

Artigo

Avaliação do impacto de telhados verdes na gestão das águas pluviais na área urbana de Ji-Paraná, Rondônia

Assessing the impact of green roofs on stormwater management in the urban area of Ji-Paraná, Rondônia

Daniele Ferreira da Silva^{1*}, Tiago Liberalesso², Ana Lúcia Denardin da Rosa³, Calina Grazielli Dias Barros⁴, Alissandra Pessoa Almeida⁵

Citação: Silva, D. F. da; Liberalesso, T. Rosa, A. L. D. da; Barros, C. G. D.; Almeida, A. P. Avaliação do impacto de telhados verdes na gestão das águas pluviais na área urbana de Ji-Paraná, Rondônia. *RBCA* 2024, 13, 3. P.289-308.

- ¹ Universidade Federal de Rondônia/Departamento do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Ji-Paraná, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1095-0566> , silvadaniele361@gmail.com
- ² Universidade de Lisboa/Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1229-6411> , tiago.liberalesso@gmail.com
- ³ Universidade Federal de Rondônia/Departamento do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Ji-Paraná, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0470-5115> , analucia@unir.br
- ⁴ Universidade Federal de Rondônia/Departamento do curso de Física, Ji-Paraná, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7073-4710> , calina.grazielli@gmail.com
- ⁵ Universidade Federal de Roraima/Pró Reitoria de Infraestrutura, Boa Vista, Ji-Paraná, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6736-6734> , alissandrapessoa@tecnico.ulisboa.pt

* Correspondência: silvadaniele361@gmail.com

Editor de Seção: Dra. Karen Janones da Rocha

Recebido: 11/07/2024

Aceito: 20/08/2024

Publicado: 02/09/2024

Nota do editor: A RBCA permanece neutra em relação às reivindicações jurisdicionais em sites publicados e afilições institucionais.



Copyright: © 2024 pelos autores. Enviado para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Nature-based solutions, such as green roofs, seek to partially restore the infiltration capacity of urban soil and thus mitigate the negative effects of the traditional urbanization process, improving urban resilience and consequently allowing the adaptation of cities to climate change. In this sense, the study aimed to evaluate the impact of the installation of green roofs on stormwater management in the urban area of the municipality of Ji-Paraná - RO, Brazil, and to define priority areas for the installation of these systems. To this end, different intervention scenarios were modelled with different proportions of green roofs. To this end, different intervention scenarios were modelled with different proportions of green roofs. The scale of analysis was at the watershed level. The watersheds were characterized in terms of land use using QGIS software. The results indicate that the largest volumes of stormwater, potentially retained or stored in green roofs, are observed in the micro-watersheds Igarapé 2 de Abril (4) and Igarapé Nazaré (15) with volumes higher than 5,000,000 m³. The micro-watersheds of Igarapé Água Limpa (3), Igarapé 2 de Abril (4), Igarapé Água Cristalina (8), Igarapé Água Doce (9), Igarapé Pintado (10), Igarapé Riachuelo (11) and Igarapé Água Viva (12) were identified as the areas of priority intervention for the installation of green roofs, taking as a criterion the greatest risk of flooding. Furthermore, Igarapé Nazaré (15) was also considered a priority area for being a highly urbanized watershed and therefore contributing significantly to the stormwater runoff from areas located downstream of the city. Finally, the results obtained show the potential to reduce stormwater runoff by the installation of green roofs in Ji-Paraná, stormwater runoff reduction caused by the installation of green roofs in Ji-Paraná, as well as the contribution of nature-based solutions to increase urban resilience in the face of imminent climate change.

Keywords: Urbanization; Stormwater; Nature-based solutions; Flooding.

Resumo: Soluções baseadas na natureza, como telhados verdes, buscam restaurar parcialmente a capacidade de infiltração do solo urbano e assim mitigar os efeitos negativos do processo tradicional

de urbanização, melhorando a resiliência urbana e consequentemente permitindo a adaptação das cidades às mudanças climáticas. Nesse sentido, o estudo teve como objetivo avaliar o impacto da instalação de telhados verdes na gestão das águas pluviais na área urbana do município de Ji-Paraná – RO e definir áreas prioritárias para instalação desses sistemas. Para tanto, foram modelados diferentes cenários de intervenção com diferentes proporções de telhados verdes. A escala de análise deu-se ao nível das microbacias hidrográficas, tendo estas sido caracterizadas com o auxílio do Software QGIS quanto ao uso e ocupação do solo. Os resultados apontam que os maiores volumes de chuva potencialmente retida ou armazenada em telhados verdes ocorre nas microbacias Igarapé 2 de Abril (4) e Igarapé Nazaré (15) com valores superiores a 5.000.000 m³. As microbacias Igarapé Água Limpa (3), Igarapé 2 de Abril (4), Igarapé Água Cristalina (8), Igarapé Água Doce (9), Igarapé Pintado (10), Igarapé Riachuelo (11) e Igarapé Água Viva (12), foram identificadas como as áreas de intervenção prioritária para instalação de telhados verdes, tendo como critério o maior risco de alagamentos e inundações das mesmas. Além do mais, a microbacia Igarapé Nazaré (15) também foi considerada como prioritária por ser uma bacia altamente urbanizada e por consequência contribuir significativamente para o escoamento pluvial de áreas a jusante da cidade. Por fim, os resultados obtidos evidenciaram o potencial de redução do escoamento pluvial ocasionado pela instalação de telhados verdes em Ji-Paraná, bem como, a contribuição das soluções baseadas na natureza para aumentar a resiliência urbana frente a iminente alteração climática.

Palavras-chave: Urbanização; Escoamento pluvial; Soluções baseadas na natureza; Inundações.

1. Introdução

Em todo o mundo, o processo tradicional de urbanização, durante séculos, baseou-se na impermeabilização do solo, no afastamento das águas pluviais e na supressão da vegetação. Por consequência, os ecossistemas locais foram alterados pela abrupta modificação do equilíbrio existente entre os componentes bióticos e abióticos, comprometendo assim, o normal funcionamento das interrelações existentes. Esse processo de urbanização, tal como foi concebido, alterava a estrutura hidrológica pré-existente, devido a substituição das áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, como edifícios e pavimentos, construídos de modo a impermeabilizar o solo e a afastar as águas pluviais dos aglomerados urbanos (PINHEIRO; SANTOS; SOUSA, 2018; TODOROV; DRISCOLL; TODOROVA, 2018; WANG et al., 2021; SILVA; SILVA; PASTICH, 2022; SOUZA; BARROS; SOARES, 2023).

No Brasil, a partir da década de 1950, a modernização do sistema agrícola e a intensificação da industrialização das cidades, estimulou a migração da população do campo para as cidades na expectativa de melhores condições de subsistência. Por consequência, houve um crescimento significativo das áreas urbanas e logo, o aumento das áreas impermeabilizadas, a redução da infiltração de água no solo, e o aumento do escoamento superficial. Esses fatores, associados a falta de planejamento urbano, comprometeram a segurança e qualidade de vida da população residente devido aos problemas com enchentes, inundações e alagamentos ocasionados pelo acúmulo de grandes volumes de água em áreas da cidade com cotas altimétricas mais baixas (SANTOS et al., 2013; LIBERALESSO, 2018; MUSTAFA et al., 2018; FRANCO et al., 2019; TALEBI et al., 2019; YIN; KONG; DRONOVA, 2019). Além disso, a transformação do ambiente natural pelo processo de urbanização tradicional, trouxe também outros problemas ambientais frequentemente identificados nos centros urbanos, tais como, a perda de biodiversidade local e a intensificação de ilhas de calor provocadas pelo adensamento urbano (ALHO, 2012; ROMERO et al, 2019).

Nesse contexto, o processo de urbanização vem se modificando a partir da concepção de um novo paradigma, pelo qual a natureza pode ser integrada ao ambiente urbano, coexistindo com as demais atividades humanas (DACOL; TISCHER, 2020; OLIVEIRA; RODRIGUES; OLIVEIRA JR, 2021). As soluções baseadas na natureza (do inglês *Nature-based Solutions* - NBS), são uma das possibilidades de reintegração dos ambientes urbano e natural, permitindo a recuperação parcial de alguns serviços ecossistêmicos, e assim contribuindo para melhorar a resiliência urbana frente ao eminente processo de alteração

climática (XING; JONES; DONNISON, 2017; ATANASOVA et al., 2021; MARQUES et al., 2021; OSAKA; BELLAMY; CASTREE, 2021).

Os telhados verdes, também denominados como ecotelhados, coberturas vivas, telhados vivos ou coberturas ajardinadas, são uma tipologia de NBS que faz uso de plantas sobre telhados convencionais ou lajes (RIGHI et al., 2016; NETO et al., 2021). Os telhados verdes são classificados em três categorias, extensivos, semi-intensivos e intensivos (FLL, 2018), e diferem-se em relação a espessura da camada de substrato e, conseqüentemente, o tipo de vegetação capaz de se adaptar às condições restritivas de cada sistema (FLL, 2018; LIBERALESSO, 2018). Os telhados verdes trazem benefícios socioambientais que são percebidos quando instalados em larga escala. A exemplo da diminuição do efeito das ilhas de calor urbano, a diminuição do ruído, a melhoria na qualidade do ar e a retenção e armazenamento das águas pluviais, dentre outros (SILVA et al., 2019; BASTOS et al., 2020; BEZERRA et al., 2020; ALVES et al., 2021; MORAIS et al., 2021; NETO et al., 2021; OLIVEIRA; REZENDE; PIZZO, 2021; SOUSA et al., 2021; ZHANG et al., 2021).

Dessa forma, avaliar o impacto dos telhados verdes, como medida auxiliar no controle de alagamentos e inundações na cidade de Ji-Paraná, pode trazer importantes contributos para auxiliar gestores políticos na tomada de decisão por soluções alternativas, que estejam em linha com os objetivos do desenvolvimento sustentável propostos pelas Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2015). Além disso, permitirá ao município promover uma forma de recuperação ambiental através da restauração parcial de algumas funções do ciclo hidrológico, aumentando a resiliência urbana e assim melhorando a qualidade de vida da população residente frente às mudanças climáticas globais.

Nesse sentido, o estudo objetivou avaliar o impacto da instalação de telhados verdes na gestão das águas pluviais na área urbana no município de Ji-Paraná – RO através de diferentes cenários de intervenção, modelados e analisados para estimar o potencial dos telhados verdes como medida auxiliar e compensatória. Para tanto, foram definidas zonas de intervenção com base nas características hidrográficas do local, e caracterizadas quanto ao uso e ocupação do solo e na identificação de áreas com suscetibilidade a inundações.

2. Materiais e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na área urbana do município de Ji-Paraná, no estado de Rondônia - RO (Figura 1). Ji-Paraná é o segundo município mais populoso do estado, com uma população total estimada de 136.825 habitantes para o ano de 2022 (IBGE, 2022). O território municipal abrange uma área total de aproximadamente 6.922 km² (MIRANDA; GOMES; GUIMARÃES, 2005), sendo o 9º maior município de Rondônia, em extensão territorial (IBGE, 2011).

O crescimento urbano do município de Ji-Paraná deu-se no entorno de dois rios principais: o Rio Machado e o Rio Urupá. A área urbana é dividida em dois distritos, separados pelo Rio Machado, sendo a margem esquerda definida como o 1º distrito e a margem direita como o 2º distrito (DIAS et al., 2015; SIL, 2015). Devido a ocupação ribeirinha e as precipitações intensas que ocorrem anualmente no período de dezembro a março as inundações são eventos recorrentes (FRANCA, 2015; DIAS et al., 2015). A estação seca ocorre entre os meses de junho e agosto (FRANCA, 2015) e os demais meses são períodos de transição, chuva-seca (abril a junho) e seca-chuva (setembro a novembro).

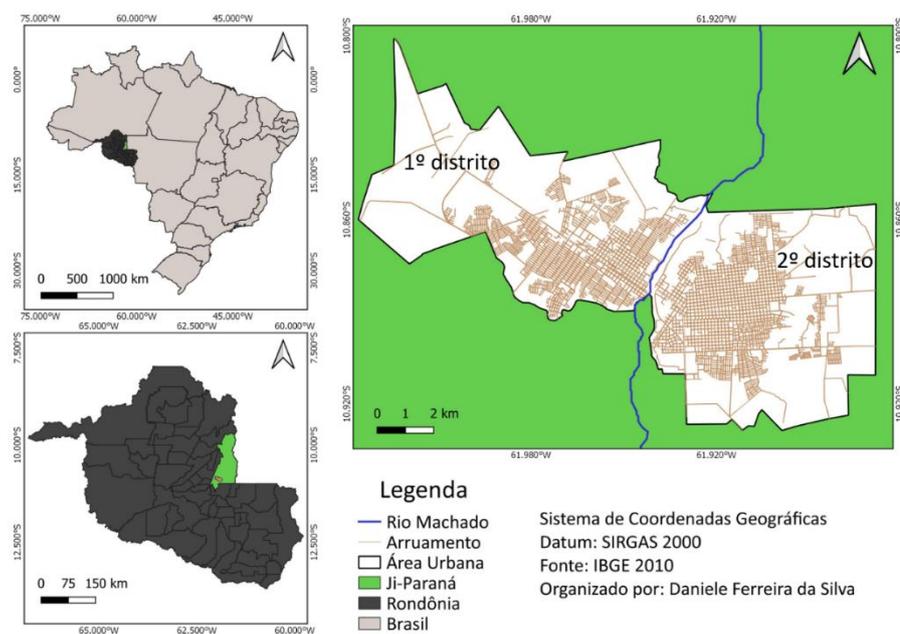


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo
Fonte: o autor, (2023).

O clima local é definido como Tropical de Monção (Am) de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger e adaptado por Alvares et al. (2013). A temperatura média anual gira em torno de 26 °C, com máximas observadas nos meses de agosto, setembro e outubro (Figura 2), e a precipitação média anual é de 1.591 mm (WEATHER SPARK; 2016).

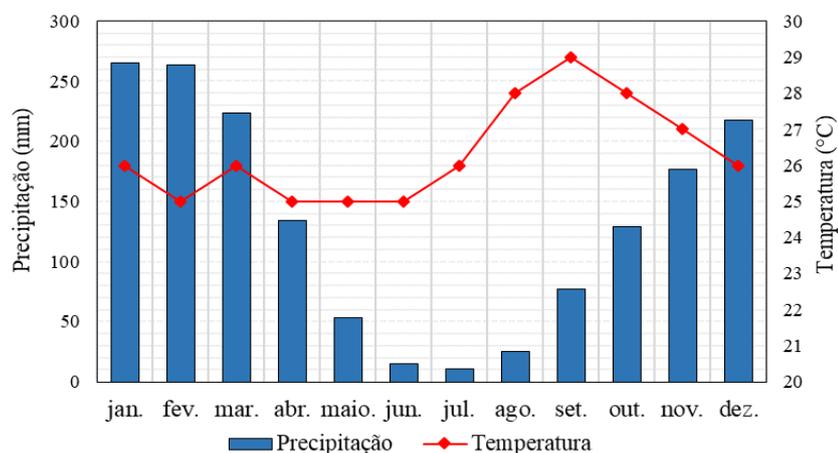


Figura 2. Precipitação e Temperatura mensal média em Ji-Paraná.
Fonte: adaptado de Wheather Spark, (2016).

Diagnóstico das áreas de intervenção

As áreas de intervenção foram definidas com base nas características hidrográficas locais, sendo divididas em quinze áreas, correspondentes as 15 microbacias hidrográficas urbanas identificadas por Carmo (2016). Os dados referentes a denominação das microbacias, foram obtidos através da Lei Municipal nº 1179/02 que dispõe sobre a denominação dos Igarapés existentes na área urbana do município (JI-PARANÁ, 2002; CARMO, 2016).

As microbacias foram caracterizadas quanto ao uso e ocupação do solo com o auxílio do *Software* QGIS. As áreas suscetíveis à inundação foram obtidas do estudo desenvolvido por Félix (2021), no qual identificou-se os setores censitários em risco muito alto e alto a

inundação, mediante análise de periculosidade a inundação por meio de sistemas de informações geográficas através de imagens de satélites.

A quantificação da proporção de espaços verdes, incluindo superfícies permeáveis não vegetadas em cada microbacia, foi realizada por meio de mapas de uso e ocupação do solo. Para tanto, foram utilizadas imagens do CBERS 4A MUX (Câmera Multiespectral), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022), com resolução espacial de 16 m, na qual utilizou-se as bandas 5 (azul), 6 (verde), 7 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo). Posteriormente, com o auxílio do software QGIS foi realizado a fusão das bandas criando uma RGB (Red, Green e Blue), para obter uma melhor resolução da área urbana, foi mesclado a RGB e a banda 8, criando uma *pansharpening*, com resolução espacial de 2 m.

Para a classificação foi utilizado a ferramenta *dzetsaka classification tool*, sendo criados cinco polígonos para o reconhecimento de cada classe previamente estipulada. Na Tabela 1 são apresentadas as classes de uso e ocupação do solo da área de estudo.

Tabela 1. Classes de uso e ocupação.

Classe	1	2	3	4	5
Ocupação	Área Construída	Rio, Lago e Represa	Área Verde	Vegetação Rasteira	Solo Exposto

Fonte: o autor, (2023).

A população residente, e conseqüentemente afetada, foi estimada para cada zona de intervenção (microbacia) através da manipulação dos dados de densidade demográfica dos bairros, obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), e posteriormente extrapolados para cada microbacia.

Análises e modelagem

Primeiramente, foi realizado uma ampla revisão de literatura nas plataformas *Scielo*, *Science Direct*, e demais *Websites* sobre a retenção e atraso das águas pluviais nos telhados verdes. As seguintes palavras-chave e diferentes combinações foram utilizadas para a identificação e seleção dos artigos analisados: “*green roof in stormwater management*”, “*green roof for rainwater retention*”, e “telhados verdes na retenção de águas pluviais”. Foram selecionados e analisados 33 artigos científicos de revistas internacionais, 5 nacionais e 1 dissertação de mestrado, totalizando 39 estudos de relevância científica. Os estudos foram divididos em grupos de acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger, essa divisão de climas é caracterizada de acordo com a temperatura mensal do ar e precipitação (BECK et al., 2018). Posteriormente, para estimar o impacto da implantação de telhados verdes nas microbacias urbanas de Ji-Paraná, foram definidos cinco cenários base, os quais foram modelados para duas tipologias de telhado verde, extensivos (TVE) e intensivos (TVI) (Tabela 2).

Tabela 2. Cenários para simulação do impacto dos telhados verdes na gestão das águas pluviais.

Cenários	Área Coberta por Telhados Verdes (%)	Tipologia do Telhado Verdes
C1	0	-
C2	5	TVE / TVI
C3	15	TVE / TVI
C4	30	TVE / TVI
C5	50	TVE / TVI

Fonte: o autor, (2023).

Nota: TVE: telhado verde extensivo; TVI: telhado verde intensivo.

A redução potencial do escoamento pluvial ocasionada pela instalação de telhados verdes nos diferentes cenários foi determinada através da precipitação média anual local (WEATHER SPARK, 2016). Dessa forma, a taxa de retenção média (TR), que é a porcentagem de água pluvial que deixa de escoar, foi estimada com base em estudos provenientes de diferentes autores e com condições climáticas semelhantes às de Ji-Paraná, uma vez que não existem dados experimentais para as condições microclimáticas locais. A TR foi fixada em 59,4% para os telhados verdes extensivos e 76,9% para os telhados verdes intensivos, dessa forma a estimativa do volume escoado foi obtido através da Equação 1:

$$V_e = P - \frac{(T_R \times P)}{100} \quad (1)$$

em que, TR é a taxa de retenção média (%); P é a precipitação anual média (mm); e Ve é o volume de escoamento total (mm).

A diferença obtida entre o volume precipitado e o volume escoado, permite estimar o volume teoricamente retido no(s) telhado(s) verde(s), conforme mostra a Equação 2:

$$V_r = P - V_e \quad (2)$$

em que, Vr é o volume retido (mm); P a precipitação anual média (mm); e Ve volume de escoamento total (mm).

Para estimar o volume pluviométrico potencialmente retido em cada microbacia as Equações 3 e 4 foram determinadas. Primeiramente, a área de aplicação do telhado verde (m²) (AP) foi definida com base na Equação 3:

$$A_p = \frac{y \times A_{im}}{100} \quad (3)$$

em que y corresponde a área coberta por telhados verdes (%) previamente estipulada nos cenários propostos (Tabela 2), e Aim é a área impermeável da bacia (m²) determinada nas análises de uso e ocupação do solo previamente apresentadas. Dessa forma, o volume retido em cada microbacia (m³) (VRB) foi estimado pela Equação 4:

$$V_{RB} = \frac{A_p \times V_r}{1000} \quad (4)$$

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta as microbacias hidrográficas, definidas nesse estudo como áreas de intervenção. Como observado, quinze microbacias hidrográficas estão contidas dentro dos limites urbanos de Ji-Paraná. Deste total, apenas as microbacias Igarapé Água Bela (3), Igarapé Água Cristalina (8), Igarapé Água Doce (9) e Igarapé Pintado (10) estão totalmente inseridas dentro do perímetro urbano. As demais microbacias, têm uma proporção variável de inserção, conforme apresentado na Tabela 3.

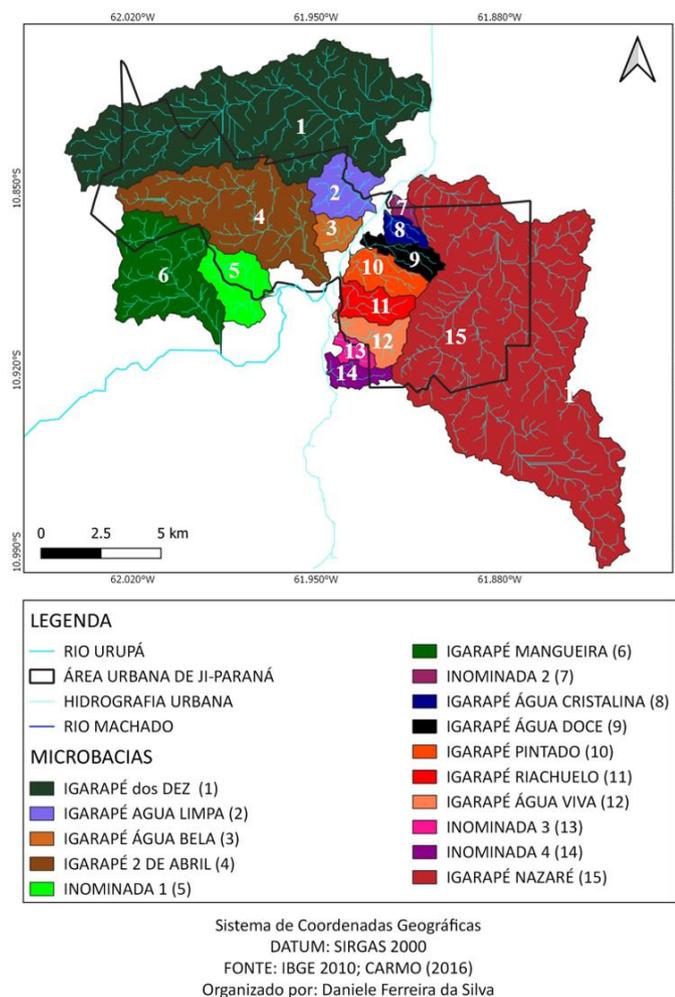


Figura 3. Microbacias urbanas de Ji-Paraná

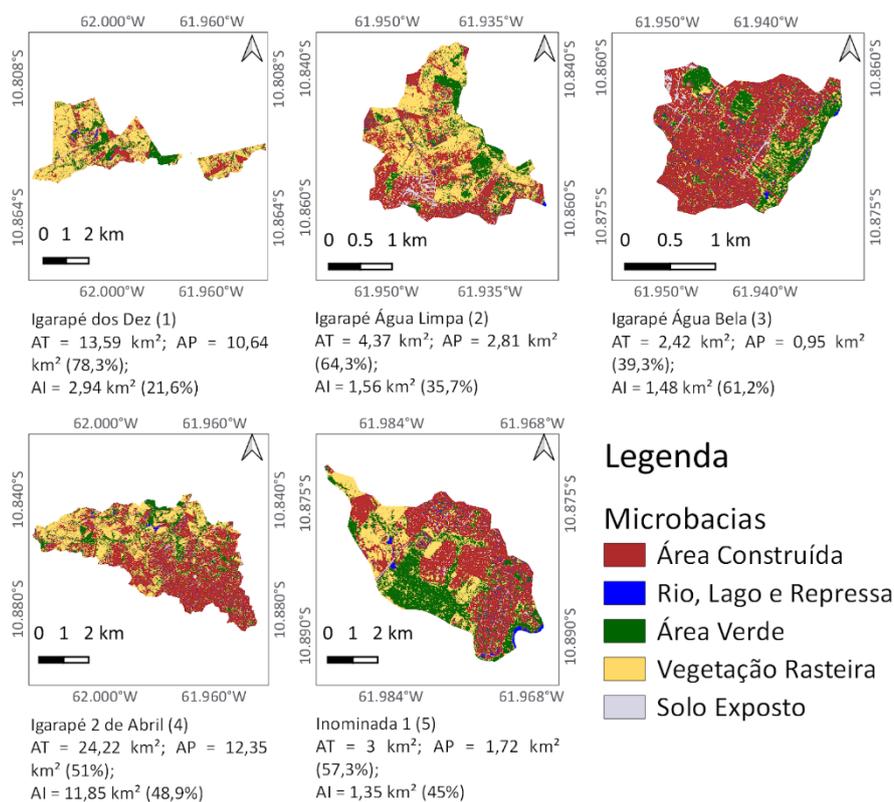
Essas microbacias apresentam características variáveis, seja pelo tamanho (AT), ou pelas proporções de áreas permeáveis (AP) e impermeáveis (AI), conforme ilustrado nas Figuras 4, 5 e 6 onde são apresentados os mapas de uso e ocupação do solo de cada uma das quinze microbacias estudadas.

Os resultados apontam que a microbacia Igarapé dos Dez (1), localizada maioritariamente fora dos limites urbanos, tem, como esperado, a maior parte da área total permeável, cerca de 10,64 km² representando 78,3% da área da microbacia. Por outro lado, a microbacia Igarapé Nazaré (15) tem maiores valores de áreas impermeáveis, cerca de 19,2 km² correspondendo 56,1% da área total da microbacia.

Tabela 3. Proporção variável das microbacias na zona urbana.

Microbacias	Área Total (km ²)	Proporção inserida dentro da área urbana (%)
Igarapé dos Dez (1)	56,77	23,9
Igarapé Água Limpa (2)	5,76	75,9
Igarapé Água Bela (3)	2,42	100
Igarapé 2 de Abril (4)	24,33	99,5
Inominada 1 (5)	6,71	44,7
Igarapé Mangueira (6)	17,04	18,5
Inominada 2 (7)	0,84	58,3
Igarapé Água Cristalina	1,80	100
Igarapé Água Doce	3,03	100
Igarapé Pintado	4,44	100
Igarapé Riachuelo (11)	3,99	97,7
Igarapé Água Viva (12)	3,88	97,2
Inominada 3 (13)	1,50	22
Inominada 4 (14)	2,44	22,1
Igarapé Nazaré (15)	88,01	38,9

Fonte: o autor, (2023).

**Figura 4. Uso e ocupação do solo das microbacias 1 a 5.**

Fonte: o autor, (2023).

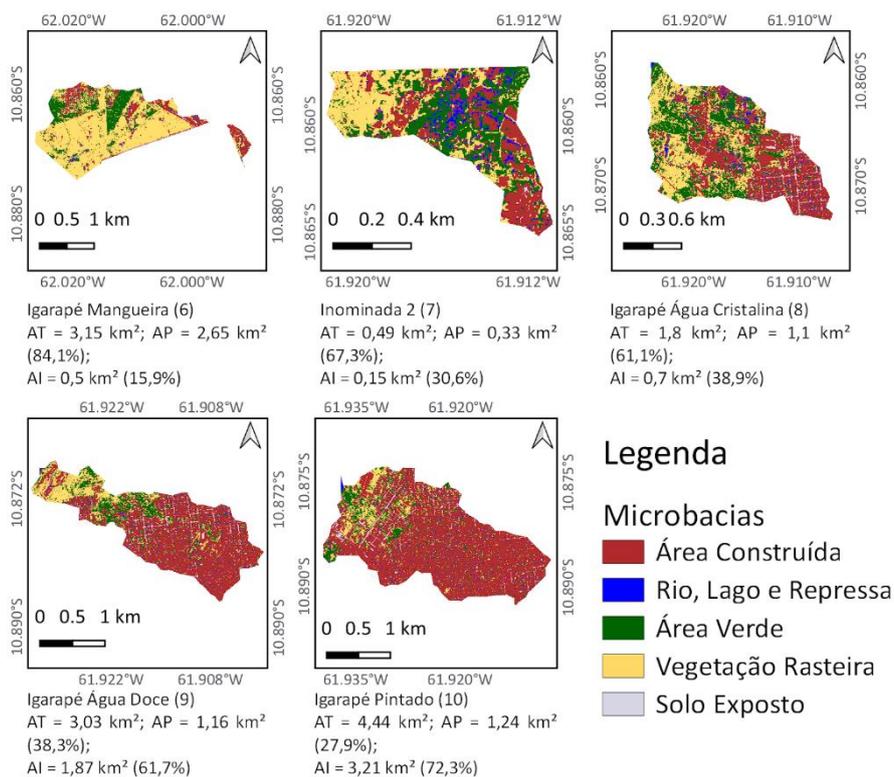


Figura 5. Uso e ocupação do solo das microbacias 6 a 10. **Fonte:** o autor, (2023).

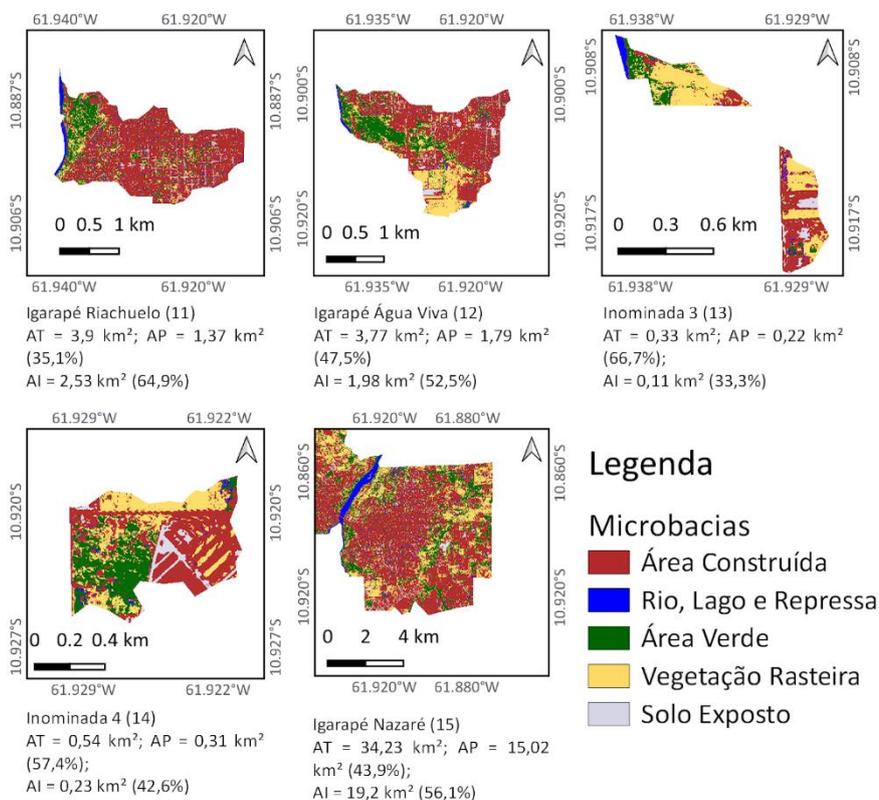


Figura 6. Uso e ocupação do solo das microbacias 11 a 15. **Fonte:** o autor, (2023).

A microbacia Igarapé Mangueira (6) tem a menor área impermeável, o que corresponde a 15,9% da sua área total, enquanto as demais microbacias apresentadas na Figura 4 possuem um percentual de impermeabilização superior a 21,6%. O aumento das áreas impermeáveis está diretamente relacionado com o grau de urbanização dessas bacias, baseado na supressão da vegetação e instalação de infraestruturas urbanas convencionais. Aumentando assim, o escoamento superficial e diminuindo as taxas de evapotranspiração no local, favorecendo os picos de escoamento e por consequência os alagamentos (ALVES, 2017).

No que tange as áreas suscetíveis a inundação (Figura 7), é possível observar que as microbacias Igarapé Água Cristalina (8), Igarapé Água Doce (9), Igarapé Pintado (10), Igarapé Riachuelo (11) e Igarapé Água Viva (12) têm risco muito alto às inundações. Da mesma forma, mas com um grau menor de risco, as microbacias Igarapé Água Bela (3), Igarapé 2 de Abril (4), Igarapé Pintado (10) e Igarapé Riachuelo (11) são consideradas áreas com alto risco a inundação (Félix, 2021). Nota-se que os setores com risco muito alto a inundação, estão localizados no 2º distrito, nas zonas ribeirinhas, onde normalmente a população tem menor poder aquisitivo (GAMA et al., 2018), configurando assim uma desigualdade ambiental, conceituada por Alves (2007, p.301) como a “exposição diferenciada de indivíduos e grupos sociais a amenidades e riscos ambientais”, sendo associada, sobretudo, à falta de planejamento da expansão urbana, o que resulta na ocupação de áreas ilegais como encostas e zonas ribeirinhas, aumentando a vulnerabilidade das populações ali residentes a intempéries climáticas (PARKINSON, 2003).

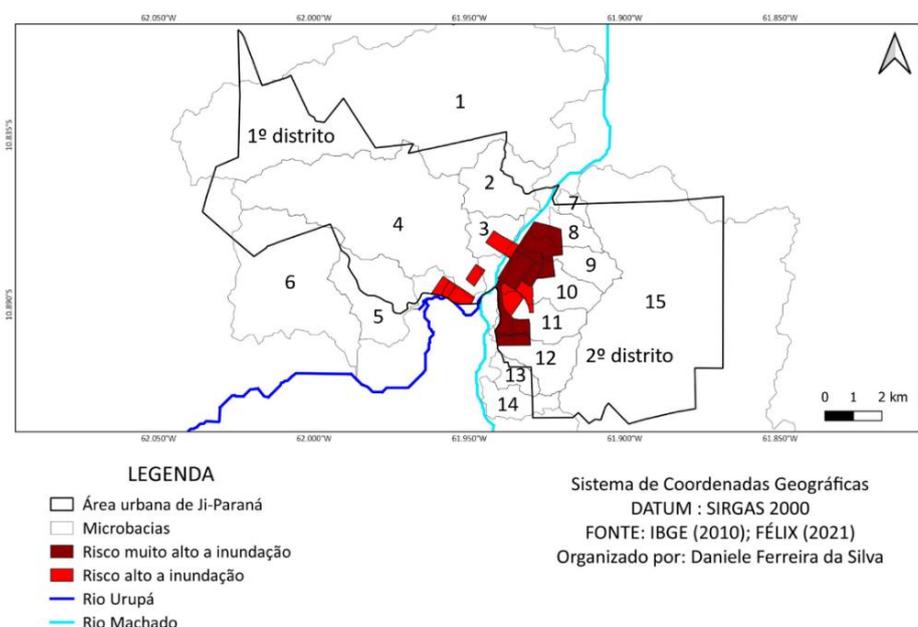


Figura 7. Setores em risco a inundação
Fonte: Félix (2021).

Relativamente a retenção média dos telhados verdes, e conseqüente extrapolação para a realidade de Ji-Paraná, nota-se uma considerável variação nos estudos analisados (Quadro 1). Isso porque, trata-se de um sistema seminatural, onde as variáveis climatológicas exercem grande influência na performance do sistema e, portanto, a realização de estudos in loco é sempre preferível à utilização de dados da literatura. No entanto, na ausência de dados locais, cabe ao pesquisador usar métodos para minimizar os erros associados.

Quadro 1. Retenção das águas pluviais em diferentes climas (continua)

			Média de retenção (%)	Média dos grupos	Grupo		
Telhado verde extensivo	Am	Loiola et al. (2019)	58,3	59,4	A		
		Gonçalves (2018)	66,4				
	Aw	Wang et al. (2021)	46,5				
	Af	Kasmin et al. (2012)	66,5	56,9	B		
	Bsh	Santos et al. (2019)	23,9				
		Liu et al. (2019)	29,9				
		Charalambous et al. (2019)	63,0				
	Bsk	Yan et al. (2022)	73,0			73,8	
		Liu et al. (2022)	73,8				
	Bwk	Yan et al. (2022)	77,8			55,4	C
	Cfa	Franco et al. (2019)	76,8				
		Voyde et al. (2010)	66,0				
		Castro et al. (2020)	64,0				
		Tassi et al. (2014)	68,5				
		Harper et al (2015)	28,1				
		Cipolla et al. (2016)	26,0				
		Elliot et al. (2016)	50,0				
		Liberalesso (2018)	80,8				
		Yin et al. (2019)	55,5				
	Cfb	Savi (2018)	54,8				
		Burszta-Adamiak (2012)	84,1				
		Stovin et al. (2012)	60,0				
		Kemp et al. (2018)	36,0				
		Beecham e Razzaghmanesh (2015)	73,5				
		Nawaz et al. (2015)	66,2				
		Yan et al. (2022)	34,0				
	Cwa	Zhang et al. (2015)	77,2				
Yan et al. (2022)		29,0					
Yan et al. (2022)		42,5					
Yan et al. (2022)		48,5					
Liu et al. (2022)		45,2					
Liu et al. (2022)		30,0					
Csa	Brandão et al. (2017)	62,5					
	Soulis et al. (2017a)	55,0					
Csb	Murilo et al. (2016)	88,0					

Quadro 1. Retenção das águas pluviais em diferentes climas (conclusão)

			Média de retenção (%)	Média dos grupos	Grupo	
		Soulis et al. (2017b)	53,1	62,4	D	
	Csb	Murilo et al. (2016)	73,5			
	Dfb		Baryła et al. (2017)			62,5
			Carpenter et al. (2016)			96,8
			Todorov et al. (2018)			87,0
		Whittinghill et al. (2015)	78,6			
	Dwa		Shafique et al. (2018)			35,0
			Lee et al. (2015)			50,0
			Gong et al. (2019)			55,3
			Zhang et al. (2021)			82,5
			Wang et al. (2017)			51,5
			Yan et al. (2022)			47,8
		Yan et al. (2022)	57,0			
	Liu et al. (2022)	44,6				
Telhado verde intensivo	Cfb	Speak et al. (2013)	65,7	76,9	C	
	Csb	Murilo et al. (2016)	88,0			

Fonte: o autor, (2023).

Nesse estudo, optou-se por adotar o valor de retenção média dos estudos conduzidos em climas semelhantes aos de Ji-Paraná. Os estudos conduzidos nas regiões do grupo climático A (Tropical), tiveram uma variação da taxa de retenção entre 46,5% (Clima Aw - Tropical com inverno seco) e 66,5% (Clima Af - Tropical sem estação seca). A Figura 8 ilustra as precipitações médias mensais e as temperaturas de cada um dos grupos climáticos considerados (Am, Aw e Af).

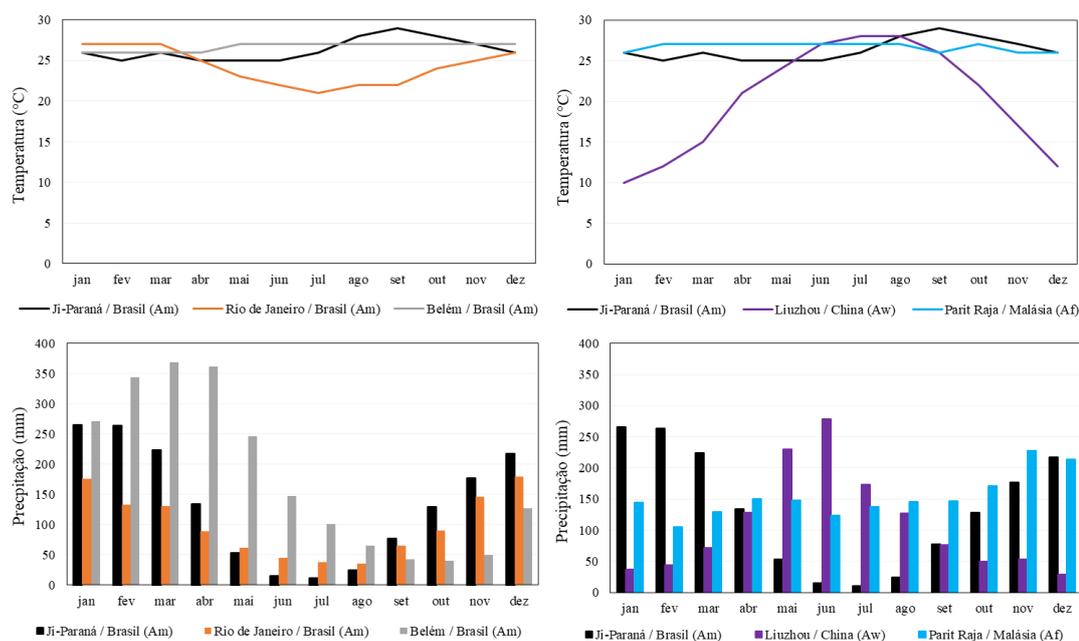


Figura 8. Precipitação e Temperatura dos grupos climáticos Am, Aw e Af.
Fonte: o autor, (2023).

Após a análise dos estudos da literatura e definição da taxa de retenção aplicada (59,4% para TVE e 76,9% para TVI), os cenários foram modelados para estimar o potencial dos telhados verdes na gestão das águas pluviais em Ji-Paraná. Há que se considerar que existem poucos estudos sobre a capacidade de retenção de telhado verde intensivo, assim, a TR utilizada é referente aos dois estudos analisados. Similarmente, estudos conduzidos para o mesmo clima Ji-Paraná (Am), não foram encontrados, e, portanto, a média dos climas tropicais (Aw, Am e Af), foi adotada.

Primeiramente foi calculado um panorama geral no qual foram obtidos os volumes escoados e os volumes retidos com a aplicação das taxas de retenção médias para telhados verdes extensivos (59,4%) e intensivos (76,9%). Dessa forma, considerando que a precipitação média anual é de 1.591 mm, o volume escoado é de 646 mm e 360 mm para TVE e TVI, respectivamente. Enquanto o volume retido anualmente estaria na casa dos 945 mm para TVE e 1.223 mm para TVE.

Ao nível das áreas de intervenção os volumes retidos e escoados (m^3) são apresentados na Figura 9. Essa estimativa, é baseada na hipótese de que a área impermeável de cada microbacia é coberta com telhados verdes em diferentes proporções, sendo Cenário 1 (0%), Cenário 2 (5%), Cenário 3 (15%), Cenário 4 (30%), Cenário 5 (50%).

Tendo por base o cenário 1, onde não há telhados verdes e, portanto, parte da água da chuva não é interceptada por esse tipo de sistema, nota-se que a microbacia 13 (Inominada 3) tem o menor volume de escoamento ($174.603 m^3$), uma vez que também possui a menor área de captação ($109.744 m^2$). Por outro lado, a microbacia 15 (Igarapé Nazaré), com maior área de captação ($19.197.896 m^2$) tem, conseqüentemente, o maior volume escoado ($30.543.853 m^3$).

No cenário 2, com 5% da área impermeável coberta com telhados verdes, e possivelmente o cenário mais realista para a cidade de Ji-Paraná, o menor volume retido nos TVE é de $5.188 m^3$, enquanto para os TVI é de $6.709 m^3$. Volumes relativamente baixos, em comparação com os volumes escoados. Alinhado a isso, o estudo de Liu, Chen e Peng (2014) ressalta que a instalação de poucas infraestruturas verdes não tem a capacidade de reduzir de forma efetiva o volume escoado, porém instalações integradas de infraestruturas verdes têm maior potencial em reduzir os problemas associados as elevadas vazões de escoamento, como as inundações urbanas.

Conforme observado na Figura 9 a partir do cenário 3 os volumes retidos começam a se destacar visivelmente nos gráficos, sendo os maiores volumes de retenção obtidos no cenário 5, como esperado. Em todos os cenários as microbacias Igarapé 2 de abril (4) e Igarapé Nazaré (15) foram as que tiveram o maior volume retido. No cenário 5, com 50% da área impermeável cobertas por TVE ou TVI os volumes de retenção são superiores a 5.000.000 m³. A microbacia Igarapé Nazaré (15) tem uma área impermeável de 19,20 km² (Figura 6) não sendo uma área com risco elevado para inundação, no entanto, a implantação de TVE poderia reter um volume superior a 9.000.000 m³ cerca de 3.000.000 m³ a mais que a microbacia Igarapé 2 de Abril (4). Apesar da bacia 15 encontra-se em uma cota superior aos setores com risco à inundação e de ser uma área de intervenção com vasta extensão territorial, e consequentemente com potencial de retenção do escoamento, as águas não convergem para as microbacias identificadas como suscetíveis a inundação e, portanto, não há contribuição para mitigar tal risco.

Nos telhados verdes intensivos o volume retido foi maior, isso porque, as características construtivas desses sistemas, levam a uma maior capacidade de retenção e armazenamento da água da chuva. Tal como observado por Murilo et al. (2016), o desempenho hidrológico de TVI em termos de retenção média dos sistemas chega a ser 15% superior em comparação com TVE. Da mesma forma, Kosareo e Ries (2007), verificaram comparativamente a capacidade de retenção dos TVI em relação aos TVE e telhados convencionais, ratificando os resultados de estudos anteriores e dos cenários performados nesse estudo.

As microbacias Igarapé Água Bela (3), Igarapé Água Doce (9), Igarapé Pintado (10), Igarapé Riachuelo (11), Igarapé Água Viva (12) e Igarapé Nazaré (15) são as bacias que apresentam uma proporção de área impermeável superior a área permeável. Sendo, respectivamente 61,2%, 61,7%, 72,3%, 64,9, 52,5% e 56,1% de área impermeável, e 39,3%, 38,3%, 27,9%, 35,1%, 47,5% e 43,9% de área permeável, portanto a implantação dos telhados verdes extensivos ou intensivos nessas bacias teria um maior impacto na recuperação de funções hidrológicas similares às existentes antes do processo de urbanização. Além disso, a instalação de telhados verdes e outras tipologias de Nature-based Solutions, vêm a contribuir para melhorar a resiliência urbana de Ji-Paraná aos eventos extremos, e, portanto, deve ser fortemente recomendada.

Tendo como critério a redução do risco de alagamentos e inundações, as áreas prioritárias para instalação de telhados verdes seria as microbacias Igarapé Água Bela (3), Igarapé 2 de Abril (4), Igarapé Água Cristalina (8), Igarapé Água Doce (9), Igarapé Pintado (10), Igarapé Riachuelo (11) e Igarapé Água Viva (12). Por outro lado, ao se considerar a área potencial de instalação de telhados verdes, a microbacia Igarapé Nazaré (15) pode ser considerada como área prioritária devido a significativa área impermeável e, por conseguinte, a área potencial para implantação dos telhados verdes. O potencial de retenção das águas pluviais dessa microbacia embora não afete diretamente os setores com alto risco de inundação da cidade, pode contribuir para mitigar os riscos em áreas a jusante de Ji-Paraná.

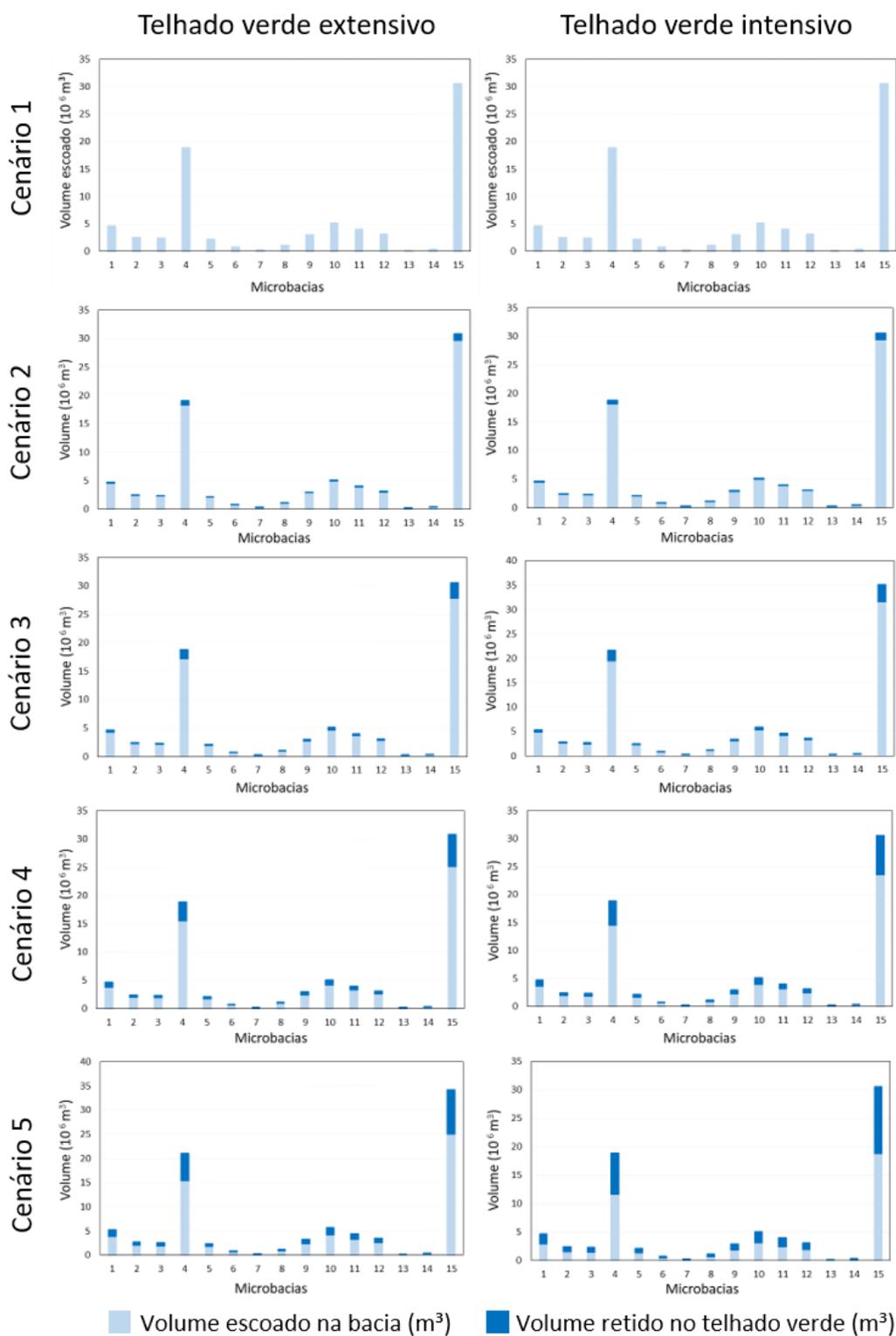


Figura 9. Volume retido e escoado nos cenários criados.
Fonte: o autor, (2023).

4. Conclusão

O estudo teve como objetivo avaliar o impacto da instalação de telhados verdes na gestão das águas pluviais na área urbana no município de Ji-Paraná – RO através de diferentes cenários de intervenção, modelados e analisados para estimar o potencial dos

telhados verdes como medida auxiliar de mitigação dos alagamentos frequentemente ocorridos em determinadas áreas da cidade.

Os resultados mostraram que as áreas prioritárias para implantação de telhados verdes, são as microbacias Igarapé Água Bela (3), Igarapé 2 de Abril (4), Igarapé Água Cristalina (8), Igarapé Água Doce (9), Igarapé Pintado (10), Igarapé Riachuelo (11) e Igarapé Água Viva (12), devido obterem a maior parte de sua área impermeável e serem susceptível as inundações.

Embora os cenários estudados tenham sido eficientes para estimar o potencial dos telhados verdes na gestão das águas pluviais, há uma discrepância significativa em relação à realidade local, pois a instalação de telhados verdes nos percentuais estabelecidos é incompatível com as características do parque edificado de Ji-Paraná. Possivelmente o cenário com 5% da área impermeabilizada coberta com telhados verdes é a opção mais próxima da capacidade real de instalação existente, no entanto, são necessários estudos mais aprofundados para confirmar tal afirmação.

Além disso, é importante salientar algumas limitações, como a falta de dados experimentais relativos à capacidade de retenção e armazenamento dos telhados verdes para o clima de Ji-Paraná, tornando necessária a extrapolação de dados provenientes da literatura para a realidade local. O que acaba por diminuir a confiabilidade dos resultados aqui apresentados. No entanto, o estudo foi eficaz em confirmar o potencial das soluções baseadas na natureza de integrar os ambientes natural e construído de modo a tornar as cidades atuais espaços mais habitáveis, através da melhoria das condições locais e da adaptação as intempéries climáticas provocadas e intensificadas pelo aquecimento global.

Agradecimentos: Agradecemos a Pró - Reitoria de Pesquisa (PROPESQ) e a Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) pelo incentivo no estudo.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referência bibliográfica

- ALHO, C. J. R. (2012). Importância da biodiversidade para a saúde humana: Uma perspectiva ecológica. *Estudos Avançados*, 26(74), 151–166. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100011>
- ALVARES, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. de M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, H. P. da F. (2007). Desigualdade ambiental no município de São Paulo: análise da exposição diferenciada de grupos sociais a situações de risco ambiental através do uso de metodologias de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 24(2), 301–316.
- ALVES, J. J. A., Bezerra, C. W. F., Silva Filho, R. V. da, Souza, J. V. da S., Cordeiro, J. A., & Silva, L. F. da. (2021). Telhado verde e seu desempenho térmico em residência de regiões semiáridas. *Revista Em Agronegocio e Meio Ambiente*, 14(4). <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021V14N4E8258>
- ATANASOVA, N., Castellar, J. A. C., Pineda-Martos, R., Nika, C. E., Katsou, E., Istenič, D., Pucher, B., Andreucci, M. B., & Langergraber, G. (2021). Nature-Based Solutions and Circularity in Cities. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 319–332. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00024-1>
- BASTOS, C. R. D. S., Barros, J. V. de, Barbosa, K. S., Rezende, M. B. F. de, Lima, M. R. de, Saraiva, M. C., Ferreira, L. C. S., & Ferreira, B. C. S. (2020). Uma análise e proposta de implantação de telhado verde e reaproveitamento de água da chuva para uma residência de luxo na região metropolitana de Belo Horizonte. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 18961–18996. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-169>
- BARYŁA, A., Agnieszka, K. A., Wróbel, M., & Kożuchowski, P. (2017). Water retention on the extensive green roof models. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2(IV), 1649–1658. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2017.4.2.124>
- BECK, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BEECHAM, S., & Razzaghmanesh, M. (2015). Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. *Water Research*, 70, 370–384. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.015>

- BEZERRA, M. do C., Oliveira, A. da N., Costa, M. E., & Koide, S. (2020). Simulação de técnicas de infraestrutura verde de drenagem urbana para captação do escoamento superficial. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(40), 1–16.
- BRANDÃO, C., Cameira, M. do R., Valente, F., Carvalho, R. C. de, & Paço, T. A. (2017). Wet season hydrological performance of green roofs using native species under Mediterranean climate. *Ecological Engineering*, 102, 596–611. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.025>
- BURSZTA-ADAMIAK, E. (2012). Analysis of the retention capacity of green roofs. *Journal of Water and Land Development*, 16(1), 3–9. <https://doi.org/10.2478/v10025-012-0018-8>
- CARMO, A. J. B. Caracterização morfométrica, validação e criação de um banco de dados geográficos das microbacias hidrográficas urbanas de Ji-Paraná/RO, 2016. p.1-62. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2016.
- CARPENTER, C. M. G., Todorov, D., Driscoll, C. T., & Montesdeoca, M. (2016). Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations. *Environmental Pollution*, 218, 664–672. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.056>
- CASTRO, A. S., Goldenfum, Joel Avruch Silveira, A. L. da, DallAgnol, A. L. B., Loebens, L., Demarco, C. F., Leandro, D., Nadaleti, W. C., & Quadro, M. S. (2020). The analysis of green roof's runoff volumes and its water quality in an experimental study in Porto Alegre, Southern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 9520–9534. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06777-5>
- CIPOLLA, S. S., Maglionico, M., & Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering*, 95, 876–887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.009>
- CHARALAMBOUS, K., Bruggeman, A., Eliades, M., Camera, C., & Vassiliou, L. (2019). Stormwater retention and reuse at the residential plot level-green roof experiment and water balance computations for long-term use in Cyprus. *Water (Switzerland)*, 11, 1–11. <https://doi.org/10.3390/w11051055>
- DACOL, K. C., & Tischer, W. (2020). A relação entre soluções baseadas na natureza e serviços ecossistêmicos: uma análise bibliométrica. *GeoNordeste*, 2, 172–191. <https://doi.org/10.33360/RGN.2318-2695.2020.i2.p.172-191>
- DIAS, R. H. S., Silva Filho, E. P. da, Santos, A. M. dos, & Rosa, A. L. D. da. (2015). Influência do uso e ocupação do solo no escoamento superficial na cidade de Ji-Paraná-RO, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 08(05), 1493–1508.
- ELLIOTT, R. M., Gibson, R. A., Carson, T. B., Marasco, D. E., Culligan, P. J., & McGillis, W. R. (2016). Green roof seasonal variation: Comparison of the hydrologic behavior of a thick and a thin extensive system in New York City. *Environmental Research Letters*, 11(7), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074020>
- FÉLIX, K. L. C. Análise dos fatores contribuintes para inundações urbanas: Estudo de caso do município de Ji-Paraná- RO, 2021.p. 1-197. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regularização de Recursos Hídricos). Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2021.
- FLL, 2018. Guidelines for the Planning, construction and maintenance of Green roofs. *LandscapeDevelopment and Landscaping Research Society e. V.*
- FRANCO, B. M., Andres, C. M., Konrad, J., Tassi, R., & Liberalesso, T. (2019). Avaliação de escoamento pluvial em módulos de telhados verdes com diferentes substratos. *Acta Brasiliensis*, 3(2), 69–73. <https://doi.org/10.22571/2526-4338184>
- FRANCA, R. R. da. (2015). Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. *Revista Geografias*, 11(1), 44–58.
- Gama, A. S. M., Fernandes, T. G., Parente, R. C. P., & Secoli, S. R. (2018). Inquérito de saúde em comunidades ribeirinhas do Amazonas, Brasil. *Cadernos de Saude Publica*, 34(2), 1–16. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00002817>
- GONÇALVES, M. S. Monitoramento e modelagem de telhados verdes como técnica de desenvolvimento urbano de baixo impacto, 2018. p. 97. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- GONG, Y., Yin, D., Li, J., Zhang, X., Wang, W., Fang, X., Shi, H., & Wang, Q. (2019). Performance assessment of extensive green roof runoff flow and quality control capacity based on pilot experiments. *Science of the Total Environment*, 687, 505–515. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.100>
- HARPER, G. E., Limmer, M. A., Showalter, W. E., & Burken, J. G. (2015). Nine-month evaluation of runoff quality and quantity from an experiential green roof in Missouri, USA. *Ecological Engineering*, 78, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.004>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). IBGE cidades. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/ji-parana/pesquisa/23/25207?tipo=ranking> (acessado em: 19/01/2023).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). IBGE cidades. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/ji-parana/panorama> (acessado em: 20/06/2022).

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). Censo Demográfico. Recuperado de https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Previa_da_Populacao/POP2022_Municipios.pdf (acessado em: 11/05/2023).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Sistema IBGE de Recuperação Automática- SIDRA. Recuperado de <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q> (acessado em: 25/11/2022).
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2022). Divisão de geração de imagens. Recuperado de <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore> (acessado em:01/11/2022).
- Ji-PARANÁ. Lei nº 1179 de 26 de julho de 2002. Câmara Municipal de Ji-Paraná, 2002.
- KASMIN, H; Musa, S. Green roof as a potential Sustainable structure for runoff reduction. *IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*, P. 889-893, 2012.
- KEMP, S., Hadley, P., & Blanuša, T. (2019). The influence of plant type on green roof rainfall retention. *Urban Ecosystems*, 22, 355–366. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0822-2>
- KOSAREO, L., & Ries, R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, 42(7), 2606–2613. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.019>
- LIBERALESSO, T. Extensive green roofs: Influence of substrate composition on water retention and vegetation development [Telhados verdes extensivos: influência da composição do substrato na retenção hídrica e no desenvolvimento da vegetação] (In Portuguese). Federal University of Santa Maria, 2018.
- LEE, J. Y., Lee, M. J., & Han, M. (2015). A pilot study to evaluate runoff quantity from green roofs. *Journal of Environmental Management*, 152, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.028>
- LIU, W., Chen, W., & Peng, C. (2014). Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: A community scale study. *Ecological Modelling*, 291, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.07.012>
- LIU, W., Engel, B. A., Feng, Q., & Li, R. (2022). Simulating annual runoff retention performance of extensive green roofs: A comparison of four climatic regions in China. *Journal of Hydrology*, 610, 127871. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127871>
- LIU, W., Feng, Q., Chen, W., Wei, W., & Deo, R. C. (2019). The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scale-based models and real experiments. *Journal of Hydrology*, 569, 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.066>
- LOIOLA, C., Mary, W., & Silva, L. P. da. (2019). Hydrological performance of modular-tray green roof systems for increasing the resilience of mega-cities to climate change. *Journal of Hydrology*, 573, 1057–1066. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.004>
- 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*, 11(1), 12–49. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189419>
- NAWAZ, R., McDonald, A., & Postoyko, S. (2015). Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecological Engineering*, 82, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.061>
- OLIVEIRA, W. N. M. de, Rezende, R. G. de, & Pizzo, H. da S. (2021). Telhados Verdes e a Drenagem Urbana. *Revista Artigos.Com*, 25, 1–9.
- OLIVEIRA, D. S., Rodrigues, D. S., & Oliveira Jr, C. J. F. de. (2021). Telhados Verdes : Uma proposta para o uso de espécies nativas do Brasil. *Mix Sustentável*, 7(3), 111–126.
- OSAKA, S., Bellamy, R., & Castree, N. (2021). Framing “nature-based” solutions to climate change. *Wires Clim Change*, 12(5), 1–20. <https://doi.org/10.1002/wcc.729>
- PARKINSON, Jonathan et al. Drenagem Urbana Sustentável no Brasil. Relatório do workshop em Goiânia – GO. 7 de maio de 2003. Goiânia: CREA, 2003.
- PÉREZ, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 88, 4854–4859. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032>
- PINHEIRO, C. D. P. da S., Santos, J. T. S. dos, & Sousa, A. M. L. de. (2018). As funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano e na Gestão dos Recursos Hídricos. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 4(15), 376–390. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n15p376-390> .
- RAJAGOPAL, P., Priya, R. S., & Senthil, R. (2023). A review of recent developments in the impact of environmental measures on urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 88, 104279. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104279>
- RAMALHO, G. D. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana para áreas centrais: estudo de caso em Londrina-PR, 2021. p. 1-53. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

- RIGHI, D. P., Kohler, L. G., Lima, R. C. A. de, Santos Neto, A. B. da S., & Mohamad, G. (2016). Cobertura Verde : um uso sustentável na construção civil. *Mix Sustentável*, 2(2), 29–36.
- ROGATKA, K., Starczewski, T., & Kowalski, M. (2021). Urban resilience in spatial planning of polish cities - True or false? Transformational perspective. *Land Use Policy*, 101, 105172. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105172>
- ROMERO, M. A. B. et al. (2019). Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. Editora ETB, 1 ed. Brasília, DF.
- SANTOS, P. T. da S., Santos, S. M. dos, Montenegro, S. M. G. L., Coutinho, A. P., Moura, G. S. S. de, & Antonino, A. C. D. (2013). Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. *Ambiente Construído*, 13(1), 161–174. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212013000100011>
- SAVI, A. C., & Tavares, S. F. (2018). Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais na retenção de água de chuva. *Revista de Arquitetura IMED*, 7(1), 50–67.
- SHAFIQUE, M., Kim, R., & Kyung-Ho, K. (2018). Green roof for Stormwater Management in a Highly Urbanized Area: The case of Seoul, Korea. *Sustainability*, 10, 1–14. <https://doi.org/10.3390/su10030584>
- SHARIFI, A. (2020). Urban resilience assessment: Mapping knowledge structure and trends. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15), 1–18. <https://doi.org/10.3390/SU12155918>
- SILVA, J. S., Silva, T. T. S., & Pastich, E. A. (2022). Benefícios e limitações do uso de telhados verdes: uma revisão sistemática. *Geama - Ciências Ambientais e Biotecnologia*, 8(3), 15–28.
- SOULIS, K. X., Valiantzas, J. D., Ntoulas, N., Kargas, G., & Nektarios, P. A. (2017). Simulation of green roof runoff under different substrate depths and vegetation covers by coupling a simple conceptual and a physically based hydrological model. *Journal of Environmental Management*, 200, 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.012>
- SOUSA, Í. V. D., Sousa, H. V. D., Magalhães Junior, A. M., Nunes, P. H., Faria, I. L. de C., & Faria, A. J. de C. (2021). Os benefícios do telhado verde e a sua utilização pela construção civil. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 13(2), 170–181.
- SOUZA, M. G. F. de, Barros, C. Z. E. de, & Soares, W. de A. (2023). Vegetações de Telhados Verdes utilizadas em diferentes regiões climáticas para mitigar o escoamento superficial. *Scientific Journal ANAP*, 1(1), 278–291.
- SPEAK, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2013). Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of the Total Environment*, 461–462, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.085>
- STARCZEWSKI, T., Rogatka, K., Kukulska-Kozieł, A., Noszczyk, T., & Cegielska, K. (2023). Urban green resilience: Experience from post-industrial cities in Poland. *Geoscience Frontiers*, 14(4), 101560. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101560>
- STOVIN, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414–415, 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.022>
- TASSI, R., Tassinari, L. C. da S., Piccilli, D. G. A., & Persch, C. G. (2014). Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, 14(1), 139–154. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000100012>
- TALEBI, A., Bagg, S., Sleep, B. E., & O'Carroll, D. M. (2019). Water retention performance of green roof technology: A comparison of canadian climates. *Ecological Engineering*, 126, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.006>
- TODOROV, D., Driscoll, C. T., & Todorova, S. (2018). Long-term and seasonal hydrologic performance of an extensive green roof. *Hydrological Processes*, 32(16), 2471–2482. <https://doi.org/10.1002/hyp.13175>
- TUCCI, C. E. M. (2008). Águas Urbanas. *Estudos Avancados*, 22(63), 97–112. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200007>
- UNITED NATIONS. (2015). Take Action for the Sustainable Development Goals. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (acessado em: 11/05/2023).
- VIOLA, F., Hellies, M., & Deidda, R. (2017). Retention performance of green roofs in representative climates worldwide. *Journal of Hydrology*, 553, 763–772. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.08.033>
- VOYDE, E., Fassman, E., & Simcock, R. (2010). Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 394, 384–395. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.09.013>
- WANG, J., Garg, A., Huang, S., Mei, G., Liu, J., Zhang, K., & Gan, L. (2021). The rainwater retention mechanisms in extensive green roofs with ten different structural configurations. *Water Science and Technology*, 84(8), 1839–1857. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.413>
- WANG, X., Tian, Y., & Zhao, X. (2017). The influence of dual-substrate-layer extensive green roofs on rainwater runoff quantity and quality. *Science of the Total Environment*, 592, 465–476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.124>
- WEATHER SPARK. (2016). Clima e condições meteorológicas médias em Ji-Paraná no ano todo. Recuperado de <https://pt.weatherspark.com/y/28624/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Ji-Paran%C3%A1-Brasil-durante-o-ano> (acessado em:19/01/2023).
- WHITTINGHILL, L. J., Rowe, D. B., Andresen, J. A., & Cregg, B. M. (2015). Comparison of stormwater runoff from sedum, native prairie, and vegetable producing green roofs. *Urban Ecosystems*, 18, 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0386-8>

- XING, Y., Jones, P., & Donnison, I. (2017). Characterisation of nature-based solutions for the built environment. *Sustainability*, 9, 1–20. <https://doi.org/10.3390/su9010149>
- XU, H., Randall, M., & Fryd, O. (2023). Urban stormwater management at the meso-level: A review of trends, challenges and approaches. *Journal of Environmental Management*, 331, 117255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117255>
- YAN, J., Zhang, S., Zhang, J., Zhang, S., Zhang, C., Yang, H., Wang, R., & Wei, L. (2022). Stormwater retention performance of green roofs with various configurations in different climatic zones. *Journal of Environmental Management*, 319, 115447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115447>
- YIN, H., Kong, F., & Dronova, I. (2019). Hydrological performance of extensive green roofs in response to different rain events in a subtropical monsoon climate. *Landscape and Ecological Engineering*, 15, 297–313. <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00380-z>
- ZHANG, S., Lin, Z., Zhang, S., & Ge, D. (2021). Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations. *Journal of Environmental Management*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112682>
- ZHANG, Q., Miao, L., Wang, X., Liu, D., Zhu, L., Zhou, B., Sun, J., & Liu, J. (2015). The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning*, 144, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.017>