

BEATRIZ CRUZ AMBACK, MARCELO GOMES MIGUEZ E ALINE PIRES VERÓL

Índice de Expansão Urbana: Ferramenta para Gestão e Prevenção de Inundações

Urban Expansion Index: A Tool for Flood Management and Prevention

Índice de Expansión Urbana: Herramienta para la Gestión y Prevención de Inundaciones

Beatriz Cruz Amback

Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEA-UFRJ), mestre em Arquitetura pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ (PROARQ-UFRJ), e Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pesquisadora acadêmica nas áreas de Sistema de Espaços Livres, Drenagem Urbana Sustentável e Requalificação Fluvial. Participa do grupo de pesquisa Projeto e Representação do Ambiente, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ (PROARQ-UFRJ).

PhD student in Environmental Engineering at the “Programa de Engenharia Ambiental” of the “Universidade Federal do Rio de Janeiro” (PEA-UFRJ), master’s degree in Architecture from the “Programa de Pós-graduação em Arquitetura” at UFRJ (PROARQ-UFRJ), and Architect and Urban Planner from the “Universidade Federal do Rio de Janeiro” (UFRJ). Academic researcher in the areas of Free Space Systems, Sustainable Urban Drainage, and River Rehabilitation. Participates in the research group “Projeto e Representação do Ambiente” of the Programa de Pós-graduação em Arquitetura” at UFRJ (PROARQ-UFRJ).

Doctoranda en Ingeniería Ambiental por el “Programa de Engenharia Ambiental” de la “Universidade Federal do Rio de Janeiro” (PEA-UFRJ), máster en Arquitectura por el “Programa de Pós-graduação em Arquitetura” de la UFRJ (PROARQ-UFRJ) y Arquitecta y Urbanista por la “Universidade Federal do Rio de Janeiro” (UFRJ). Investigadora académica en las áreas de Sistema de Espacios Livres, Drenaje Urbano Sostenible y Recalificación Fluvial. Participa en el grupo de investigación “Projeto e Representação do Ambiente”, del “Programa de Pós-graduação em Arquitetura” de la UFRJ (PROARQ-UFRJ).

beatrizamback@gmail.com

Marcelo Gomes Miguez

Professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desde 1998. Engenheiro Civil formado na própria UFRJ, em 1990, obteve, na mesma instituição, os títulos de Mestre (1994) e Doutor (2001) em Ciências em Engenharia Civil/ Recursos Hídricos. É membro do grupo de Águas Urbanas da UNESCO-América Latina e Caribe e atua também como um dos 3 coordenadores da Cátedra UNESCO de "Drenagem Urbana em Regiões de Baixada Costeira", desenvolvida

na UFRJ. No contexto de ensino, na UFRJ, atua no curso de graduação em Engenharia Civil, no Programa de Engenharia Civil, do Instituto Alberto Luiz Coimbra-COPPE, e nos Programas de Engenharia Ambiental e de Engenharia Urbana, da Escola Politécnica.

Professor at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ) since 1998. Civil Engineer graduated from UFRJ in 1990, obtained a Master's degree (1994) and a PhD (2001) in Civil Engineering/Water Resources at the same institution. He is a member of the Urban Waters group of UNESCO-Latin America and the Caribbean and also serves as one of the three coordinators of the UNESCO Chair on "Urban Drainage in Regions of Coastal Lowlands", developed at UFRJ. In the context of teaching at UFRJ, he works in the undergraduate Civil Engineering course, in the Civil Engineering Program of the Alberto Luiz Coimbra Institute - COPPE, and in the Environmental Engineering and Urban Engineering Programs of the Polytechnic School.

Profesor de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ) desde 1998. Ingeniero Civil graduado en la propia UFRJ, en 1990, obtuvo, en la misma institución, los títulos de Máster (1994) y Doctor (2001) en Ciencias en Ingeniería Civil/Recursos Hídricos. Es miembro del grupo de Aguas Urbanas de la UNESCO-América Latina y el Caribe y también actúa como uno de los tres coordinadores de la Cátedra UNESCO de "Drenaje Urbano en Regiones Costeras", desarrollada en la UFRJ. En el contexto de la enseñanza, en la UFRJ, actúa en el curso de grado en Ingeniería Civil, en el Programa de Ingeniería Civil, del Instituto Alberto Luiz Coimbra-COPPE, y en los Programas de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Urbana, de la Escuela Politécnica.

marcelomiguez@poli.ufrj.br

Aline Pires Veról

Professora Adjunta IV da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora do corpo permanente do Programa de Pós Graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU/UFRJ). Jovem Cientista do Nosso Estado - FAPERJ desde 2021 (Edital 2020). Representante, pela FAU/UFRJ, da Cátedra UNESCO de Drenagem Urbana em Regiões de Planícies Costeiras. Doutora em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ (2013), mestre em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos e Saneamento, pela COPPE/UFRJ (2010). Possui graduação em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2006).

Índice de Expansão Urbana: Ferramenta para Gestão e Prevenção de Inundações

Urban Expansion Index: A Tool for Flood Management and Prevention

Índice de Expansión Urbana: Herramienta para la Gestión y Prevención de Inundaciones

Adjunct Professor IV at the Faculty of Architecture and Urbanism of the Federal University of Rio de Janeiro. Professor of the permanent faculty of the Postgraduate Program in Architecture (PROARQ-FAU/UFRJ). Young Scientist of Our State - FAPERJ since 2021 (2020 Call). Representative, for FAU/UFRJ, of the UNESCO Chair on Urban Drainage in Regions of Coastal Lowlands. PhD in Civil Engineering from COPPE/UFRJ (2013), Master in Civil Engineering, specializing in Water Resources and Sanitation, from COPPE/UFRJ (2010). Holds a degree in Civil Engineering from the Polytechnic School of the Federal University of Rio de Janeiro (2006).

Profesora Adjunta IV en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Federal de Rio de Janeiro. Profesora del cuerpo permanente del Programa de Posgrado en Arquitectura (PROARQ-FAU/UFRJ). Joven Científica de Nuestro Estado - FAPERJ desde 2021 (Edición 2020). Representante, por la FAU/UFRJ, de la Cátedra UNESCO de Drenaje Urbano en Regiones Costeras. Doctora en Ingeniería Civil por COPPE/UFRJ (2013), máster en Ingeniería Civil, en el área de Recursos Hídricos y Saneamiento, por COPPE/UFRJ (2010). Posee una licenciatura en Ingeniería Civil por la Escuela Politécnica de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (2006).

alineverol@fau.ufrj.br

Resumo

O processo de urbanização tende a degradar o ambiente, ameaçando o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a preservação de espaços livres na cidade é fundamental. Esses espaços formam um sistema e acumulam múltiplas funções sociais e ecológicas fundamentais para as cidades. As inundações estão fortemente associadas à insuficiência de espaços livres na cidade. Além disso, problemas na drenagem urbana afetam outros sistemas na urbanos, o que aponta para a drenagem como um elemento estruturante no processo de planejamento territorial, tornando crucial a preservação de espaços livres. O objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar um índice para avaliar a expansão urbana, dentro de um determinado período, em uma área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, estudando os seus possíveis impactos no agravamento das inundações urbanas. O método deste trabalho envolveu a criação e aplicação do Índice de Expansão Urbana (IEU), que tem como objetivo avaliar o crescimento da cidade dentro de um intervalo de tempo. O IEU é composto por dois indicadores: o Indicador de Crescimento Populacional e o Indicador de Expansão Espacial Urbana. Enquanto o primeiro avalia o aumento da exposição do sistema socioeconômico, o segundo avalia a diminuição dos espaços livres urbanos. O resultado do IEU também é sobreposto ao mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e de áreas com baixo atendimento por esgotamento sanitário. Como estudo de caso para aplicação do índice, foi escolhida a Bacia Hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu (RJ), por ser uma área marcada por vulnerabilidade social e ambiental. Como resultado, são gerados mapas com os resultados dos indicadores e do índice, bem como a sobreposição do resultado do índice com o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e de áreas com baixo atendimento por esgotamento sanitário. A análise dos resultados permite a identificação de áreas que sofreram maior crescimento urbano, dentro do intervalo de tempo analisado, e a sua comparação com os outros indicadores revelam possíveis fragilidades, ambientais e sociais, nestas áreas. Este índice pode ajudar a identificar áreas prioritárias para intervenções no contexto de um planejamento urbano orientado pela drenagem, pois fornece uma perspectiva sobre a tendência de intensificação dos impactos da urbanização. Além disso, espera-se que este método seja replicável a outras localidades e combinado a outros critérios para apoiar o processo de tomada de decisão.

Palavras-chave: Sistema de Espaços Livres. Expansão Urbana. Vulnerabilidade Ambiental. Drenagem Urbana. Índice de Expansão Urbana.

Abstract

The process of urbanization tends to degrade the environment, threatening sustainable development. In this context, the preservation of open spaces in the city is fundamental. These spaces form a system and accumulate multiple essential social and ecological functions for cities. Flooding is strongly associated with the lack of open spaces in the city. Moreover, problems in urban drainage affect other urban systems, highlighting drainage as a structural element in the territorial planning process, making the preservation of open spaces crucial. The aim of this work is to develop and apply an index to evaluate urban expansion within a specific period in an area of the Rio de Janeiro Metropolitan Region, studying its potential impacts on the worsening of urban floods. The method involved creating and applying the Urban Expansion Index (UEI), aiming to assess the city's growth within a time interval. The UEI consists of two indicators: the Population Growth Indicator and the Urban Spatial Expansion Indicator. While the former evaluates the increase in exposure of the socio-economic system, the latter evaluates the decrease in urban

open spaces. The result of the UEI is also overlaid with mapping of flood-prone areas and areas with low sanitation coverage. The Piraquê-Cabuçu Watershed (RJ) was chosen as a case study for applying the index, due to its marked social and environmental vulnerability. As a result, maps are generated with the indicators' and index's outcomes, as well as the overlay of the index's result with the mapping of flood-prone areas and areas with low sanitation coverage. Analysis of the results allows the identification of areas that experienced greater urban growth within the analyzed period, and their comparison with other indicators reveals possible environmental and social weaknesses in these areas. This index can help identify priority areas for interventions within the context of drainage-oriented urban planning, as it provides insight into the trend of intensifying impacts of urbanization. Additionally, it is expected that this method can be replicated in other locations and combined with other criteria to support the decision-making process.

Keywords: Open Space System. Urban Expansion. Environmental Vulnerability. Urban Drainage. Urban Expansion Index.

Resumen

El proceso de urbanización tiende a degradar el medio ambiente, amenazando el desarrollo sostenible. En este contexto, la preservación de espacios libres en la ciudad es fundamental. Estos espacios forman un sistema y acumulan múltiples funciones sociales y ecológicas esenciales para las ciudades. Las inundaciones están fuertemente asociadas con la insuficiencia de espacios libres en la ciudad. Además, los problemas en el drenaje urbano afectan otros sistemas urbanos, lo que resalta el drenaje como un elemento estructurante en el proceso de planificación territorial, haciendo crucial la preservación de espacios libres. El objetivo de este trabajo es desarrollar y aplicar un índice para evaluar la expansión urbana, dentro de un período determinado, en un área de la Región Metropolitana de Río de Janeiro, estudiando sus posibles impactos en el empeoramiento de las inundaciones urbanas. El método de este trabajo involucró la creación y aplicación del Índice de Expansión Urbana (IEU), que tiene como objetivo evaluar el crecimiento de la ciudad dentro de un intervalo de tiempo. El IEU está compuesto por dos indicadores: el Indicador de Crecimiento Poblacional y el Indicador de Expansión Espacial Urbana. Mientras que el primero evalúa el aumento de la exposición del sistema socioeconómico, el segundo evalúa la disminución de los espacios libres urbanos. El resultado del IEU también se superpone al mapeo de áreas susceptibles a inundaciones y áreas con bajos servicios de saneamiento. Como estudio de caso para la aplicación del índice, se eligió la Cuenca Hidrográfica del Río Piraquê-Cabuçu (RJ), debido a ser un área marcada por vulnerabilidad social y ambiental. Como resultado, se generan mapas con los resultados de los indicadores y del índice, así como la superposición del resultado del índice con el mapeo de áreas susceptibles a inundaciones y áreas con bajos servicios de saneamiento. El análisis de los resultados permite identificar áreas que experimentaron un mayor crecimiento urbano dentro del período analizado, y su comparación con otros indicadores revela posibles debilidades, tanto ambientales como sociales, en estas áreas. Este índice puede ayudar a identificar áreas prioritarias para intervenciones en el contexto de una planificación urbana orientada al drenaje, ya que proporciona una perspectiva sobre la tendencia de intensificación de los impactos de la urbanización. Además, se espera que este método sea replicable en otras localidades y se combine con otros criterios para apoyar el proceso de toma de decisiones.

Palabras clave: Sistema de Espacios Libres. Expansión Urbana. Vulnerabilidad Ambiental. Drenaje Urbano. Indicador de Expansión Urbana.

Introdução

O crescimento populacional está geralmente associado a grandes taxas de migração de áreas rurais para áreas urbanas, sendo, portanto, um dos principais motores da expansão urbana (Paiva et al., 2020). Com o aumento da população e da urbanização, o padrão de uso do solo e a paisagem são severamente alterados, o que desencadeia uma série de questões sociais e ambientais, que ameaçam o desenvolvimento socioeconômico sustentável (Al Jarrah et al., 2019). A urbanização e as mudanças demográficas resultantes deste processo geram uma maior demanda de recursos naturais, o que pode acelerar o processo de degradação ambiental, gerar perdas ecossistêmicas ou levar a carências por parte da população, a exemplo da escassez hídrica ou da insegurança alimentar (Abu Hatab et al., 2019; Lourenço et al., 2020b). Além disso, o aumento populacional gera uma maior exposição a esses problemas, agravando, conseqüentemente, o risco de desastres.

Nesse contexto, a preservação de espaços livres na cidade é fundamental. Para o trabalho, foi adotada a definição proposta por Magnoli (2006), que entende os espaços livres urbanos como aqueles não ocupados por um volume edificado. Esses espaços formam um tecido que permeia todo o meio urbano, apresentando relações de conectividade, mesmo que esta, eventualmente, não seja proposital, no planejamento da cidade. Dessa forma, os espaços livres de uma cidade podem ser analisados como fragmentos de um todo, mas em termos de gestão, é necessário reconhecê-los como um sistema (Queiroga; Benfatti, 2007).

Toda cidade apresenta um sistema de espaços livres, que se mostra fundamental para o desempenho da vida cotidiana e para a construção da paisagem urbana, além de participar da constituição da vida pública e privada, por reunir uma série de atividades (Queiroga, 2012). Nota-se que, uma vez que as paisagens têm como característica a mutabilidade, os espaços livres também acompanham esse processo e podem ser catalisadores de projetos de revitalização urbana.

Os espaços livres exercem diversas funções, portanto é essencial que uma cidade não apenas conte com esses espaços em quantidade, mas também garanta a sua qualidade (Senik; Osman Uzun, 2022). Dentre suas funções sociais, podem ser mencionados recreação, prática de exercícios físicos e interação social, o que melhora a saúde física e psicológica da população (De Bell et al., 2017). Já entre as funções ambientais estão a conectividade, a manutenção da biodiversidade, o aumento da permeabilidade do solo, a redução da poluição do ar e a amenização da temperatura (Mangopa Malik, 2018).

As inundações estão fortemente associadas à insuficiência de espaços livres na cidade. Além disso, problemas na drenagem urbana afetam outros sistemas na cidade, o que aponta para a drenagem urbana como um elemento estruturante no processo de planejamento territorial (Lourenço et al., 2020a). Nesse contexto, os espaços livres são fundamentais para garantir espaço para armazenamento e infiltração de águas pluviais enquanto ainda podem manter paralelamente outros benefícios ecológicos e sociais.

Áreas urbanas já consolidadas, muitas vezes, carecem desses espaços, o que prejudica o escoamento da água e limita a perspectiva de reverter essa situação, visto que não há espaço disponível para criar medidas de armazenamento e infiltração de água (De Oliveira et al., 2022). Áreas em processo de expansão urbana, por outro lado, apresentam maior disponibilidade de espaços livres, o que representa um potencial de intervenção. Entretanto, elas também apresentam grande tendência de diminuição desses espaços, caso não haja um planejamento adequado. Dessa forma, é crucial

considerar o fator temporal na análise de áreas de expansão de modo a priorizar intervenções em locais que apresentam maior taxa de crescimento.

A urbanização ocorre de forma única em cada cidade; portanto, a expansão do tecido urbano pode adquirir diferentes configurações (Verma; Garg, 2022). Ao mesmo tempo em que pode se manifestar no adensamento de uma área, por meio da verticalização, ela também pode se dar de forma espraiada, com uma ocupação de baixa densidade em grandes áreas (Guan et al., 2020). Enquanto uma cidade muito densa e compacta pode acumular problemas como formação de ilhas de calor, carência de espaços livres e falta de higiene, uma ocupação espraiada também não é desejada. A expansão horizontal aumenta o movimento pendular, dificulta o acesso à infraestrutura e aos serviços públicos, aumenta o consumo de energia e danifica ecossistemas locais, além de intensificar as cheias urbanas (Aurambout; Barranco; Lavalle, 2018; Nithila Devi; Sridharan; Kuiry, 2019).

Atualmente, observa-se, no município do Rio de Janeiro, uma taxa de crescimento populacional menor que a de expansão urbana, o que representa o espraiamento (indesejável) da mancha urbana. Esse padrão de ocupação aumenta o déficit de infraestrutura e dificulta a qualificação do território, podendo também atingir áreas de fragilidade ambiental, como acontece com a ocupação da Zona Oeste (PEDUI/RMRJ, 2018). Adicionalmente, persiste um significativo déficit de habitações de qualidade: em 2019, o IBGE (2020) estimou que 19,28% dos domicílios do município do Rio de Janeiro estão localizados em aglomerados subnormais.

Neste trabalho, assume-se como premissa que a tendência de crescimento de uma cidade deve ser levada em consideração no processo de priorização de áreas de intervenção urbana focadas na drenagem urbana. Uma área em processo de expansão apresenta um grande potencial de intervenção, devido à sua grande disponibilidade de espaços livres, enquanto também apresenta também uma forte tendência a reproduzir a mesma situação encontrada em áreas de ocupação consolidada, tomadas como referência, caso não haja um planejamento urbano adequado.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar um índice para avaliar a expansão urbana, dentro de um determinado período, em uma área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, estudando os seus possíveis impactos no agravamento das inundações urbanas.

Metodologia

O método deste trabalho envolveu a criação e aplicação do Índice de Expansão Urbana (IEU), que tem como objetivo avaliar o crescimento da cidade dentro de um intervalo de tempo. A análise dos resultados do índice é capaz de oferecer um panorama de como o crescimento de determinada área ocorre espacialmente, sendo possível avaliar quais partes do território estão mais sujeitas a expansão.

No contexto das inundações, o Índice de Expansão Urbana é capaz de avaliar a perspectiva de piora do problema ao longo do tempo, caso medidas não sejam tomadas considerando o crescimento da população e da área urbana construída. Ou seja, são avaliadas, conjuntamente, a tendência de crescimento da exposição do sistema socioeconômico e a redução de oportunidades de atuação, com a diminuição dos espaços livres.

O IEU é composto por dois indicadores: o Indicador de Crescimento Populacional e o Indicador de Expansão Espacial Urbana. Enquanto o primeiro avalia o aumento do número de habitantes, o segundo avalia o crescimento da área construída. Nesta

aplicação, optou-se por atribuir o mesmo peso a ambos os indicadores; entretanto, em trabalhos futuros, é possível que sejam atribuídos pesos diferentes para cada indicador, conforme a necessidade e o desejo dos agentes e tomadores de decisão envolvidos. Portanto, o foco deste trabalho é a proposta metodológica, ficando a definição de pesos para uma discussão específica futura. O cálculo do IEU considera o somatório ponderado entre os seus indicadores, como representado pela Equação 1. O seu resultado corresponde a um número que varia entre 0 e 1, sendo que um valor mais alto corresponde a uma maior expansão urbana.

$$IEU = p_{CP} \times I_{CP} + p_{EEU} \times I_{EEU} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

IEU : Índice de Expansão Urbana

p_{CP} : Peso atribuído ao indicador de Crescimento Populacional

I_{CP} : Indicador de Crescimento Populacional, normalizado entre 0 e 1

p_{EEU} : Peso atribuído ao indicador de Expansão Espacial Urbana

I_{EEU} : Indicador de Expansão Espacial Urbana, normalizado entre 0 e 1

Obs. $p_{CP} + p_{EEU} = 1$

Além da aplicação dos indicadores no índice, estes também foram comparados entre si. Dessa forma, foi possível analisar quais porções do território obtiveram um maior crescimento populacional em relação à expansão espacial e quais obtiveram maior expansão espacial em relação ao crescimento populacional, e assim identificar diferentes padrões de expansão urbana ao longo do território. Em uma área com grande crescimento populacional e baixa expansão espacial, é possível que tenha ocorrido um processo de verticalização, enquanto um crescimento de área construída superior ao crescimento populacional pode representar um fenômeno de espraiamento urbano, com maior consumo de território e recursos, muito provavelmente em um movimento não sustentável. Para a comparação, foi considerada a diferença entre o resultado do Indicador de Crescimento Populacional e o Indicador de Expansão Espacial Urbana. Dessa forma, valores positivos representam um crescimento populacional superior ao espacial, enquanto valores negativos representam um crescimento espacial superior ao populacional.

A aplicação desta ferramenta requer uma compartimentação do espaço em sub-unidades. É essencial, portanto, que ambos os indicadores sejam distribuídos sobre a subdivisão territorial adotada, com o auxílio de uma ferramenta GIS, para processamento desta espacialização. Para esta aplicação, foi adotada a grade estatística do IBGE, com células de 200x200 m².

Além da adequação às unidades territoriais definidas, os indicadores também foram normalizados para que atendessem a uma mesma escala, de forma a poderem ser combinados no índice. Para a normalização de ambos os indicadores, o limite máximo considerado corresponde ao maior valor encontrado, que assume o valor de 1. Foram também estabelecidos intervalos onde o primeiro, segundo e terceiro quartis assumem os valores de 0,25, 0,50 e 0,75, respectivamente, em uma normalização linear. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de normalização dos indicadores.

TABELA 1 - Parâmetros de normalização dos indicadores do IEU

Fonte: Elaborado pelos autores.

Valor	Indicador normalizado
1° quartil	0,25
2° quartil	0,50
3° quartil	0,75
Valor máximo (4° quartil)	1

Indicador de Crescimento Populacional

Para calcular o Indicador de Crescimento Populacional, devem ser comparados pelo menos dois marcos temporais distintos, obtendo-se, assim, a taxa de crescimento dentro do intervalo de tempo analisado. É desejável que os dados de população de ambos os anos estejam dispostos em uma mesma divisão territorial, mas, caso não estejam, deve ser feita uma interseção entre ambas as grades para compatibilizar o resultado para uma das datas (a mais atual).

Para essa aplicação, foi adotado, como fonte de informação os dois censos mais recentes do IBGE (2000, 2010). Como o censo de 2000 não está disponibilizado na grade estatística, foi necessário fazer uma interseção entre os setores censitários e as quadriculas para padronizar a escala espacial adotada, sendo possível comparar a população de ambos os anos em cada quadricula.

Deve ser calculado o aumento populacional de cada célula, por meio da diferença entre a população de ambos os anos analisados. Como não é de interesse avaliar a diminuição da população ou manutenção da população, foram consideradas somente as células onde houve crescimento. O valor correspondente ao aumento do número de habitantes dentro do intervalo analisado foi normalizado, seguindo os parâmetros da Tabela 1, adequando-se a uma escala que varia entre 0 e 1.

Indicador de Expansão Espacial Urbana

Considerando que áreas em expansão urbana tendem a reduzir a disponibilidade de espaços livres com o passar do tempo, esse indicador avalia o crescimento da área construída em cada unidade territorial avaliada, gerando perda de oportunidades neste sentido e, portanto, alertando para a priorização destes locais, em termos de intervenção. Para calculá-lo, devem ser comparadas informações de pelo menos dois marcos temporais distintos, assim como no Indicador de Crescimento Populacional.

Para esse indicador, podem ser utilizados diferentes critérios, como a área impermeável ou a área construída. Em ambos os casos, o indicador é capaz de quantificar a expansão urbana, mas com análises um pouco distintas.

Caso se deseje avaliar a área impermeável, podem ser comparados dois mapas de uso do solo, por exemplo. Nesse caso, qualquer área impermeável, independentemente de ser um espaço livre ou não, é considerada, podendo incluir construções, ruas, calçadas, praças impermeabilizadas, entre outros. Ao utilizar essa métrica, não se está distinguindo os espaços livres, mas se está atribuindo qualidade à avaliação do espaço (permeável).

Também é possível considerar somente o aumento da área ocupada por edificações. Nesse caso, a informação trazida pelo indicador é a perspectiva de diminuição de espaços livres, entendendo que os espaços livres são locais com potencial de intervenções urbanas para infiltração e armazenamento de água. Nesse caso, não há distinção entre áreas permeáveis, como espaços verdes, ou áreas impermeáveis,

como ruas e calçadas ou áreas de estacionamento. Sendo assim, atribui-se uma expectativa de aproveitamento de qualquer espaço livre, entendendo que, mesmo áreas impermeáveis, desde que livres, são preferíveis às construídas, em relação a uma potencial intervenção, sendo mais fáceis de reverter e recuperar do que áreas efetivamente edificadas.

Para essa aplicação, foi escolhido, como critério de análise, somente o crescimento do espaço construído, ou seja, ocupado por edificações. Dados referentes à área edificada do Rio de Janeiro podem ser obtidos no website Data Rio (DATA RIO, 2023). Nesse caso, faz-se necessária a sobreposição com a grade utilizada como referência de compartimentação territorial para a quantificação da porcentagem de crescimento de cada célula.

O Indicador de Expansão Urbana, portanto, é calculado a partir da porcentagem de crescimento de área construída em cada célula, e a sua normalização foi feita com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.

Nota-se que, no contexto dessa análise, os espaços construídos são entendidos como aqueles ocupados por um volume edificado. Por consequência, toda a área não edificada é considerada como espaço livre, independente do seu uso ou cobertura do solo. Espaços livres, portanto, podem reunir ruas, praças, corpos d'água, áreas verdes, entre outros. Dessa forma, a ênfase deste trabalho é avaliar a variação na disponibilidade de espaços livres, e não a qualidade desses espaços.

Análise e Comparação com outros Indicadores

Com o intuito de associar o crescimento urbano às vulnerabilidades presentes no local, esse resultado foi sobreposto ao mapeamento de dois outros indicadores, sendo um relacionado à fragilidade ambiental e, o outro, à social.

Para avaliar a vulnerabilidade ambiental, foi escolhido o Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI) (Miranda, 2016), que usa informações referentes à impermeabilização, à declividade e à proximidade dos corpos hídricos para avaliar a predisposição do terreno a sofrer inundações. Ao cruzar o resultado do indicador de diminuição de espaços livres com o ISMFI, é possível observar, dentre as áreas com maior crescimento, quais estão localizadas em locais mais sensíveis às cheias urbanas. O valor do ISMFI pode variar de 0 a 1, sendo que 1 representa uma maior susceptibilidade, e foram destacadas as áreas com pontuação superior a 0,6, ou seja, áreas com suscetibilidade alta ou muito alta a inundações.

Já para a avaliação da vulnerabilidade social foi escolhido o indicador de atendimento pela rede de esgotamento sanitário, do IBGE. Foram destacados os setores censitários com taxa de atendimento inferior a 40%. O cruzamento desse indicador com o Índice de Expansão Urbana permite a identificação de áreas que tiveram um crescimento desacompanhado de infraestrutura urbana e serviços. No contexto das inundações, uma maior fragilidade social pode representar perdas mais graves para a população afetada.

Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu

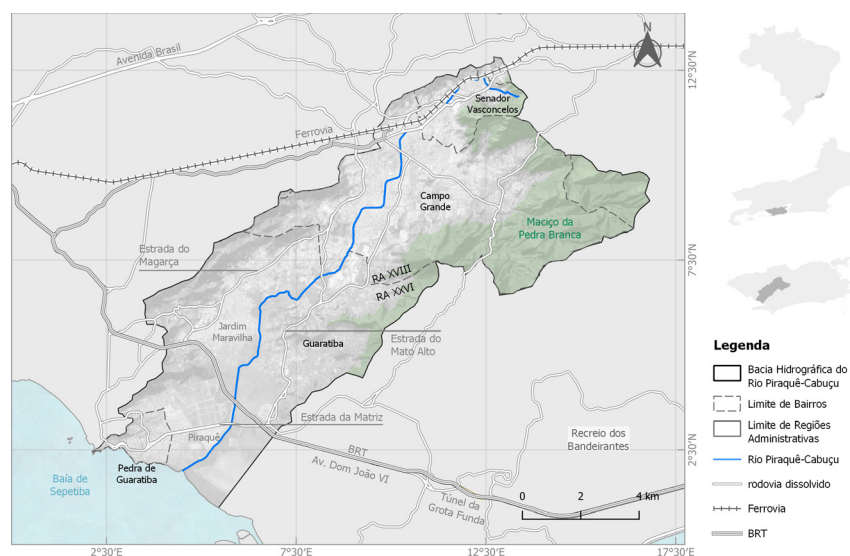
A Bacia Hidrográfica do Rio Piraquê Cabuçu [1], na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro foi escolhida como estudo de caso. Trata-se de uma planície costeira marcada pela fragilidade ambiental devido às suas cotas absolutas, ao seu tipo de solo e às suas superfícies alagáveis. O Rio Piraquê-Cabuçu nasce na Serra do Limeirão, no Parque Estadual da Pedra Branca, apresentando uma área de drenagem de 108km² e um talvegue de 12 km (PDMAP, [s.d.]). A bacia está inserida na Região Hidrográfica II, correspondente ao Rio Guandu, e drena para a Baía de Sepetiba. Ela está inserida na Área de Planejamento 5 e abrange, principalmente, parte das Regiões Administrativas XVIII (Campo Grande) e XXVI (Guaratiba). Dentre os bairros englobados pelo recorte destacam-se Campo Grande e Senador Vasconcelos - inseridos na RA XVIII - além de Guaratiba e Pedra de Guaratiba - inseridos na RA XXVI. A Figura X apresenta sua localização e delimitação, assim como a rede hidrográfica e os limites de bairros e de regiões administrativas.

Até o século XX, a Zona Oeste da cidade manteve-se pouco habitada, com o predomínio da atividade agrícola e a presença de indústrias, passando por um aumento populacional considerável a partir da década de 1970 (Barros, 2020). Os principais eixos de expansão para a região se deram, ao norte, pelo eixo ferroviário, e, ao sul, pelo litoral. O segundo, mais recente, foi estimulado pela abertura do Túnel Vice-Presidente da República José Alencar, conhecido como Túnel da Grota Funda, e pela implantação do BRT TransOeste, ambos em 2012, facilitando o acesso a Guaratiba e a seus bairros adjacentes.

Atualmente, a região mais a montante na bacia hidrográfica, representada por Campo Grande e Senador Vasconcelos, apresenta uma ocupação consolidada com maior densidade demográfica – 2759 e 4750 hab/km², respectivamente, segundo o IBGE (2010). Já a área a jusante apresenta uma ocupação menos densa, com exceção de Pedra de Guaratiba. Enquanto Pedra de Guaratiba se assemelha a Campo Grande, com 2609 hab/km², Guaratiba chega apenas a 789 hab/km². Apesar de a densidade ser maior na porção norte da bacia hidrográfica, o bairro que apresenta maior crescimento populacional é Guaratiba, que chegou a 26% de aumento entre 2000 e 2010 (IBGE, 2000, 2010), enquanto Campo Grande cresceu apenas 10,3%.

FIGURA 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu (RJ).

Fonte: Elaborado pelos autores.



A bacia é uma região marcada pela fragilidade ambiental, o que coloca em risco a qualidade de vida dos seus habitantes (Morgado, 2020). Dentre os problemas ambientais identificados, destacam-se a poluição das suas águas e as inundações. Além do desmatamento das encostas da Serra de Cantagalo, diversos canais na área encontram-se assoreados, devido ao despejo de resíduos provenientes das ocupações irregulares, o que reduz a qualidade da água e aumenta o volume de escoamento (PDMAP, [s.d.]).

Resultados

A Figura 2 apresenta o resultado dos indicadores de Crescimento Populacional (a), Expansão Espacial Urbana (b) e a comparação entre ambos (c). Os mapas com o resultado dos indicadores representam em cores mais escuras as quadrículas com maior crescimento (populacional ou espacial), enquanto o mapa de comparação de indicadores representa em roxo as quadrículas com crescimento populacional significativamente superior à expansão espacial e em laranja as quadrículas com expansão espacial superior à populacional, enquanto em cinza estão representadas as quadrículas com valores semelhantes para ambos os indicadores.

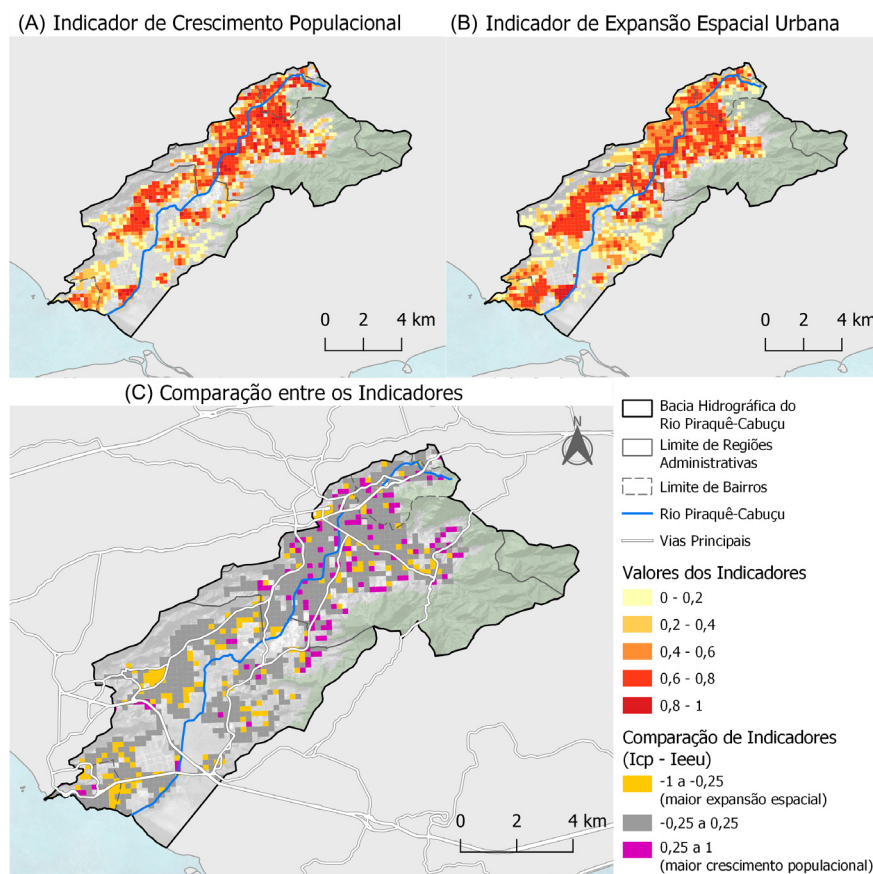


FIGURA 2 - (a) Indicador de Crescimento Populacional, (b) Indicador de Expansão Espacial Urbana e (c) Comparação entre os Indicadores.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se que houve crescimento, tanto populacional quanto espacial, em ambas as Regiões Administrativas. Enquanto a população de Guaratiba cresceu dentro das comunidades existentes, que se adensaram e se expandiram, as populações de Campo Grande e de Senador Vasconcelos cresceram de forma mais uniforme pelo território, visto que quase toda a área desses bairros, com exceção das áreas de Maciço, já é ocupada pela urbanização.

Em relação ao Indicador de Crescimento Populacional [2a], percebe-se que houve um forte crescimento em toda a área de Campo Grande e Senador Vasconcelos (com exceção do maciço), com destaque para as áreas próximas à encosta do Maciço da Pedra Branca e para a porção sul de Campo Grande, representando uma expansão em direção a Guaratiba. Nesses bairros foi observado o fenômeno da verticalização em algumas quadriculas que obtiveram a pontuação mais alta, mas ainda sem atingir gabaritos muito altos. Em Guaratiba, as pontuações foram menores, o que indica que é possível que o aumento populacional tenha se dado de forma mais horizontal, com a expansão das ocupações urbanas existentes em vez da verticalização. No bairro, destacam-se as regiões que se destacam são o Jardim Maravilha e a comunidade do Piraquê, que tiveram forte aumento populacional, enquanto outras se mantiveram desocupadas. Na Pedra de Guaratiba, houve crescimento populacional próximo à orla, porém não tão expressivo quanto o observado nos outros locais da bacia.

Já no Indicador de Expansão Espacial Urbana [2b], a sobreposição de dados de 2000 e 2013 relativos ao espaço construído evidenciou o surgimento de diversas novas edificações dentro desse intervalo de tempo. Nota-se que esse indicador, diferente do Indicador de Crescimento Populacional, analisa somente o aumento da área construída projetada. Dessa forma, não é considerado o fenômeno da verticalização, sendo esse avaliado somente no Indicador de Crescimento Populacional. Nesse sentido, ressalta-se que o objetivo do Indicador de Expansão Urbana é analisar as alterações na relação entre espaço construído e espaço livre. Observa-se que, ainda que o espaço construído da Região Administrativa de Campo Grande tenha crescido, as pontuações para esse indicador nesta área são inferiores aos obtidos no Indicador de Crescimento Populacional. Por outro lado, as áreas urbanizadas de Guaratiba tiveram uma variação maior na área construída, apresentando valores mais altos no resultado do indicador, com destaque para o Jardim Maravilha, o Piraquê e a área periférica da Pedra de Guaratiba, que cresce em direção a Guaratiba. Essa diferença também está expressa na Figura 2c, que mostra que as quadriculas que obtiveram maior crescimento populacional concentram-se ao norte, em Campo Grande e Senador Vasconcelos, enquanto as que obtiveram maior expansão.

A combinação dos indicadores de Crescimento Populacional e de Expansão Espacial Urbana, calculada por meio de um somatório ponderado, resulta no Índice de Expansão Urbana. Enquanto o Indicador de Crescimento Populacional busca avaliar a perspectiva de aumento da população exposta ao risco de inundações, o Indicador de Expansão Espacial Urbana traz um panorama do aumento da área construída da bacia, que aponta para uma possível redução das oportunidades de intervenção, representadas pelos Espaços Livres Urbanos. O resultado do Índice de Expansão Urbana, calculado a partir da combinação de ambos os indicadores, está expresso na Figura 3.

Dentre as 2922 quadriculas que constituem a bacia, 1435 não apresentaram nenhum tipo de crescimento, estando localizadas principalmente nas áreas de maciço e nas grandes áreas não urbanizadas de Guaratiba, atualmente ocupadas por fazendas. Dentre as demais quadriculas, 481 pontuaram até 0,2, 279 pontuaram entre 0,2 e 0,4, 291 pontuaram entre 0,4 e 0,6, 393 pontuaram entre 0,6 e 0,8 e 43 pontuaram acima de 0,8. A quadricula que obteve maior pontuação atingiu 0,89, e está localizada em Campo Grande.

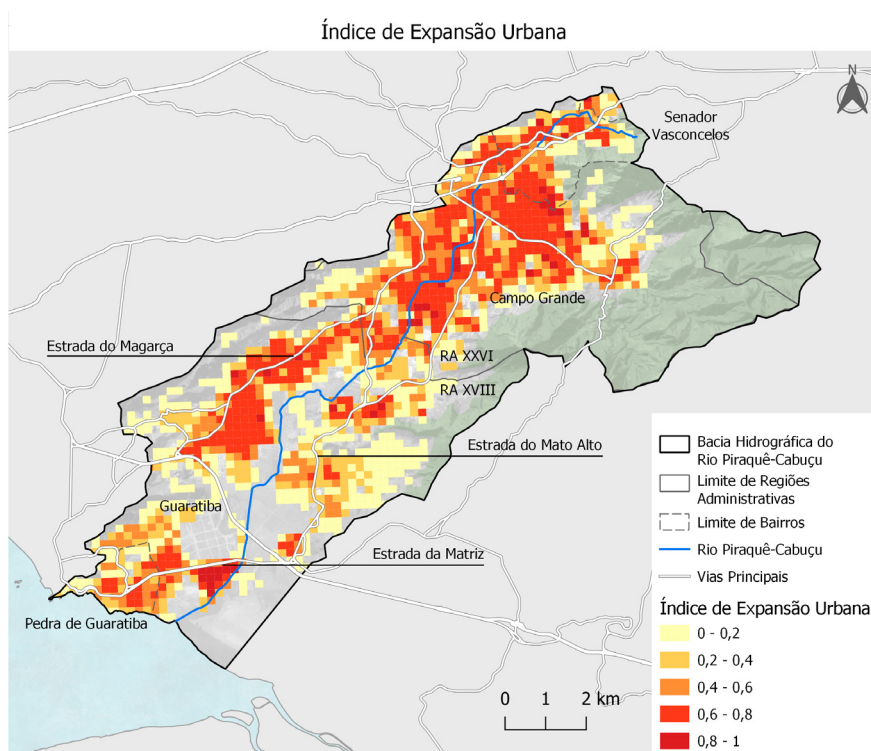


FIGURA 3 - Resultado do Índice de Expansão Urbana (IEU).

Fonte:elaboração própria

Na Região Administrativa XVIII, em Campo Grande e Senador Vasconcelos, foi observado intenso crescimento, com a maior parte das quadrículas pontuando entre 0,6 e 0,8. As quadrículas com maior nota, da Região Administrativa, foram as localizadas próximas às encostas, no limite entre os bairros, e ao sul de Campo Grande. A maior nota nesses trechos deve-se ao fato de estes terem apresentado uma maior expansão espacial, junto ao crescimento populacional.

Já na Região Administrativa XXVI, houve forte crescimento urbano ao longo da Estrada do Magarça, especialmente no Jardim Maravilha, onde as quadrículas obtiveram pontuação entre 0,6 e 0,8, e ao longo da Estrada da Matriz, com destaque para a comunidade do Piraquê, onde a maior parte das quadrículas pontuou acima de 0,8. Apesar de ter sido identificada expansão urbana ao longo da Estrada do Mato Alto, esse crescimento não foi tão significativo quanto o dos outros eixos mencionados. Na Pedra de Guaratiba, diversas quadrículas chegaram à faixa entre 0,6 e 0,8, visto que foi observado crescimento populacional na região mais central do bairro e forte expansão espacial na sua periferia, em direção a Guaratiba.

Percebe-se, portanto, que a bacia apresenta tendência de expansão urbana em diversas áreas. A aplicação do índice evidenciou a expansão de Campo Grande em direção às encostas, a Guaratiba, bem como a expansão das áreas urbanizadas em Guaratiba. Enquanto em Campo Grande foi observada a verticalização de algumas áreas de ocupação mais densa, onde foi observado um crescimento populacional maior que a expansão espacial, as áreas de encosta e Guaratiba apresentaram um aumento mais significativo de área construída, o que pode representar uma ameaça aos espaços livres, hoje abundantes na região.

Nota-se, portanto, que os locais mais consolidados da bacia, como as áreas mais centrais dos bairros, apesar de apresentarem expansão espacial, não cresceram de forma tão significativa quanto as áreas periféricas. A montante, observa-se uma expansão em direção às encostas, que ainda apresentam uma densidade demográfica baixa, enquanto em Guaratiba, verifica-se uma expansão horizontal em direção aos espaços livres, aumentando a mancha urbana e a chance de aumento de exposição dessa população, além da redução das áreas livres, o que pode limitar propostas para a mitigação de inundações.

Índice de Expansão Urbana: Ferramenta para Gestão e Prevenção de Inundações

Urban Expansion Index: A Tool for Flood Management and Prevention

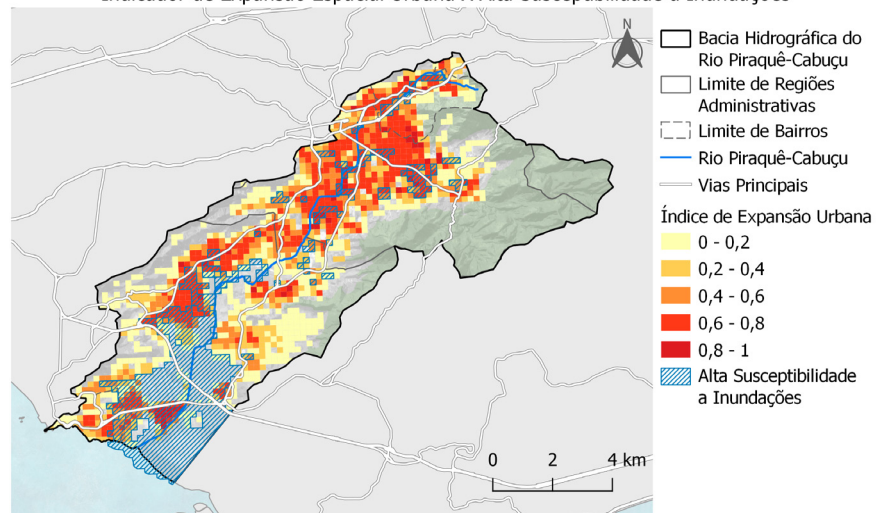
Índice de Expansión Urbana: Herramienta para la Gestión y Prevención de Inundaciones

A Figura 4 apresenta a sobreposição das áreas destacadas anteriormente com os trechos onde o ISMFI obteve pontuação superior a 0,6 (alta ou muito alta). Percebe-se que, dentre as áreas com maior propensão à expansão urbana, as mais suscetíveis a inundações são o Jardim Maravilha e o Piraquê, ambas no bairro de Guaratiba, localizadas mais a jusante e apresentando cotas e declividade mais baixas. Já a área a montante, que abrange Campo Grande e Senador Vasconcelos, apresenta uma susceptibilidade a inundações mais baixa, mas que ainda assim atinge valores altos em trechos próximos a corpos hídricos.

Indicador de Expansão Espacial Urbana X Alta Susceptibilidade a Inundações

FIGURA 4 - Sobreposição do resultado do Índice de Expansão Urbana com o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de Miranda (2016)

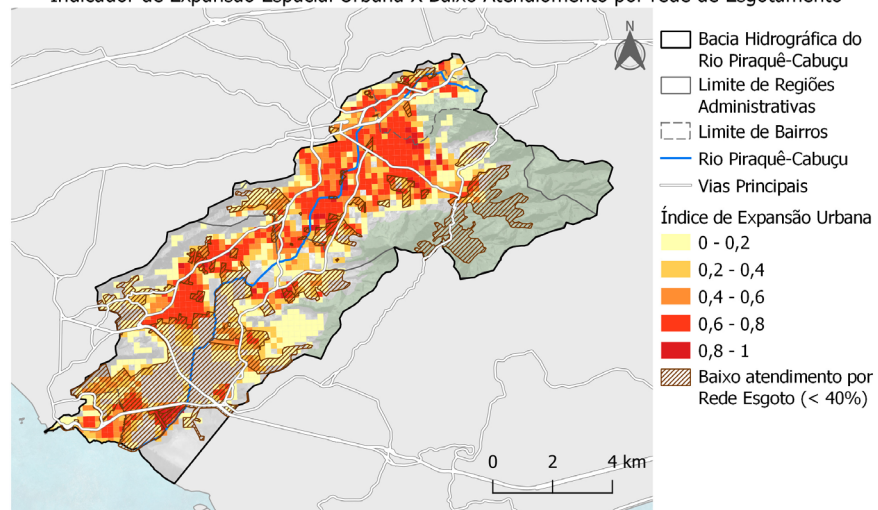


A Figura 5 apresenta o resultado do Índice de Expansão Urbana na bacia sobreposto aos setores censitários com atendimento por rede de esgotamento sanitário inferior a 40%. Nota-se que a região de Campo Grande, que apresenta melhores indicadores sociais, tem baixo atendimento por rede de esgotamento, principalmente em áreas mais próximas às encostas e ao sul de Campo Grande. Já em Guaratiba, uma porção maior do território apresenta baixo atendimento por rede de esgotamento sanitário, com destaque para a comunidade do Piraquê, além de alguns trechos ao longo das estradas do Mato Alto e do Magarça. Portanto, há diversos trechos com baixo atendimento por rede de esgotamento sanitário que sofreram forte expansão urbana, evidenciando que a infraestrutura urbana não atende, no mesmo ritmo, a demanda gerada pelo crescimento urbano na bacia.

Indicador de Expansão Espacial Urbana X Baixo Atendimento por rede de Esgotamento

FIGURA 5 - Sobreposição das áreas de interesse com o mapeamento das áreas com baixo atendimento por rede de esgotamento sanitário.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de IBGE (2010)



Discussão

O resultado do Índice de Expansão Urbana na Bacia Hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu mostrou maior crescimento urbano tanto nas áreas mais próximas à encosta quanto nas áreas mais a jusante, evidenciando tanto o crescimento de Campo Grande e a sua centralidade no município como a expansão em Guaratiba, um bairro de menor densidade populacional mas que apresentou forte crescimento nas últimas décadas.

O cruzamento do resultado do índice com o mapeamento das áreas altamente suscetíveis a inundações mostrou que, dentre as quatro áreas com maior crescimento, as localizadas mais a jusante na bacia apresentam maior susceptibilidade a inundações. Dessa forma, por mais que algumas áreas a montante também apresentem altas taxas de expansão urbana, os pontos mais críticos, sob o ponto de vista de drenagem urbana, são as áreas a jusante. Essas áreas apresentam grande susceptibilidade a inundações, portanto, diante de fortes precipitações, a gravidade das inundações geradas é maior.

A sobreposição do índice com as áreas com baixo atendimento por esgotamento sanitário mostrou que as áreas que se encontram em expansão carecem de infraestrutura urbana e saneamento adequado, principalmente em Guaratiba e nas áreas próximas a encostas.

Dessa forma, o cruzamento do índice com ambos os indicadores analisados mostra que a região de Guaratiba, com destaque para o Jardim Maravilha e para a Comunidade do Piraquê, apresenta uma grande taxa de expansão urbana, combinada a uma grande susceptibilidade a inundações e a um baixo atendimento por infraestrutura urbana, o que representa uma fragilidade social. Isso indica que, além dos eventos de inundação apresentarem grande gravidade pela conformação física do terreno, a população exposta ao risco apresenta uma baixa capacidade de recuperação. Já os grandes níveis de expansão urbana apontam para uma forte tendência de agravamento da situação, visto que o crescimento urbano leva a um aumento da população exposta e a consequente diminuição de espaços livres indica um aumento da impermeabilização do solo enquanto, paralelamente, consome espaços livres que poderiam ser utilizados em composições multifuncionais para o amortecimento de vazões de cheia.

Como limitação da pesquisa, foi observado que o Indicador de Crescimento Populacional, por referir-se aos censos de 2000 e 2010, está defasado. Além disso, o fato de o censo de 2000 estar disposto apenas nos setores censitários, levando à necessidade de interseção com a grade estatística, pode ter levado à imprecisão de resultados. A fonte de dados para o Indicador de Expansão Espacial Urbana também se encontra defasada, com os dados mais recentes referentes a 2013.

Considerações Finais

Neste trabalho foi elaborado um índice para avaliar a tendência de expansão urbana de uma bacia hidrográfica, considerando crescimento populacional e de espaço construído, como forma de identificar possíveis locais prioritários para intervenções, com foco na drenagem urbana. Esse índice foi aplicado à Bacia Hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu, indicando uma grande expansão em diferentes trechos da região. O índice traz uma perspectiva de quais são as áreas que cresceram mais, podendo ainda apontar para as tendências de crescimento urbano na bacia. A sua análise combinada com outros indicadores traz a possibilidade de investigar quais dessas

áreas encontram-se mais vulneráveis, tanto ambientalmente quanto socialmente. O indicador mostrou-se eficiente em avaliar a tendência de crescimento em diferentes pontos da bacia, enquanto as demais análises permitiram um entendimento mais aprofundado das condições de expansão de cada local e as possíveis consequências geradas por possíveis eventos de inundações. Como limitação, destaca-se a defasagem de dados de ambos os indicadores que compõem o índice. Como etapa futura, esse indicador será incorporado a um índice multicritério com objetivo de definir áreas prioritárias para intervenções urbanas com foco na drenagem urbana.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001], pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, códigos E-26/201.404/2021 e E-26/202.417/2022 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 303862/2020-3). Os autores agradecem, ainda, a Cátedra UNESCO “Drenagem Urbana em Regiões Costeiras”, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, à qual esta pesquisa está vinculada.

Referências

Abu Hatab, Assem; CAVINATO, Maria Eduarda Rigo; LINDEMER, August; LAGERKVIST, Carl Johan. Urban sprawl, food security and agricultural systems in developing countries: A systematic review of the literature. **Cities**, [S. l.], v. 94, 2019. DOI: 10.1016/j.cities.2019.06.001.

AL JARAH, Sivan Hisham; ZHOU, Bo; ABDULLAH, Rebaz Jalil; LU, Yawen; YU, Wenting. Urbanization and urban sprawl issues in city structure: A case of the Sulaymaniah Iraqi Kurdistan region. **Sustainability** (Switzerland), [S. l.], v. 11, n. 2, 2019. DOI: 10.3390/su11020485.

AURAMBOU, Jean Philippe; BARRANCO, Ricardo; LAVALLE, Carlo. Towards a simpler characterization of urban sprawl across urban areas in europe. **Land**, [S. l.], v. 7, n. 1, 2018. DOI: 10.3390/LAND7010033.

BARROS, Fabrizio da Costa. **Análise das dinâmicas socioambientais da bacia hidrográfica do rio Piraquê-Cabuçu, Zona Oeste do município do Rio de Janeiro**. 2020. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, [S. l.], 2020.

DATA RIO. 2023. Disponível em: <https://www.data.rio/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

DE BELL, Siân; GRAHAM, Hilary; JARVIS, Stuart; WHITE, Piran. The importance of nature in mediating social and psychological benefits associated with visits to freshwater blue space. **Landscape and Urban Planning**, [S. l.], v. 167, 2017. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.06.003.

DE OLIVEIRA, Antonio Krishnamurti Beleño et al. Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience. **Infrastructures**, [S. l.], v. 7, n. 11, 2022. DOI: 10.3390/infrastructures7110153.

GUAN, Dongjie; HE, Xiujuan; HE, Chunyang; CHENG, Lidian; QU, Sijia. Does the urban sprawl matter in Yangtze River Economic Belt, China? An integrated analysis with urban sprawl index and one scenario analysis model. **Cities**, [S. l.], v. 99, 2020. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102611.

IBGE. **Censo IBGE 2000**, 2000.

IBGE. **Censo IBGE 2010**, 2010.

IBGE. **Aglomerados Subnormais 2019**: Classificação preliminar e informações de saúde para o enfrentamento à COVID-19 Rio de Janeiro, 2020.

LOURENÇO, Ianic Bigate; BELEÑO DE OLIVEIRA, Antonio Krishnamurti; MARQUES, Luisa Santana; QUINTANILHA BARROSA, Amanda Andrade; VERÓL, Aline Pires; MAGALHÃES, Paulo Canedo; MIGUEZ, Marcelo Gomes. A framework to support flood prevention and mitigation in the landscape and urban planning process regarding water dynamics. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 277, 2020. a. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122983.

LOURENÇO, Ianic Bigate; GUIMARÃES, Luciana Fernandes; ALVES, Marina Barroso; MIGUEZ, Marcelo Gomes. Land as a sustainable resource in city planning: The use of open spaces and drainage systems to structure environmental and urban needs. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 276, 2020. b. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123096.

MAGNOLI, Miranda Martinelli. Espaço livre - objeto de trabalho. **Paisagem e Ambiente**, [S. l.], n. 21, 2006. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i21p175-197.

MANGOPA Malik, Andy Anton. The Role of Stakeholders Related to the Management of Ecological Function of Urban Green Open Space. Case Study: City of Depok, Indonesia. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2018, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1088/1755-1315/99/1/012001.

MIRANDA, Francis M. **Índice de susceptibilidade do meio físico a inundações como ferramenta para o planejamento urbano**. 2016. COPPE-UFRJ, [S. l.], 2016.

MORGADO, Vânia Nunes. A PRODUÇÃO DO ESPAÇO DE GUARATIBA, RIO DE JANEIRO (RJ), NA PASSAGEM PARA O SÉCULO XXI, E AS REPERCUSSÕES NA VIDA COTIDIANA DE SEUS HABITANTES. **GeoPUC**, [S. l.], v. 13, n. 25, p. 223-242, 2020.

NITHILA Devi, N.; SRIDHARAN, B.; KUIRY, Soumendra Nath. Impact of urban sprawl on future flooding in Chennai city, India. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 574, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.041.

PAIVA, Ana Carolina da Encarnação; NASCIMENTO, Nathália; RODRIGUEZ, Daniel Andres; TOMASELLA, Javier; CARRIELLO, Felix; REZENDE, Fernanda Silva. Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 720, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137509.

PDMAP. **Relatório Síntese**. Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, [s.d.].

PEDUI/RMRJ. **Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro Consórcio Quanta-Lerner, 2018.

QUEIROGA, Eugênio Fernandes. Sistemas de espaços livres e esfera pública em metrópoles brasileiras. Resgate: **Revista Interdisciplinar de Cultura**, [S. l.], v. 19, n. 1, 2012. DOI: 10.20396/resgate.v19i21.8645703.

QUEIROGA, Eugênio Fernandes; Benfatti, Denio Munia. Sistemas de espaços livre urbanos: construindo um referencial teórico. **Paisagem e Ambiente**, [S. l.], n. 24, 2007. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i24p81-87.

SENIK, Berfin; OSMAN Uzun, . **A process approach to the open green space system planning**. [S. l.], v. 18, p. 203-219, 2022. DOI: 10.1007/s11355-021-00492-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11355-021-00492-5>.

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (ISSN 2675-0392) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 23/04/2024

Aprovado em 11/07/2024