

EVENTOS EXTREMOS E SEUS IMPACTOS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO ENTRE 2013 E 2023

Letícia Haguenuer Scaffa Falcão¹
Mariana Oliveira da Costa²
Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior³

INTRODUÇÃO

A cidade do Rio de Janeiro, localizada na região sudeste do Brasil, entre os paralelos 22° 45' 05" S e 23° 04' 10" S e os meridianos 43° 06' 30"W e 43° 47' 40"W, caracteriza-se por um clima tropical de monções que combina verões quentes e úmidos, com elevada concentração de precipitação, e invernos relativamente secos e amenos. A localização geográfica do município, situada em uma zona de transição entre o trópico e a faixa subtropical, juntamente com sua geomorfologia diversificada, exerce influência na formação de microclimas que determinam os padrões espaciais e temporais da precipitação e da temperatura na região.

O relevo da cidade é dominado por três maciços montanhosos principais: Gericinó-Mendanha ao norte, Tijuca a leste e Pedra Branca a oeste. Essas elevações atuam como barreiras naturais que modulam a circulação atmosférica local, condicionando a distribuição das precipitações. Nos meses de verão, a interação dos ventos úmidos oriundos do Oceano Atlântico com essas estruturas geomorfológicas provoca chuvas orográficas intensas, sobretudo nas encostas e áreas próximas aos maciços. Esse fenômeno contribui para a ocorrência de chuvas intensas e extremas, definidas neste estudo pelos percentis 95 e 99, respectivamente (LIMA; BERAY ARMOND, 2022).

Ademais, a cidade apresenta uma extensa área de planícies costeiras, denominadas baixadas, que correspondem a aproximadamente 64% da área total do município e possuem altitudes inferiores a 20 metros acima do nível do mar. Essas regiões são particularmente suscetíveis à ocorrência de inundações durante episódios de chuvas intensas e extremas, em parte devido à sua proximidade com o Oceano Atlântico e com as baías de Guanabara e Sepetiba, e em parte pelos fatores antrópicos que

¹ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, leticiahscalcao@gmail.com;

² Doutoranda em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, mari.oliveira1995@hotmail.com

³ Professor orientador: Professor Adjunto do Departamento de Geografia Física da UERJ (IGEOG/UERJ) e do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO/UERJ) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, antonio.junior@uejr.br.

contribuem para a deflagração destes eventos. Esses corpos d'água intensificam a influência das frentes frias e dos sistemas de baixa pressão que atingem a região, exacerbando a variabilidade e a intensidade das precipitações (DERECZYNSKI et al., 2009).

A combinação entre a complexa geomorfologia e os padrões climáticos do município resulta em uma distribuição espacial das chuvas consideravelmente heterogênea. A concentração das estações pluviométricas na Zona Sul, uma área densamente urbanizada, contrasta com a carência de monitoramento em regiões mais afastadas e elevadas, como os maciços, onde as chuvas intensas e extremas ocorrem com maior frequência. Essa distribuição desigual das estações pluviométricas limita a capacidade de se obter uma compreensão abrangente dos padrões locais de precipitação, comprometendo a precisão na previsão e na mitigação dos eventos extremos e seus impactos (ARANHA; BRANDÃO, 2007).

Estações Meteorológicas do Sistema Alerta Rio



Referências Bibliográficas: Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro - Informações Estações. Rio de Janeiro: Sistema Alerta Rio, 2024.
Organização e Editoração Cartográfica: Leticia Scaffa Falcão
Sistema de Coordenadas Geográficas: Datum SIRGAS 2000
Mapa Base ESRI

Figura 1 – Mapa da área de estudo e localização das estações do Sistema Alerta Rio. Elaborado pela autora, 2024.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a série temporal dos dados pluviométricos disponibilizados pelo Sistema Alerta Rio entre 2013 e 2023, com a finalidade de identificar a correlação entre os eventos de precipitação intensa e extrema, definidos pelos percentis 95 e 99, e ocorrências registradas pela Defesa Civil. A metodologia adotada envolve a análise de dados diários e mensais provenientes de 33 estações pluviométricas distribuídas pelo município, com ênfase na identificação dos padrões temporais e espaciais de episódios pluviométricos intensos e extremos e na correlação desses padrões com os impactos destes eventos, como inundações e deslizamentos.

O Alerta Rio é o sistema de monitoramento e alerta para chuvas intensas e deslizamentos de encostas na cidade do Rio de Janeiro, criado em 25 de setembro de 1996 pelo Decreto Nº 15.142 e gerenciado pela Fundação GEO-RIO. Com o objetivo de emitir boletins de alerta à população em caso de previsão de chuvas que possam causar inundações ou deslizamentos, o sistema é sustentado por uma rede de 33 estações telemétricas distribuídas por toda a cidade, que transmitem dados em tempo real para a central do Alerta Rio a cada 15 minutos. Destas, 26 são estações pluviométricas, enquanto as demais incluem estações meteorológicas e meteorológicas completas, capazes de monitorar também vento, temperatura, umidade do ar e pressão atmosférica.

Os resultados obtidos indicam consistência entre os dados pluviométricos do Sistema Alerta Rio e os registros de impactos e desastres registrados pelo Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2ID) do Governo Federal. Verificou-se que os períodos de maior precipitação, sobretudo aqueles em que os valores de precipitação ultrapassaram os percentis 95 e 99, coincidiram com os meses de maior incidência de ocorrências no município. Essa correlação destaca a importância de uma análise climática detalhada para a compreensão dos riscos associados à chuva extrema.

Em síntese, este estudo contribui para uma compreensão dos padrões de precipitação na cidade do Rio de Janeiro e suas implicações na ocorrência de eventos extremos e na gestão de riscos associados. A análise dos dados do Sistema Alerta Rio evidencia não apenas a relevância do monitoramento climático contínuo, mas também a

necessidade de uma abordagem integrada que leve em consideração as especificidades geográficas, climáticas e socioeconômicas do município.

MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, os dados diários de precipitação foram extraídos das 33 estações pluviométricas ativas do Sistema Alerta Rio, utilizando-se um *script* em linguagem R, fornecido pela Prefeitura do Rio de Janeiro. Esse script possibilitou a extração automatizada dos dados, os quais foram, em seguida, transferidos para o software Microsoft Excel para análise.

```
install.packages( "basedosdados" )  
library( "basedosdados" )  
  
# Defina o seu projeto no Google Cloud  
set_billing_id( "<id_do_seu_projeto_gcp>" )  
  
# Para carregar o dado direto no R  
tb <- read_sql( "SELECT * FROM `datario.meio_ambiente_clima.taxa_precipitacao_alertario`  
LIMIT 1000" )
```

Figura 2 - Script Disponibilizado pela Prefeitura do Rio de Janeiro

Nessa etapa, aplicou-se a técnica de percentis para identificar eventos de chuva intensa e extrema, utilizando os percentis 95 e 99, respectivamente, como critérios para definir os dias em que as precipitações foram significativamente elevadas. Posteriormente, foram acessados os registros do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) do Governo Federal. O Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) reúne vários produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), com a finalidade de aprimorar e tornar mais transparente a gestão de riscos e desastres no Brasil. Desta plataforma, foram extraídos dados referentes aos desastres ocorridos no município, incluindo informações sobre a tipologia e as datas desses eventos.

Com os dados de precipitação e de desastres organizados, procedeu-se à análise das relações entre as datas e as tipologias das ocorrências identificados no S2ID e as taxas pluviométricas registradas. Essa análise, realizada no Excel, permitiu gerar gráficos que ilustram as correlações entre os eventos de chuva intensa e extrema e a ocorrência de impactos relacionados, oferecendo melhor entendimento destas dinâmicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da série temporal diária de precipitação para o município do Rio de Janeiro, abrangendo o período de 2013 a 2023, envolveu a avaliação de 130.895 dados diários, considerando as 33 estações pluviométricas analisadas, dos quais 6623 apresentaram taxas de precipitação enquadradas no percentil 95, que foi definido por uma taxa de precipitação diária de a partir de 19,8mm , e 1315 dentro do percentil 99, que foi definido por uma taxa de precipitação diária de a partir de 51mm. Esses percentis, utilizados para caracterizar eventos de chuva intensa e extrema, respectivamente, revelam uma significativa concentração das ocorrências nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro. Este padrão sazonal está profundamente relacionado às dinâmicas climáticas regionais, particularmente à influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à atuação de frentes frias, que são predominantes durante o verão e o início do outono. Esses sistemas meteorológicos favorecem o desenvolvimento de nuvens convectivas intensas, resultando em altos volumes de precipitação em curtos períodos, o que justifica a concentração dos eventos de precipitação intensa e extrema nos meses mencionados (ARMOND; SANT'ANNA NETO, 2019).

ESTAÇÃO	P95	P99	ESTAÇÃO	P95	P99	ESTAÇÃO	P95	P99
Vidigal	20,40	55,54	Bangu	17,80	42,82	Grande Méier	18,76	44,40
Madureira	17,00	43,27	Piedade	16,40	43,83	Anchieta	20,20	48,43
Irajá	17,39	42,64	Tanque	18,36	42,27	Grota Funda	24,80	65,71
Urca	17,80	46,87	Saúde	17,00	40,00	Campo Grande	17,72	43,07
Rocinha	28,19	72,75	Jardim Botânico	24,40	63,94	Sepetiba	15,96	41,22
Tijuca	22,40	59,80	Barrinha	22,83	62,66	Alto da Boa Vista	36,60	88,67
Santa Teresa	21,20	51,43	Cidade de Deus	17,00	42,87	Av.Brasil Mendanha	18,80	45,07
Copacabana	17,36	45,56	Rio Centro	20,80	53,96	Recreio	22,36	49,42
Grajaú	18,36	49,89	Guaratiba	17,36	44,74	Laranjeiras	20,00	48,84
Ilha do Governador	16,41	41,48	Grajaú Jacarepaguá	20,80	53,74	São Cristóvão	17,76	42,00
Penha	15,36	38,20	Santa Cruz	20,80	49,40	Tijuca Muda	20,98	61,55

Tabela 1 – Valores de taxa de precipitação diária estipulados pelos percentis 95 e 99 de cada estação analisada. Elaborado pela autora, 2024.

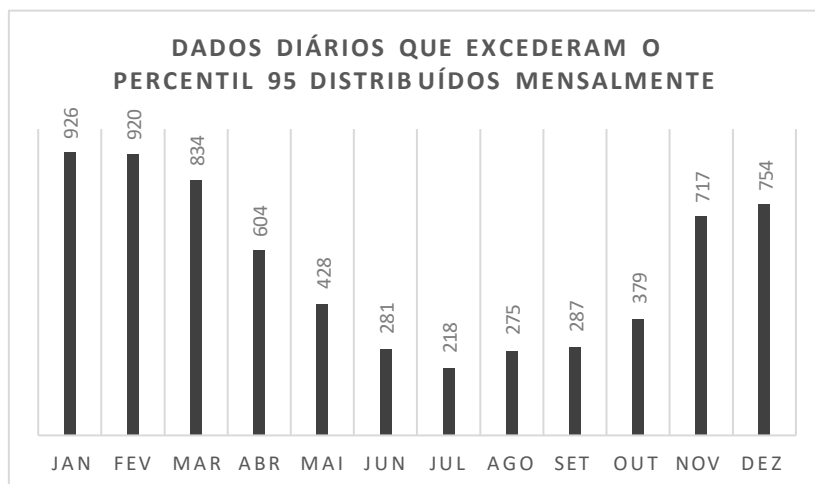


Gráfico 1 - Dados diários enquadrados no cálculo do percentil 95 (definido por uma taxa de precipitação diária de a partir de 19,8mm) mensalmente dentro do recorte temporal de 2013 a 2023.

Elaborado pela autora, 2024.

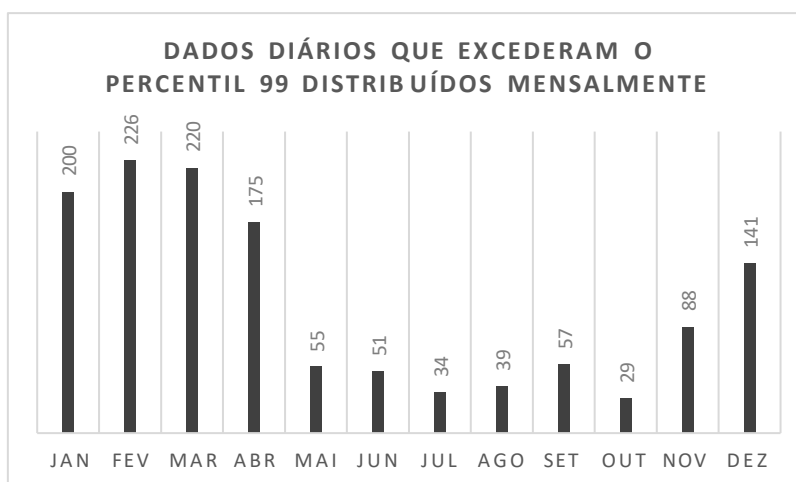


Gráfico 2 - Dados diários enquadrados no cálculo do percentil 99 (definido por uma taxa de precipitação diária de a partir de 51mm) mensalmente dentro do recorte temporal de 2013 a 2023.

Elaborado pela autora, 2024.

Adicionalmente, ao correlacionar esses dados pluviométricos com os registros de eventos extremos fornecidos pela Defesa Civil, observou-se uma notável convergência temporal. Os desastres mostraram-se predominantemente concentrados nos meses de fevereiro, março, abril e dezembro. Essa convergência temporal sugere uma forte correlação entre os eventos de precipitação intensa e extrema e ocorrências registradas pelo S2ID.

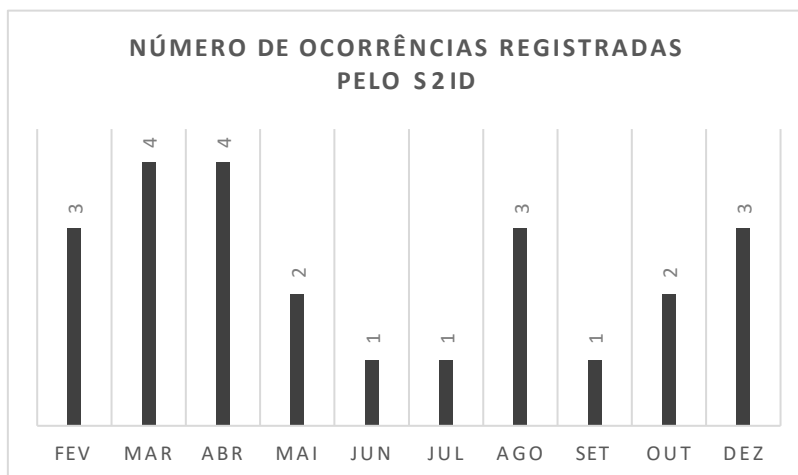


Gráfico 3 - Número de eventos identificados e registrados pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres separados por mês entre os anos de 2013 e 2023. Elaborado pela autora, 2024.

Para aprofundar essa análise, foi construída uma tabela comparativa que mapeia as datas dos eventos registrados pelo S2ID contra as taxas diárias de precipitação registradas pelos pluviômetros. Nessa tabela, as ocorrências onde as taxas de precipitação excederam o percentil 95 foram destacadas em vermelho, enquanto as datas em laranja indicam dias anteriores ou posteriores aos eventos registrados que também apresentaram precipitação intensa. Esta visualização revelou que, em vários casos, as inconsistências nos registros de desastres podem ser atribuídas a precipitações intensas em dias imediatamente próximos aos eventos reportados, sugerindo possíveis falhas de cadastro ou reportagem por parte da Defesa Civil. Esses lapsos podem estar relacionados à dificuldade em diferenciar os impactos acumulativos de eventos pluviométricos sequenciais, que muitas vezes contribuem para a exacerbação de eventos extremos e desastres urbanos.

A partir dessas observações, é evidente a relação entre os períodos de precipitação elevada e impactos associados. Essa constatação reforça a importância de um monitoramento contínuo das condições pluviométricas, não apenas para a previsão meteorológica, mas também para a gestão de riscos e a mitigação de desastres. A análise dos dados empíricos sugere que a efetividade das estratégias de defesa civil e de planejamento urbano depende, em grande medida, da precisão com que eventos extremos registrados e correlacionados com desastres, além de outros aspectos relacionados, de forma mais abrangente, a dinâmicas climáticas e de urbanização e planejamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a série temporal dos dados pluviométricos do Sistema Alerta Rio entre 2013 e 2023, revelando uma correlação significativa entre chuvas intensas e extremas, definidas pelos percentis 95 e 99, e impactos associadas no Rio de Janeiro. Os eventos pluviométricos extremos foram concentrados nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro, refletindo a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e das frentes frias na intensificação das precipitações (DERECZYNSKI et al., 2009).

Os eventos ocorrências registradas pela Defesa Civil também se concentraram em fevereiro, março, abril e dezembro, coincidindo com períodos de chuvas intensas e extremas. A análise das tabelas comparativas entre datas de eventos e taxas de precipitação revelou uma correlação perceptível, mas também indicou possíveis inconsistências nos registros, possivelmente devido à dificuldade em capturar os impactos acumulativos de eventos pluviométricos sequenciais (ARMOND; SANT'ANNA NETO, 2019).

Os resultados sublinham a necessidade de monitoramento contínuo e rigoroso das condições pluviométricas, essencial tanto para a previsão meteorológica quanto para a gestão de riscos e mitigação de desastres. A precisão na correlação entre precipitação intensa e extrema e impactos destes episódios é crucial para aprimorar as estratégias de defesa civil e o planejamento urbano. Em grandes cidades como o Rio de Janeiro, onde a complexa interação entre fatores climáticos, geomorfológicos e urbanísticos apresenta desafios significativos, o desenvolvimento urbano deve ser planejado para resiliência, evitando a ocupação de áreas vulneráveis e implementando medidas preventivas para minimizar os danos potenciais.

REFERÊNCIAS

ARANHA, R.I de C.; BRANDÃO, A. M. de P. M. Os extremos pluviométricos cariocas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

ARMOND, N. B.; SANT'ANNA NETO, J. L. Entre eventos e episódios: ritmo climático e excepcionalidades para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 20, 2017.

DERECZYNSKI, C.P.; OLIVEIRA, J. S. de; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 24-38, 2009.

LIMA, S. S.; BERAY ARMOND, N. Rainfall in Metropolitan Region of Rio de Janeiro: characterization, extreme events, and trends. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 34, n. 1, 2022.

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. Eventos extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. *GeoTextos*, [S. l.], v. 15, n. 2, 2019.