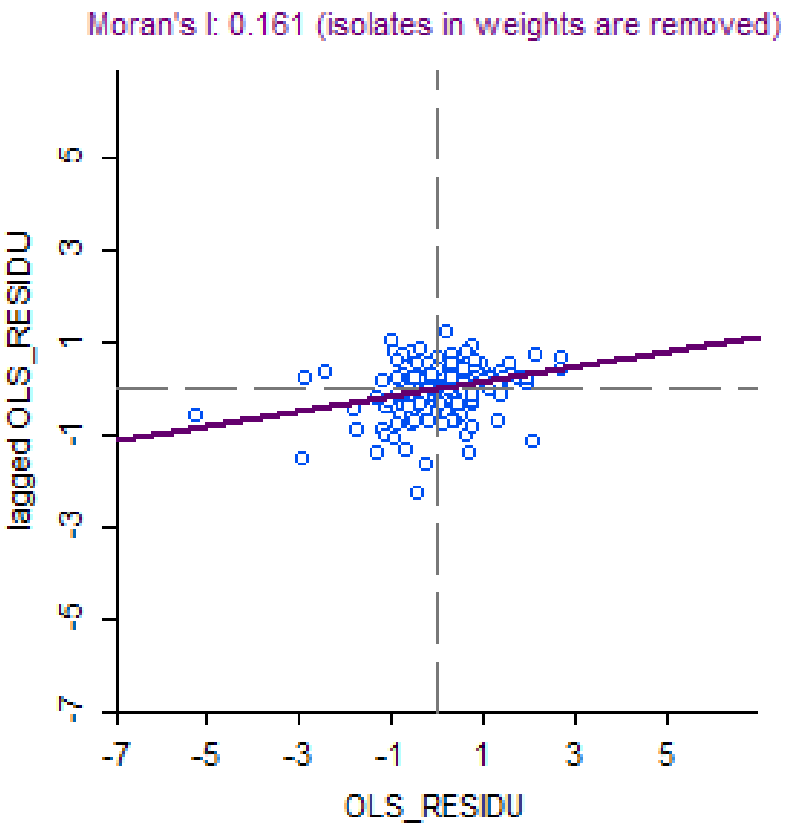
Normalidade dos resíduos

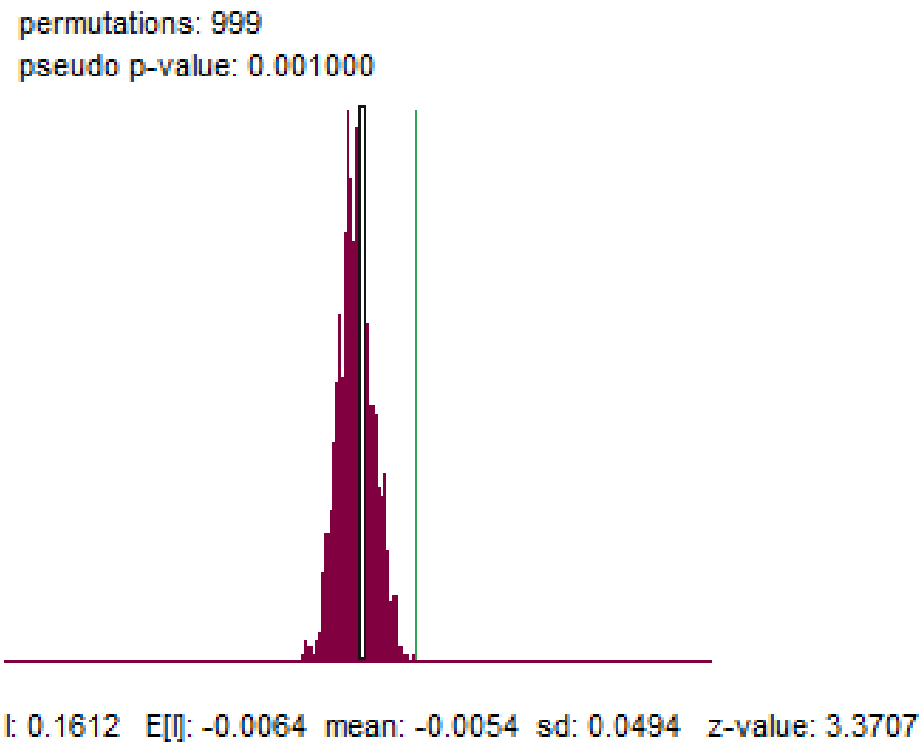


Homocedasticidade



Autocorrelação espacial





Regressão espacial

- ✓Spatial Lag Models (SAR)
- ✓Spatial Error Models (CAR)

Contiguidade	Ordem de Contiguidade
Queen	1
Queen	2
Rook	**1**
Rook	2

Quadro comparativo

Método	R^2	Critério de Akaike
Regressão linear múltipla	0,48	238,672
Spatial Lag Models (SAR)	**0,54**	**226,513**
Spatial Error Models (CAR)	0,53	228,429

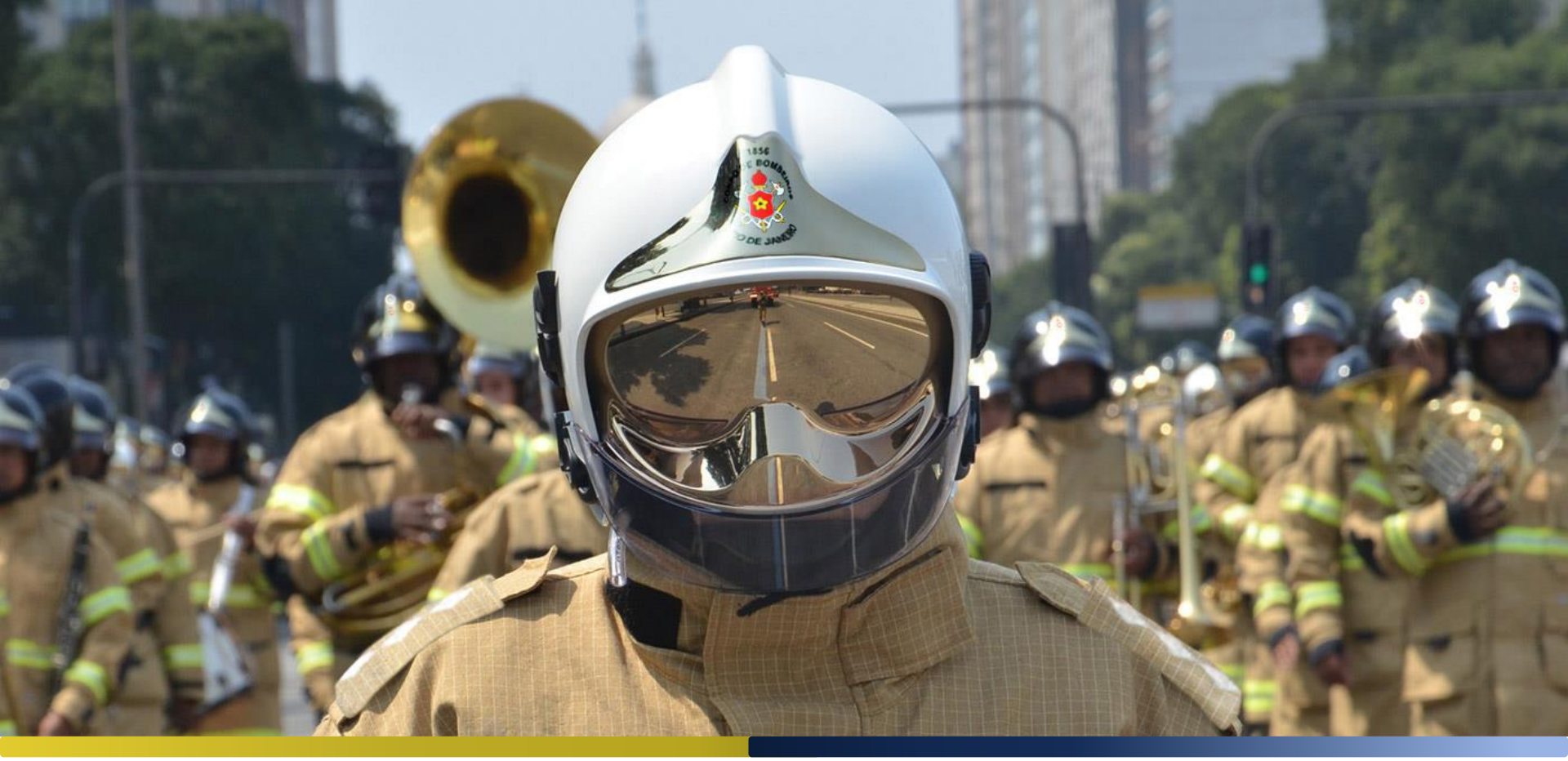
Considerações finais

- ✓ A **ausência** de um **banco de dados de incêndios** em âmbito nacional dificulta a produção de **estudos científicos**, **não** existindo uma **estatística** consolidada das **perdas econômicas** e **quantidade de vítimas** em incêndios;

- ✓ Dezembro é o mês com o maior número de ocorrências. Os dias da semana **críticos são sábado e domingo**. Os horários com **mais eventos é de 17h às 21h;**

- ✓ O modelo com melhor ajuste foi o **SAR** com R^2 de **0,54** e critério de Akaike de 226,513.

- ✓ Inicialmente as variáveis preditoras são: **percentual de urbanização, idade** e o **índice de cobertura de hidrantes**



OBRIGADO!