

Analisando Centros de Resposta à Emergências em Capitais Brasileiras Utilizando uma Abordagem Baseada em Dados Geoespaciais Colaborativos

João Paulo Just Peixoto^{1,2}, Daniel G. Costa³, Washington de J. S. da Franca Rocha²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA)
Valença, BA, Brasil

²PPGM – Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Feira de Santana, BA, Brasil

³SYSTEC-ARISE – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto
Porto, Portugal

joao.just@ifba.edu.br, danielgcosta@fe.up.pt, wrocha@uefs.br

Abstract. *Urban centres have been growing every year, attracting even more people to big cities. This constant growth may cause a potential raise on the number of emergency events, demanding more efficient and quicker response in helping the victims. In this sense, many approaches involving smart cities technologies have been proposed in several research papers, with some of them performing risk classifications based on collaborative geospatial data. Some solutions are based on the presence of response centres in the area to be classified, thus, it is important to know the current situation regarding the presence of these urban centres in the cities. This paper makes use of a comprehensive mathematical model and a supportive software tool to account the number of response centres in the Brazilian capitals, producing a ranking of the number of these response centres per inhabitants in each city, making a profile of response centres presence in Brazil. After this comparison it is possible to notice a considerable gap between some capitals, revealing an unbalance of response centres in some of them.*

Resumo. *Centros urbanos têm crescido a cada ano, atraindo cada vez mais pessoas para as grandes cidades. Este crescimento constante pode provocar um aumento no número de eventos de emergência, o que demanda um atendimento mais eficaz e mais rápido para o socorro de vítimas. Neste sentido, diversas abordagens envolvendo tecnologias de cidades inteligentes vêm sendo propostas em inúmeras pesquisas, com algumas delas propondo soluções para classificação de riscos urbanos baseada em dados geoespaciais colaborativos. Algumas soluções baseiam-se na presença de centros de resposta na área de classificação, portanto, é importante saber qual a situação atual quanto à presença destes centros de respostas nas cidades. Neste sentido, este artigo faz uso de um modelo matemático consistente e de uma ferramenta de software especializada para contabilizar a quantidade de centros de resposta nas capitais brasileiras e fazer um comparativo do número destes centros de respostas por habitantes em cada cidade, trazendo um recorte da presença de centros de resposta no Brasil. Ao final desta comparação é possível perceber uma diferença*

considerável entre algumas capitais, revelando um deficit de centros de resposta em algumas delas.

1. Introdução

O crescimento constante dos centros urbanos com o passar dos anos vem demandando cada vez mais serviços para melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes. De maneira geral, espera-se que as cidades forneçam serviços de atendimento ao cidadão, já que junto com o aumento populacional há também o crescimento no número de eventos de emergência em uma cidade [Eremia et al. 2017, Caragliu and Del Bo 2019]. Desde pequenos acidentes de trânsito a grandes desastres provocados por chuvas torrenciais, incêndios, acidentes industriais, entre tantos outros, é importante que um grande centro urbano esteja preparado para lidar com situações críticas, retornando para o estado pré-emergência o mais rápido possível [de Amorim et al. 2019].

Neste sentido, iniciativas de cidades inteligentes voltadas ao gerenciamento de emergências vem se tornando cada vez mais presente em grandes metrópoles [Costa et al. 2022]. Atuando desde o processo de detecção, passando pelo alerta até à mitigação, diversos trabalhos de pesquisa têm trazido abordagens viáveis que permitem uma atuação rápida e eficaz no tratamento de mitigação de eventos de emergências. Dentre elas, nosso trabalho em [Peixoto et al. 2023a] propôs um algoritmo de classificação de zonas de risco em uma cidade inteligente chamado CityZones – <https://cityzones.just.pro.br>. Este algoritmo faz uso de dados colaborativos abertos do OpenStreetMap [Mooney et al. 2017] para obter a geolocalização de pontos de interesse (*Point of Interest* - PoI) relevantes no processo de mitigação de emergências, como hospitais, corpo de bombeiros, *hubs* de mobilidade urbana, abrigos públicos, portos da guarda costeira, postos de salva vidas, departamentos de polícia, entre outros, para classificar zonas de uma área de influência (*Area of Influence* - AoI) quanto ao seu nível de mitigação. Dessa forma, embora um PoI possa ser virtualmente qualquer infraestrutura urbana que forneça algum tipo de suporte durante o atendimento a uma emergência, reduzimos o grupo de PoIs possíveis neste artigo para esses três elementos principais: hospitais, corpo de bombeiros e departamentos de polícia. De modo geral, esses três tipos de PoIs estarão presentes em todas as capitais brasileiras, facilitando a comparação desejada.

Sabe-se que os primeiros minutos após um evento de emergência são cruciais para o resgate com vida de possíveis vítimas, de forma que a presença de centros de resposta em uma cidade é determinante para a capacidade da região de se recuperar após algum evento de emergência [Peixoto et al. 2023b]. Portanto, a classificação proposta em [Peixoto et al. 2023a] leva em conta a proximidade de cada zona em uma AoI para os PoIs disponíveis na região, de forma que zonas próximas de um ou mais PoI são consideradas zonas com melhores níveis de mitigação do que zonas distantes de algum PoI. Essa proposição científica é nossa premissa para definir mapas de riscos, como o apresentado na Figura 1 para a cidade de Salvador, Brasil. Neste mapa, regiões em verde são melhores servidas por infraestrutura de resposta à emergências (PoIs), seguida pelas regiões em amarelo e vermelho. As localizações dos PoIs e suas categorias também são exibidas.

É preciso conhecer a situação atual das cidades brasileiras quanto à presença e quantidade de centros de resposta suficientes para o atendimento à população. Com o objetivo de criar uma base de dados de comparação do número de PoIs por habitantes

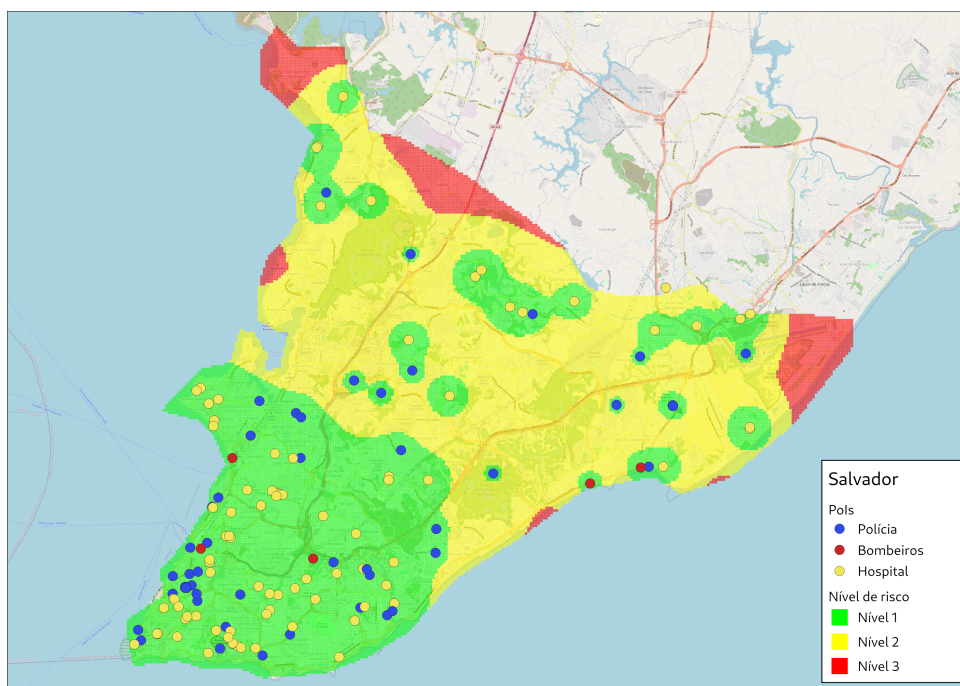


Figura 1. Mapa de risco para a cidade de Salvador, gerado a partir de dados colaborativos geoespaciais.

de cada capital brasileira, fazendo um recorte da presença de centros de resposta no Brasil, este artigo traz um compilado dos resultados obtidos pela ferramenta apresentada em [Peixoto et al. 2023a] a partir da extração dos dados de geolocalização de centros de resposta no OpenStreetMap. A partir destes dados é possível comparar as capitais e verificar os casos em que o número de centros de respostas acompanha ou não a quantidade de habitantes da cidade.

2. Emergências urbanas e dados colaborativos

No contexto da classificação apresentada em [Peixoto et al. 2023a], uma AoI é uma área determinada dentro da qual se deseja fazer uma classificação dos níveis de mitigação de suas zonas. Uma AoI pode ser delimitada por um polígono qualquer, englobando desde um pequeno bairro até uma grande metrópole. Dessa forma, todo o processo de classificação será limitado aos elementos presentes dentro deste polígono. Na Figura 1, um polígono com 66 lados foi definido englobando a mancha urbana da cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, tendo como base as dimensões oficiais dessa cidade (GeoJSON *shapefile*).

Um PoI é definido como um ponto de interesse relevante para os eventos de emergência a serem considerados no processo de classificação, sendo a base para a definição de mapas de risco como o apresentado na Figura 1. É esperado que em certas situações de emergências alguns serviços específicos sejam importantes e cruciais para o processo de mitigação (combate às causas da emergência, controle dos seus efeitos negativos e resgate às vítimas), impactando a percepção de resiliência urbana esperada para as cidades modernas [Liu and Song 2020, Meerow and Newell 2019]. Por exemplo, em um caso de incêndio no centro de uma cidade, o trabalho do corpo de bombeiros local

será importantíssimo para tomar conta da situação e resolver o problema, assim como a presença de hospitais facilitará o processo de atendimento às vítimas. De um modo geral, corpos de bombeiros, hospitais e departamentos de polícia são centros de resposta relevantes durante uma emergência, sendo o foco de estudo deste artigo. Adicionalmente, vale lembrar que a promoção da resiliência urbana está incluído nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas [UN 2024], reforçando a relevância deste trabalho.

Considerando a importância de que o processo de mitigação de uma emergência seja rapidamente iniciado, a ferramenta CityZones é capaz de extrair do OpenStreetMap, uma base de dados colaborativos, as informações de geolocalização dos PoIs definidos no processo de classificação. A partir destes dados, o algoritmo divide a AoI em pequenas zonas de tamanho definido pelo usuário e as classifica de acordo com a distância dela para os PoIs disponíveis dentro da AoI. Essa classificação permite comparar zonas de uma mesma região quanto ao seu nível de mitigação, permitindo assim que seja possível verificar quais zonas merecem mais atenção em uma cidade. Os detalhes do modelo matemático adotado, bem como as especificações do algoritmo proposto adotado para seleção e classificação de zonas de risco, podem ser consultados em [Peixoto et al. 2023b].

3. Metodologia

A fim de obtermos um comparativo entre as capitais brasileiras, que é o objetivo central deste artigo, a ferramenta CityZones foi executada para cada capital dos 26 estados e do distrito federal, extraindo a quantidade de PoIs presentes em cada um dos casos. Essa extração foi realizada em Outubro de 2023, sendo essa data a referência para a atualidade dos dados na base colaborativa presente no OpenStreetMap.

O primeiro passo foi obter os polígonos que delimitam cada capital, formando assim uma AoI para cada uma delas. De forma a ter uma delimitação correta e oficial, foram utilizados os *shapefiles* disponíveis no site do IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. Um *shapefile* é um conjunto de arquivos que contém dados geoespaciais de uma região, definindo a geometria do local. Estes dados de geometria foram utilizados para gerar um arquivo GeoJSON, que contém os dados de geometria com um ou mais polígonos armazenados no formato JSON (*JavaScript Object Notation*). Esta etapa é necessária pois definimos que a ferramenta CityZones demande que a AoI seja fornecida no formato GeoJSON.

A etapa seguinte consistiu em desenvolver um *script* Python para executar o CityZones para cada GeoJSON, obtendo o número de PoIs e gravando os dados em um arquivo CSV contendo o nome da capital, a quantidade de cada PoI (hospital, corpo de bombeiros e departamento de polícia) e o número total de PoIs. Nesta etapa não estamos interessados nos resultados de classificação das zonas dentro da AoI, apenas na quantidade de PoIs disponíveis em cada cidade.

Por último, o número de habitantes de cada capital, obtido dos dados do último censo brasileiro, foi acrescentado ao arquivo CSV. Através da combinação do número de PoIs e de habitantes de cada cidade, a base de dados gerada fornece uma relação da quantidade de PoIs para cada 100.000 habitantes, permitindo então uma comparação entre as capitais brasileiras de forma mais significativa.

4. Análise dos resultados

Após a execução do *script* para execução do CityZones em cada capital brasileira, um conjunto de dados no formato CSV (*Comma-Separated Values*) foi gerado. Os resultados da execução do *script* descrito na seção anterior são apresentados na Tabela 1, uma linha por capital.

Nesta primeira tabela de resultados, a última coluna apresenta a relação do número de PoIs para cada 100.000 habitantes de cada cidade correspondente. A partir desta relação é possível comparar as cidades e verificar em quais delas há uma melhor presença de centros de resposta para seus habitantes.

Tabela 1. Quantidade de Pols e relação com o número de habitantes por capital brasileira.

Capital	Estado	PoIs	Habitantes	PoIs/100.000 hab.
Aracaju	SE	70	602.757	11,61
Belém	PA	52	1.303.403	3,99
Belo Horizonte	MG	131	2.315.560	5,66
Boa Vista	RR	46	413.486	11,12
Brasília	DF	387	2.817.381	13,74
Campo Grande	MS	67	898.100	7,46
Cuiabá	MT	59	650.877	9,06
Curitiba	PR	131	1.773.718	7,39
Florianópolis	SC	23	537.211	4,28
Fortaleza	CE	161	2.428.708	6,63
Goiânia	GO	124	527.796	23,49
João Pessoa	PB	61	833.932	7,31
Macapá	AP	53	442.933	11,97
Maceió	AL	76	957.916	7,93
Manaus	AM	133	2.063.689	6,44
Natal	RN	149	751.300	19,83
Palmas	TO	16	302.692	5,29
Porto Alegre	RS	92	1.332.845	6,90
Porto Velho	RO	26	460.434	5,65
Recife	PE	245	1.488.920	16,45
Rio Branco	AC	28	364.756	7,68
Rio de Janeiro	RJ	237	6.211.223	3,82
Salvador	BA	149	2.417.678	6,16
São Luís	MA	87	1.037.775	8,38
São Paulo	SP	489	11.451.999	4,27
Teresina	PI	87	866.300	10,04
Vitória	ES	71	322.869	21,99

Algumas capitais se destacam positivamente no quesito verificado, como as cidades de Goiânia (GO) e Vitória (ES), ambas com uma relação de PoIs/100.000 habitantes acima de 20. Apesar de possuírem poucos habitantes em comparação com grandes capitais, a quantidade de centros de resposta nestas cidades se mostra elevada, aumentando assim sua relação de PoIs por habitantes. Em contrapartida, as cidades do Rio de Janeiro

(RJ) e Belém (PA) ficam no final do *ranking* da relação, com menos de 4 PoIs/100.000 habitantes, o que pode ser utilizado para guiar políticas públicas para aumentar esse valor.

Já a Tabela 2 apresenta os dados consolidados das capitais por cada uma das cinco regiões geográficas do país. Nesta tabela é possível verificar que a região Centro-oeste possui uma melhor relação de PoIs por habitantes, seguida da região Nordeste, enquanto a região Sudeste é a que tem uma menor relação, considerando apenas as capitais do estados dessas regiões.

Tabela 2. Relação PoIs/100.000 habitantes por região brasileira.

Região	PoIs/100.000 hab.
Centro-oeste	13,02
Nordeste	9,53
Norte	6,62
Sudeste	4,57
Sul	6,75

5. Conclusão

Com o aumento constante dos grandes centros urbanos, seja em infraestrutura como em número de habitantes, se faz necessário que as grandes cidades estejam preparadas para lidar com eventuais situações de emergências que possam ocorrer. Neste sentido, diversas abordagens de gerenciamento de emergências em cidades inteligentes vêm sendo apresentadas em diversos trabalhos de pesquisa mundo afora [Costa et al. 2022, Fedele and Merenda 2020].

Em uma das abordagens presentes na literatura, a ferramenta CityZones faz uso de dados geoespaciais abertos do OpenStreetMap para fazer a classificação de níveis de mitigação em zonas urbanas baseada na presença de centros de resposta a eventos de emergência, o que faz necessário conhecermos o estado atual da presença e quantidade destes centros para o atendimento à população. A partir desta abordagem, este artigo propôs um comparativo da relação de números de centros de respostas a emergências por habitantes em cada capital brasileira.

Com o uso do algoritmo CityZones e dos dados abertos fornecidos pelo OpenStreetMap e pelo IBGE, foi possível elaborar um *ranking* da relação do número de pontos de interesse (PoIs), neste caso, hospitais, corpos de bombeiros e departamentos de polícia, relacionando-os com o número de habitantes contabilizado no último censo. A partir destes dados, foi constatado que as cidades de Goiânia (GO) e Vitória (ES) são as capitais com a melhor relação, tendo mais de 20 PoIs para cada 100.000 habitantes cada uma, enquanto que as cidades de Rio de Janeiro (RJ) e Belém (PA) são as capitais com a pior relação, possuindo menos de 4 PoIs para cada 100.000 habitantes cada. Este artigo apresentou também uma tabela com os dados consolidados das capitais por região geográfica da relação de PoIs por habitante.

No geral, apesar do uso do número de PoIs como elemento central para classificar cidades pela capacidade esperada na resposta às emergências urbanas, sabemos que os PoIs não são uniformes. Por exemplo, dois hospitais podem ser muito diferentes quanto à estrutura e capacidade de atendimentos às vítimas, mas contabilizamo-os igualmente.

Dessa forma, trabalhos futuros deverão considerar outras bases de dados colaborativos para contabilizar numericamente a capacidade de resposta de cada PoI, de forma mais equilibrada, garantindo assim comparações entre cidades com mais exatidão.

Por fim, espera-se que as análises realizadas possam provocar uma discussão de como as cidades brasileiras podem agir para melhorar o atendimento a emergências e prevenir perdas de vidas em situações de desastres. É importante lembrar que algumas das capitais brasileiras apresentam histórico de desastres climáticos que levam a inúmeras mortes anualmente, situação essa poderia ser aliviada com um melhor planejamento urbano e a devida distribuição de centros de resposta a emergências.

Referências

- Caragliu, A. and Del Bo, C. F. (2019). Smart innovative cities: The impact of smart city policies on urban innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 142:373–383.
- Costa, D. G., Peixoto, J. P. J., Jesus, T. C., Portugal, P., Vasques, F., Rangel, E., and Peixoto, M. (2022). A survey of emergencies management systems in smart cities. *IEEE Access*, 10:61843–61872.
- de Amorim, W. S., Deggau, A. B., do Livramento Gonçalves, G., da Silva Neiva, S., Prasath, A. R., and de Andrade Guerra, J. B. S. O. (2019). Urban challenges and opportunities to promote sustainable food security through smart cities and the 4th industrial revolution. *Land Use Policy*, 87:104065.
- Eremia, M., Toma, L., and Sanduleac, M. (2017). The smart city concept in the 21st century. *Procedia Engineering*, 181:12–19. 10th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2016, 6-7 October 2016, Tirgu Mures, Romania.
- Fedele, R. and Merenda, M. (2020). An iot system for social distancing and emergency management in smart cities using multi-sensor data. *Algorithms*, 13(10):254.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [Online; acessado em 22 de outubro de 2023].
- Liu, W. and Song, Z. (2020). Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks. *Reliability Engineering & System Safety*, 193:106617.
- Meerow, S. and Newell, J. P. (2019). Urban resilience for whom, what, when, where, and why? *Urban geography*, 40(3):309–329.
- Mooney, P., Minghini, M., et al. (2017). A review of openstreetmap data. *Mapping and the citizen sensor*, pages 37–59.
- Peixoto, J. P. J., Costa, D. G., da Franca Rocha, W. d. J., Portugal, P., and Vasques, F. (2023a). Cityzones: A geospatial multi-tier software tool to compute urban risk zones. *SoftwareX*, 23:101409.
- Peixoto, J. P. J., Costa, D. G., de J.S. da Franca Rocha, W., Portugal, P., and Vasques, F. (2023b). On the positioning of emergencies detection units based on geospatial data of urban response centres. *Sustainable Cities and Society*, 97:104713.
- UN (2024). Sustainable development goals. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>.