

REQUALIFICAÇÃO ESPACIAL DA BACIA DO RIO MUMBUCA (RJ) COM FOCO NA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES POR MEIO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

MIDÃO, Julia de Oliveira¹(julia.midao@fau.ufrj.br); GOMES, Maria Vitória Ribeiro¹ (maria.gomes@fau.ufrj.br); GUIMARÃES, Luciana Fernandes^{1,2} (luciana.guimaraes@eng.uerj.br); MATTOS, Rodrigo Rinaldi de¹ (rodrigo.rinaldi@fau.ufrj.br); MAGALHÃES, Paulo Canedo de¹ (canedo@hidro.ufrj.br); REZENDE, Osvaldo Moura¹ (omrezende@poli.ufrj.br); MIGUEZ, Marcelo Gomes¹; VERÓL, Aline Pires¹ (alineverol@fau.ufrj.br)

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

²Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil

Palavras-chave: Soluções baseadas na Natureza; mitigação de cheias urbanas; Bacia Hidrográfica do Rio Mumbuca

Resumo

O processo de urbanização fragiliza o ambiente, tanto natural quanto construído, e o expõe a diversos riscos. Um deles é o de inundações, frequentemente observadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mumbuca, em Maricá, no Rio de Janeiro, Brasil. Perante esse cenário, torna-se urgente repensar a relação das cidades com os corpos hídricos e a natureza, culminando na ideia de utilização das Soluções baseadas na Natureza (SbN) para o manejo das águas urbanas. Dessa forma, o trabalho busca propor uma requalificação espacial na área da bacia, com foco na mitigação de inundações, conjugada com a promoção de áreas de lazer e equipamentos públicos para a comunidade que habita a região. Complementarmente, fez-se uma análise bibliométrica acerca do conceito de SbN e um diagnóstico do estudo de caso, finalizando com a identificação de áreas disponíveis para intervenções. Os resultados evidenciaram as potencialidades urbanísticas e ambientais das SbN, assim como possíveis aplicações no território.

1 INTRODUÇÃO

Quando o desenvolvimento urbano ocorre de modo desassociado dos sistemas naturais, o resultado é uma série de riscos para o meio ambiente e a população. Mudanças no padrão de uso do solo e outras pressões relacionadas ao crescimento populacional impactam, por exemplo, no ciclo hidrológico, agravando enchentes e colocando bens e pessoas em risco (Battemarco et al., 2021). De acordo com o World Institute Resources (2015), o Brasil é o 11º país no mundo com a maior quantidade de pessoas que se espera serem impactadas pelas cheias dos rios por ano.

É nesse contexto que surgem as Soluções baseadas na Natureza (SbN) como intervenções urbanísticas e arquitetônicas baseadas em processos naturais e ecossistemas para resolver diferentes tipos de desafios sociais e ambientais (Ruangpan et al., 2020). Elas podem contribuir para o aumento da resiliência urbana a eventos extremos, ao mesmo tempo em que

podem fornecer outros serviços ecossistêmicos. As SbN podem reduzir os riscos para as pessoas e propriedades de forma tão eficaz quanto as infraestruturas de drenagem tradicionais, mas potencialmente oferecendo muitos benefícios adicionais, relacionados ao habitat natural para a vida selvagem, à qualidade da água e do ar, e às condições socioculturais da comunidade (Dong et al., 2017).

A partir disso, é importante compreender como as SbNs podem ser aplicadas na prática. Elas aparecem desde a escala do desenho de projeto até iniciativas mais abrangentes, como o Movimento Rio Água, que atua em uma bacia hidrográfica no Paraná, promovendo ações para conservar, restaurar e gerir de forma sustentável os ecossistemas naturais e modificados (FGBPN, 2022). Outro exemplo é o Programa Fortaleza Cidade Sustentável, que tem por objetivo promover a integração dos ambientes natural e construído na capital cearense, por meio de investimentos em infraestrutura urbana e ambiental, e fortalecer a capacidade de gestão municipal (Fortaleza, 2016). Dentre os casos citados, algumas características são comuns, como a preservação e a recuperação de corpos hídricos e suas margens. Além disso, eles propõem a criação de áreas de lazer multifuncionais, que podem contribuir para o controle das inundações e oferecer lazer e recreação para as pessoas. Por fim, essas referências projetuais também estimulam a reconexão da população com a natureza e promovem um aumento da qualidade de vida nas cidades.

2 OBJETIVOS

A partir do que foi exposto, o objetivo dessa pesquisa é propor a aplicação de Soluções baseadas na Natureza voltadas para a mitigação das inundações urbanas na Bacia Hidrográfica do Rio Mumbuca (Maricá), identificando, para isso, espaços livres com potencial para receberem essas tipologias. Adicionalmente, como etapa complementar a esta identificação, uma revisão bibliométrica acerca do conceito de SbN foi desenvolvida, de modo a elucidar os principais desafios e oportunidades vinculados à sua utilização em meio urbano. Posto isso, pretende-se identificar e avaliar os principais aspectos que devem ser considerados para a implantação de SbN, com foco na bacia hidrográfica selecionada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi dividida em 4 etapas. Primeiro, de modo a compreender a relação entre o conceito de SbN e as cheias urbanas, desenvolveu-se uma análise bibliométrica apoiada no software gratuito VOSviewer. Para esta etapa, utilizou-se a base de dados Scopus, da Elsevier. Na base, foram buscados simultaneamente os termos, em inglês, “nature based solutions” (soluções baseadas na natureza) e “floods” (inundações). Além disso, a partir da aplicação de filtros, foi possível limitar a busca por documentos publicados em inglês entre os anos de 2015 e 2022, e que se encaixassem em áreas temáticas específicas, como as ciências ambientais, sociais ou engenharias. A busca resultou em um total de 252 documentos, para os quais foram analisadas informações estatísticas. Em seguida, na segunda etapa, os dados quantitativos obtidos na base Scopus foram transformados em tabela e utilizados no software VOSviewer, para a construção da análise bibliométrica. O software é capaz de identificar correlações entre palavras-chaves, demonstrando conexões de maior ou menor força. Ressalta-se que, apesar dos resultados serem obtidos em inglês,

optou-se por realizar a tradução das palavras-chaves para o português, de modo a facilitar a compreensão global da nuvem de palavras. A partir dos resultados obtidos no software, identificou-se os principais aspectos — forças, fraquezas, oportunidades e ameaças — envolvidos no emprego das SbN para mitigar as inundações urbanas.

A terceira etapa consistiu no diagnóstico da bacia de estudo, a Bacia Hidrográfica do Rio Mumbuca, em Maricá, no Rio de Janeiro, para compreender suas vulnerabilidades e potencialidades, acompanhado da produção de mapas temáticos georreferenciados, tais como de hidrografia, densidade populacional, lâmina de alagamento, dentre outros. Para a produção dos mapas com as lâminas de alagamento, foi utilizado o Modelo de Células de Escoamento, ou MODCEL, uma ferramenta de simulação hidrodinâmica e hidrológica. Também foi realizada a consulta às normas e legislações urbanísticas pertinentes e que tangenciam a temática das SbN. Ao final, na quarta etapa, foi feita a identificação de espaços livres na bacia de estudo com possibilidade de receberem tipologias de SbN.

4 RESULTADOS

4.1 Análise bibliométrica: Soluções baseadas na Natureza e Inundações

A partir da análise de informações estatísticas fornecidas pela base Scopus, acerca das palavras-chaves pesquisadas, percebe-se um aumento significativo do número de publicações sobre os ao longo do tempo, atingindo 95 artigos publicados no ano de 2022. Além disso, Zoran Vojinović, vinculado ao Instituto Unesco para a Educação relativa à Água, aparece como o principal autor dos documentos encontrados, com um total de 8 artigos. Por fim, observou-se que a maioria dos autores são de países europeus, com destaque para o Reino Unido. O Brasil figura na vigésima segunda posição com apenas 4 artigos publicados dentre os 252 resultados da pesquisa, o que corresponde a menos de 2% do total. Com isso, evidencia-se a necessidade de aprofundamento deste tema em âmbito nacional.

Na sequência, o *software* VOSviewer foi utilizado para a construção de uma rede bibliométrica, conforme apresentado na Figura 1. A partir da obtenção das palavras-chave traduzidas mais recorrentes dentre os documentos encontrados na base Scopus, o VOSviewer analisa as correlações entre elas, criando uma rede, na qual o tamanho dos círculos e a espessura das linhas indicam a força de cada palavra-chave e das conexões entre elas, respectivamente. Cabe destacar que as palavras-chave foram traduzidas neste estudo para facilitar a compreensão global dos resultados. Pela Figura 1, observa-se que há 3 grupos principais de palavras-chave. Um deles, identificado na cor azul e que inclui o termo “cheias”, diz respeito aos aspectos físicos e hidrodinâmicos das inundações. O outro, de cor esverdeada, agrupa palavras-chave ligadas a aspectos ambientais e urbanísticos da paisagem, sendo este o grupo que inclui o termo “Soluções baseadas na Natureza”. Por último, em amarelo, são encontradas as palavras-chave mais relacionadas às questões de gestão e desenvolvimento sustentável. Além disso, destaca-se a presença do termo “mudanças climáticas” que se relaciona com a problemática abordada e cujos impactos a aplicação das SbN visa amenizar.

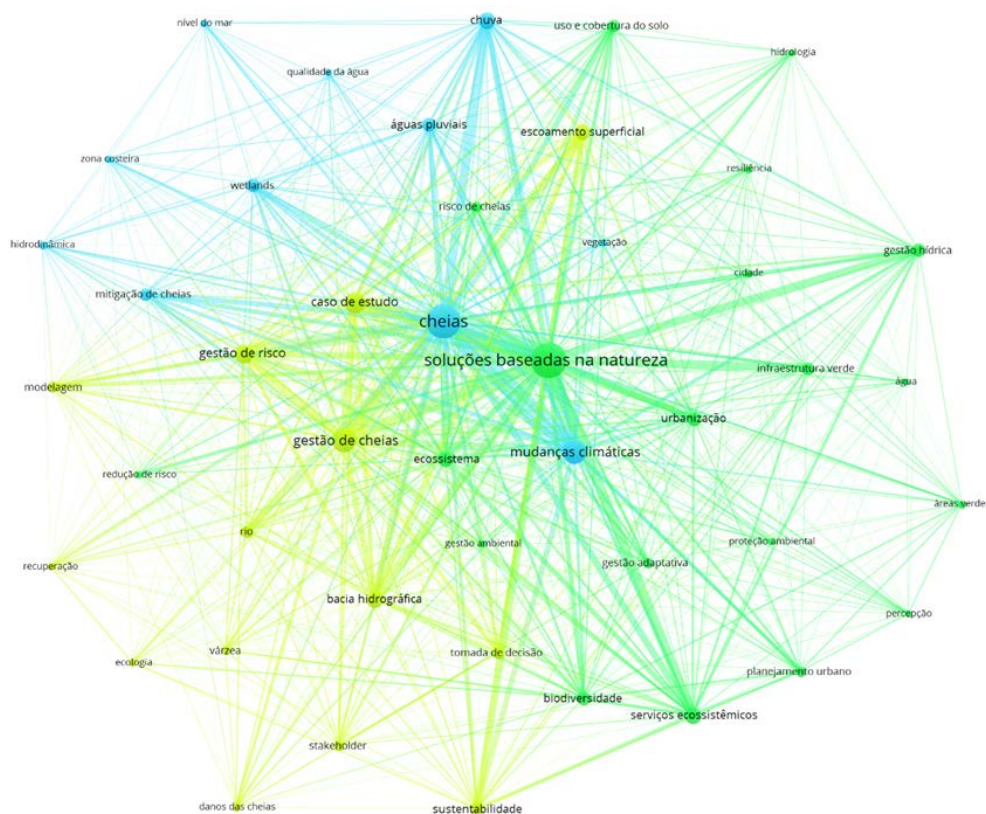


Figura 1. Rede bibliométrica criada a partir dos artigos selecionados na base Scopus. Fonte: Elaboração própria no *software* VOSviewer, 2023.

Com base nos termos mais recorrentes, é possível extrair fatores envolvidos na aplicação das SbN e classificá-los de acordo com o seu teor, procedimento também relevante para justificar a necessidade de implementação destas soluções ao longo do estudo de caso. Assim, foi feito um cruzamento dos fatores positivos e negativos com os fatores internos e externos, entendidos como condições presentes e futuras, respectivamente. Como fatores internos positivos, ou seja, as forças ligadas à implantação de SbN, pode-se mencionar a recuperação de rios e bacias hidrográficas; a melhoria da qualidade da água e do ambiente; o aproveitamento de espaços livres; e o aumento da biodiversidade. Enquanto isso, as principais fraquezas — características internas que trazem desvantagens associadas — são a falta de compreensão sobre os benefícios das SbN; a disputa pelo território em áreas urbanas consolidadas; e a falta de entendimento acerca dos custos (implantação e manutenção). Já os fatores externos podem oferecer benefícios ou causar problemas. Nesse sentido, as maiores oportunidades correspondem à redução dos impactos das mudanças climáticas; economias no planejamento urbano; valorização de áreas urbanas; e incentivo ao turismo. Por fim, o grupo das principais ameaças, fatores externos negativos, é composto pela dificuldade na obtenção de financiamento e parcerias; pela baixa sensação de segurança e pela gentrificação verde.

4.2 Diagnóstico do estudo de caso

Como estudo de caso, foi eleita uma bacia hidrográfica inserida na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, mais especificamente na cidade de Maricá. A Bacia do Rio Mumbuca tem uma área aproximada de 74km², distribuídos em 12 bairros. Esta região é central para Maricá, concentrando bairros muito populosos e de alto fluxo, por onde passam 2 rodovias estaduais, a RJ-106 e a RJ-114 (Figura 2). Seu principal curso d'água é o Rio Ubatiba, que no trecho mais a jusante, próximo do seu exutório no sistema lagunar do município, passa a ser denominado Rio Mumbuca.



Figura 2. Mapa da hidrografia principal da Bacia do Rio Mumbuca. Execução: Autoria nossa, 2023.
 Fonte: IBGE (Malha municipal - RJ, 2021); INEA (APPs, 2006); Google (Satélite, 2020).

A bacia sofre com graves problemas de drenagem urbana e com inundações frequentes, agravadas pela ação antrópica. Por meio de simulações no *software* MODCEL para um tempo de recorrência de 25 anos, é possível visualizar as lâminas de inundação esperadas e sua distribuição no território do recorte selecionado na Figura 3. Cabe destacar que, em determinados locais, as inundações atingem mais de 1m, afetando de forma significativa a região.

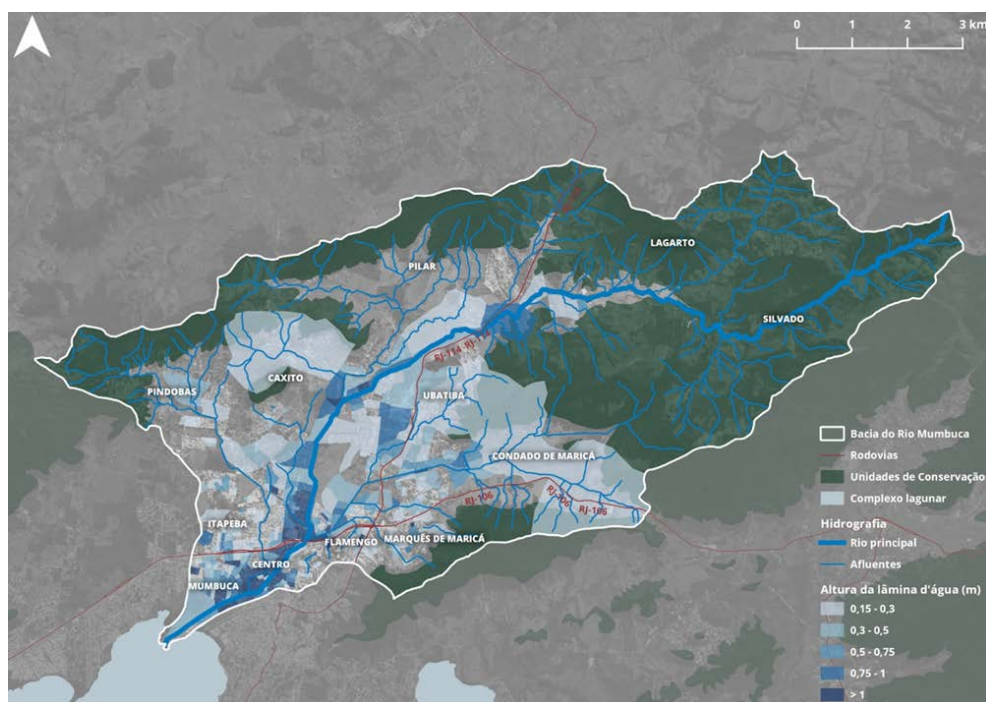


Figura 3. Mapa das manchas de inundação na Bacia do Rio Mumbuca. Execução: Autoria nossa, 2023. Fonte: PDMAP (Manchas de inundação, 2023); IBGE (Malha municipal - RJ, 2021); INEA (APPs, 2006); Google (Satélite, 2020).

As cheias urbanas afetam diretamente tanto a população quanto os sistemas que compõem a cidade, como de saneamento, habitação, economia e mobilidade (GOMES & VERÓL, 2020). Quanto ao sistema de saneamento, a sobrecarga causada pelas inundações resulta em vazamentos e contaminação. Já o setor da habitação enfrenta danos estruturais e perda de propriedades, desalojando muitas pessoas. Paralelamente, a economia local sofre com o fechamento de negócios, prejuízos a empresas e à infraestrutura, gerando custos de recuperação substanciais. Outro sistema impactado pelas inundações é o de mobilidade urbana, conforme apresentado na Figura 4.

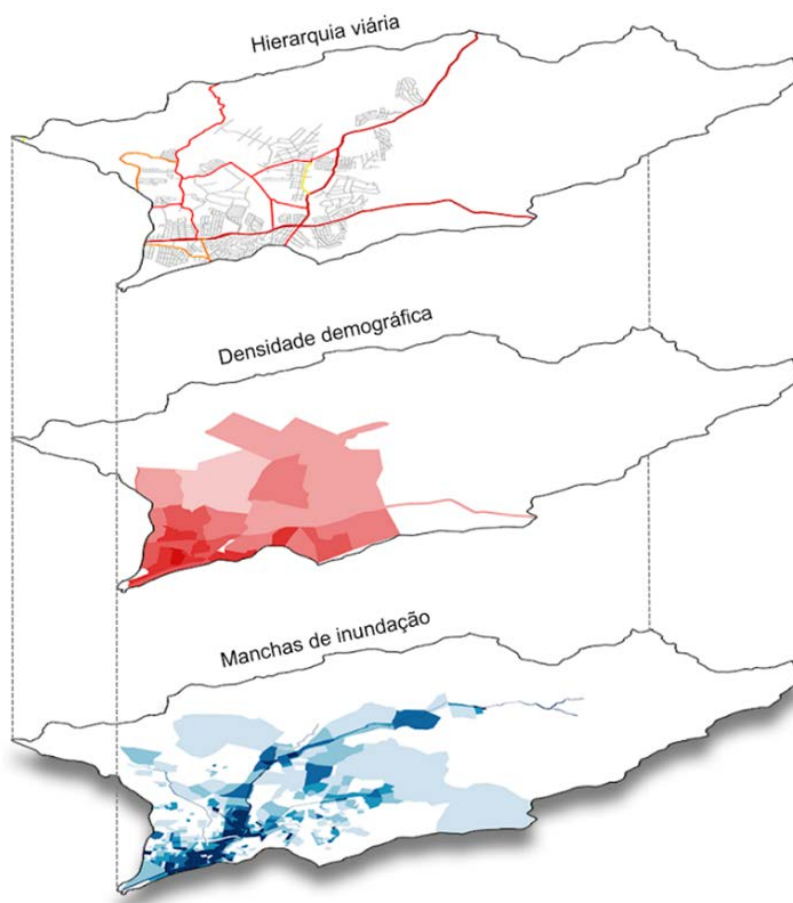


Figura 4. Perspectiva explodida com sobreposição de dados sobre a Bacia do Rio Mumbuca. Execução: Autoria nossa, 2023. Fonte: IBGE (Densidade demográfica); PDMAP (Manchas de inundação, 2023).

A partir da sobreposição de camadas, é possível notar que os locais com concentração de alturas de inundação mais graves são os mesmos onde há aglomeração populacional e onde estão situadas as vias principais do recorte de estudo. Nesse caso, as pessoas são afetadas por danos à propriedade, atraso em suas rotinas e ameaças à segurança pessoal. Além disso, as inundações prejudicam o funcionamento dos setores de transportes e vias, levando a congestionamentos e até mesmo ao colapso temporário da mobilidade urbana. Estradas inundadas podem dificultar a evacuação em casos de emergência, causar danos às infraestruturas viárias e aumentar os custos de manutenção. Na Figura 5, estão dispostas imagens comparativas que mostram 3 localidades nos bairros de Itapeba, Mumbuca e Ubatiba em 2 momentos diferentes: um antes e outro após algum evento de chuva intensa. Com base neste diagnóstico, entende-se que lidar com as inundações urbanas não apenas exige

medidas de mitigação para proteger as pessoas, mas também investimentos em infraestrutura resiliente para garantir a funcionalidade contínua dos sistemas urbanos.



Figura 5. Pontos da bacia registrados antes e depois de determinado evento de chuvas intensas.

Após a análise da situação atual, foi realizada uma consulta às legislações urbanísticas pertinentes à temática das SbN e das cheias urbanas. A Lei Federal nº 10257, de 2001, conhecida como Estatuto da Cidade, regula o uso da propriedade urbana em prol dos cidadãos e do equilíbrio ambiental. Algumas de suas diretrizes são a garantia do direito a cidades sustentáveis e a oferta de equipamentos urbanos e comunitários, transporte e serviços públicos adequados para as pessoas. Já a Lei Municipal nº 2368, de 2011, dispõe sobre a criação de Unidades de Conservação da Natureza, com os objetivos de proteger a vegetação da Mata Atlântica, proporcionar condições de monitoramento ambiental e garantir a manutenção de espécies. A Lei Federal nº 12.651, de 2012, conhecida como Código Florestal, estabelece regras para a proteção da vegetação no país e delimita as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Dentre elas, deve ser respeitada a Faixa Marginal de

Proteção (FMP) de qualquer curso d'água natural, bem como as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais.

4.3 Identificação de espaços livres potenciais para a aplicação de SbN

No que se refere à Bacia do Rio Mumbuca, 16,4% da área é ocupada por Unidades de Conservação Municipais e 26,3% correspondem a espaços livres, já desconsiderando lotes ociosos. O mapeamento dos espaços livres e equipamentos urbanos de lazer, ilustrado na Figura 6, foi dividido entre espaços existentes e potenciais (áreas não ocupadas que têm o potencial de receberem um projeto adequado e trazerem benefícios para a população e a natureza). Além disso, a Figura 6 também traz a delimitação da FMP, que segundo o Código Florestal, deve ter, no mínimo, 30m de largura para os rios existentes nesta bacia.

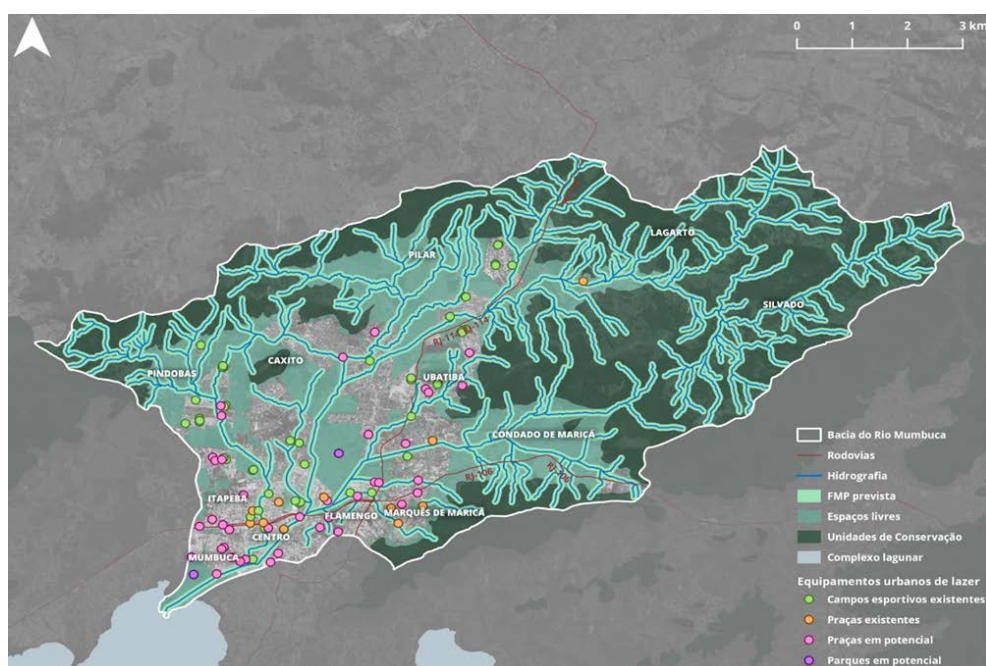


Figura 6. Mapa das áreas livres na Bacia do Rio Mumbuca. Execução: Autoria nossa, 2023. Fonte: Autoria nossa (Espaços livres, 2023); IBGE (Malha municipal - RJ, 2021); INEA (APPs, 2006); Google (Satélite, 2020).

Pode-se notar que parte dos espaços livres encontrados é composto por praças, quadras e campos esportivos atualmente, servindo como equipamentos de lazer, recreação, descanso e contemplação para a população residente e possíveis visitantes. No entanto, a maior parcela dos espaços mapeados corresponde a áreas urbanas não ocupadas, que podem ser descampadas ou mesmo cobertas por vegetação devido à falta de uso. Com um projeto adequado e integrado, tais locais poderiam contribuir para a mitigação das inundações, por meio da aplicação de SbN, ao mesmo tempo em que se tornariam praças, parques e campos

para a prática de esportes. A Figura 7 ilustra exemplos de espaços livres que já são equipamentos públicos de lazer e espaços com potencial para o mesmo fim, aliado com a mitigação de cheias.



Figura 7. Exemplos de espaços livres na Bacia do Rio Mumbuca. Fonte: Google (Street View, 2020).

5 CONCLUSÕES

A partir da análise bibliográfica realizada, foram identificados os principais aspectos envolvidos na aplicação das Soluções baseadas na Natureza em casos reais. Os resultados preliminares apontam que, apesar do crescimento urbano notável em Maricá, existem áreas livres que guardam o potencial de contribuir para o sistema de drenagem, bem como oferecerem um tratamento urbanístico para a cidade. Além disso, a revisão das leis vigentes para a área de estudo possibilitou entender a importância de preservar e monitorar as UCs, situadas a montante da bacia, como forma de garantir áreas permeáveis. Em trechos que foram modificados pelo processo de urbanização, é possível considerar o reflorestamento e replantio da vegetação ciliar como estratégia de SbN.

Quanto às áreas livres identificadas, nota-se a possibilidade de alternativas diferentes. Em áreas mais rurais, é vista a possibilidade de usar hortas urbanas, enquanto as praças localizadas a jusante da bacia hidrográfica, em áreas mais antropizadas, podem atuar como reservatórios de menor escala, como as bacias de retenção, para aliviar os sistemas de drenagem. Espaços livres amplos e que apresentam manchas de inundação significativas, podem também ser utilizados como reservatórios multifuncionais ou parques ecológicos. Já as bordas da lagoa podem incorporar técnicas de fitodepuração para melhorar a qualidade da água.

Por fim, destaca-se a oportunidade de uso das Soluções baseadas na Natureza no combate de múltiplos problemas urbanos. Dessa forma, é possível propor uma requalificação espacial, com foco na mitigação de inundações, conjugada com áreas de recreação e equipamentos públicos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Battermarco, B. P.; Tardin-Coelho, R.; Veról, A. P.; Souza, M. M.; Fontoura, C. V. T.; Figueiredo-Cunha, J.; Barbedo, J. M. R.; Miguez, M. G. (2022). Water dynamics and blue-green infrastructure (BGI): Towards risk

10

management and strategic spatial planning guidelines. *Journal of Cleaner Production*, v. 333, p. 129993, jan. 2022.

Brasil. (2001). Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

Dong, X.; Guo, H.; Zeng, S. (2017). Enhancing future resilience in urban drainage system: Green versus grey infrastructure. *Water Research*, v. 124, p. 280–289, nov. 2017.

FGBPN - Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza. (2022). Soluções baseadas na Natureza e seu papel na promoção da resiliência climática, segurança hídrica e geração de benefícios econômicos. Movimento Viva Água, Projeto ProAdapta.

Fortaleza, Prefeitura de. (2016). Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. Fortaleza Cidade Sustentável. Fortaleza.

Gomes, M. V. R.; Veról, A. P. (2020). Paisagens multifuncionais: o papel das infraestruturas verdes e azuis na recuperação de rios urbanos. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, Brasil.

Lourdes Filho, G. B. (2022). Cidades sem muros: a construção de uma estratégia democrática no contexto de Maricá. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.212, 2022.

Luo, T.; Maddocks, A.; Iceland, C.; Ward, P.; Winsemius, H. (2023). World's 15 Countries with the Most People Exposed to River Floods, 2015. Disponível em <<https://www.wri.org/insights/worlds-15-countries-most-people-exposed-river-floods>>.

Maricá. (2011). Lei nº 2.368, de 16 de maio de 2011. Dispõe sobre a criação de Unidades de Conservação Municipal nas serras de Maricá e seus limites.

Marques, T. H. N.; Rizzi, D.; Ferraz, V.; Herzog, C. P. (2021). Soluções baseadas na Natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru. *Revista LABVERDE*, v. 11, n. 1, p. 12–49, 14 dez. 2021.

Ruangpan, L.; Vojinovic, Z.; Di Sabatino, S.; Leo, L. S.; Capobianco, V.; Oen, A. M. P.; McClain, M. E.; Lopez-Gunn, E. (2020). Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 243–270, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-243-2020>.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, código E-26/201.404/2021, e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001; 88887.805756/2023-00]. Os autores agradecem, ainda, à Cátedra UNESCO “Drenagem Urbana em Regiões Costeiras”, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, à qual esta pesquisa está vinculada.