IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA: COMPARAÇÃO DAS CABECEIRAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO VERMELHO E DO ITACORUBI EM FLORIANÓPOLIS/SC NO PERÍODO DE 1991 A 2022

Isabela Deitos Sartori [1] , Jackson Diogo da Silva de Souza [2], José Mauro da Costa[3], Masato Kobiyama [4] & Emanuel Fusinato [5]

RESUMO – A urbanização influência a impermeabilização do solo e intensifica o escoamento superficial, exigindo a adoção adaptações urbanas. Este estudo analisa a relação entre a urbanização e as vazões máximas nas cabeceiras das bacias hidrográficas do Rio Vermelho e do Rio Itacorubi, em Florianópolis/SC, entre 1991 e 2022, utilizando um coeficiente de escoamento superficial dinâmico, definido a partir da evolução da morfologia urbana e da densidade populacional. O uso e cobertura do solo foi obtido pelo MapBiomas, e as vazões máximas foram estimadas pelo Método Racional utilizando como cenário o evento extremo de precipitação de dezembro de 2022. Os resultados indicam aumento da impermeabilização e da consolidação urbana em ambas as bacias, refletindo em incrementos aproximados de 24% nas vazões de pico. A abordagem proposta permitiu incorporar mudanças qualitativas da urbanização que não seriam representadas por coeficientes fixos, produzindo estimativas hidrológicas mais consistentes em análises temporais e contribuindo para o planejamento urbano orientado pela dinâmica das bacias hidrográficas.

Palavras-Chave – Escoamento superficial; Urbanização; Método Racional.

ABSTRACT– Urbanization influences soil impermeabilization and intensify surface runoff, thereby requiring the adoption of urban adaptations. This study presents a analysis of the relationship between urbanization and peak flows in the Rio Vermelho and Rio Itacorubi headwaters watersheds in Florianópolis/SC between 1991 and 2022, employing a dynamic surface runoff coefficient was adopted, defined based on the evolution of urban morphology and population density. Land use and land cover were mapped using MapBiomas, and Rational Method was used to estimate peak flows, and we considered a precipitation event of December 2022 as a scenario. The results indicate an increase in impermeabilization and urban consolidation in both basins, resulting in approximate increases of 24% in peak flows. The proposed approach allowed for the incorporation of qualitative updates in urbanization that would not be captured by fixed coefficients, producing more consistent hydrological estimates in temporal analyses and contributing to urban planning guided by watershed dynamics.

Key-words – Surface runoff; Urbanization; Rational Method.

1) Isabela Deitos Sartori, Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil, e-mail: isabela.sartori@posgrad.ufsc.br.
2) Jakson Diogo da Silva de Souza, aluno especial do Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais (PPGND), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil, e-mail: jakson@kwinstitute.org.
3) José Mauro da Costa, aluno especial do Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais (PPGND), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil, e-mail: mauro_bombeiro@hotmail.com.
4) Masato Kobiyama, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS, Brasil, email: masato.kobiyama@ufrgs.br.
5) Emanuel Fusinato, Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS, Brasil, e-mail: emanuel.fusinato@ufrgs.br.

1 INTRODUÇÃO

A crescente consolidação da ocupação urbana influencia o ciclo hidrológico nas cidades, tendo como fator principal de mudança a impermeabilização do solo. Muitas pesquisas têm quantificado esses impactos. Por exemplo, Eshtawi, Evers and Tischbein (2016) demonstraram a existência de uma correlação entre o crescimento das áreas urbanas e o aumento do escoamento superficial. Siddik et al. (2022) comprovaram que as mudanças no uso e cobertura do solo reduzem a infiltração e influenciam os processos de evapotranspiração. Dessa forma, evidencia-se que a urbanização influencia os processos hidrológicos, exigindo adaptações infraestruturais urgentes (Dutta; Choudhury; Nath, 2024).

A estimativa desses impactos depende, entre outros fatores, da adequada representação do coeficiente de escoamento superficial (C). Em análises temporais, entretanto, é comum a adoção de valores fixos para áreas urbanizadas, assumindo que essa classe de uso do solo apresenta comportamento hidrológico homogêneo. Essa simplificação desconsidera que a urbanização é um processo dinâmico, caracterizado pela evolução da morfologia urbana, do adensamento construtivo e da redução das superfícies livres, fatores que influenciam diretamente a geração de escoamento superficial.

Em Florianópolis (SC), cidade insular marcada por restrições geomorfológicas à expansão urbana, o crescimento recente tem avançado sobre as cabeceiras das bacias hidrográficas após a ocupação das áreas mais planas, como observado em outras localidades (Kobiyama et al., 2010). Apesar da sensibilidade do município, e da pressão para urbanização, ainda são escassos estudos comparativos que avaliem como diferentes padrões de urbanização influenciam a resposta hidrológica das bacias ao longo do tempo, especialmente nas cabeceiras dos rios Vermelho e Itacorubi.

Desta forma, este estudo realiza uma análise comparativa da evolução da urbanização e a influência sobre as vazões máximas nas cabeceiras das bacias hidrográficas do Rio Vermelho e do Rio Itacorubi, entre 1991 e 2022. No qual utiliza-se o coeficiente de escoamento superficial (C) como sendo dinâmico, ou seja, o coeficiente é alterado ao longo do tempo conforme evolução da morfologia urbana e da densidade populacional. Para isso, foi mapeada a evolução do uso e cobertura do solo ao longo da série histórica, estimada a variação populacional nas áreas de estudos, e estimadas as vazões máximas pelo Método Racional para um mesmo cenário de precipitação extrema, permitindo avaliar os efeitos da consolidação da urbanização sobre a resposta hidrológica das bacias.

2 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido nas sub-bacias hidrográficas de Cabeceiras do Rio Vermelho (CRV) e Cabeceiras do Rio Itacorubi (CRI), localizadas na Ilha de Santa Catarina, Florianópolis (SC) (Figura 1). A delimitação das bacias e sub-bacias foi realizada a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) disponibilizado pela Prefeitura de Florianópolis (2014). As áreas delimitadas possuem 1,73 km² (CRV) e 2,06 km² (CRI), dimensões compatíveis com a aplicação do Método Racional para estimativa de vazões máximas (Canholi, 2015).

A evolução da urbanização foi analisada para os anos de 1991, 2000, 2010 e 2022, utilizando os mapas de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomas (2025). Complementarmente, foram empregados dados dos Censos Demográficos do IBGE (2000, 2010 e 2022) para caracterizar a evolução da população e da densidade populacional nas sub-bacias (Tabela 1). O ano de 1991 não foi incluído nessa análise devido à indisponibilidade de setores censitários georreferenciados que fossem compatíveis com as delimitações das sub-bacias. Tendo em vista um critério conservador, considerou-se a densidade demográfica de 1991 igual a 2000.

Na CRV, a população total apresentou um crescimento de 236,51% em 22 anos. Já na CRI, crescimento de 49,59% no mesmo período. Além disso, a densidade populacional em 2022 foi de 1.507 hab/km² para a CRV e de 2.902 hab/km² para a CRI, evidenciando contrastes entre as bacias.

Tabela 1 – Evolução da população e da densidade populacional.

Bacias		***2000***	***2010***	***2022***
CRI	População (hab.)	3.309	3.753	4.950
	Densidade (hab/km²)	1.916,48	2.167,81	2.902,39
CRV	População (hab.)	912	1.785	3.069
	Densidade (hab/km²)	447,61	865,01	1.507,24

Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2000), IBGE (2010) e IBGE (2022).

Inicialmente, foram atribuídos coeficientes de escoamento superficial (C) às classes de uso e cobertura do solo com base em Wilken (1978). Para as classes não urbanizadas foram utilizados coeficientes fixos, enquanto, para a classe "áreas urbanizadas", adotou-se uma abordagem dinâmica. Diferentemente da aplicação convencional, o coeficiente C não foi definido fixo e único, mas como resultante da evolução das características da ocupação urbana.

A definição do coeficiente das áreas urbanizadas considerou, a proporção de área urbanizada obtida pelo MapBiomas, a configuração espacial da ocupação observada em imagens de satélite, e a evolução da densidade populacional obtida pelos Censos Demográficos. Esses critérios permitiram classificar as áreas urbanizadas com diferentes valores de C, selecionando-se o coeficiente mais representativo para cada condição de urbanização conforme as definições de Wilken (1978).

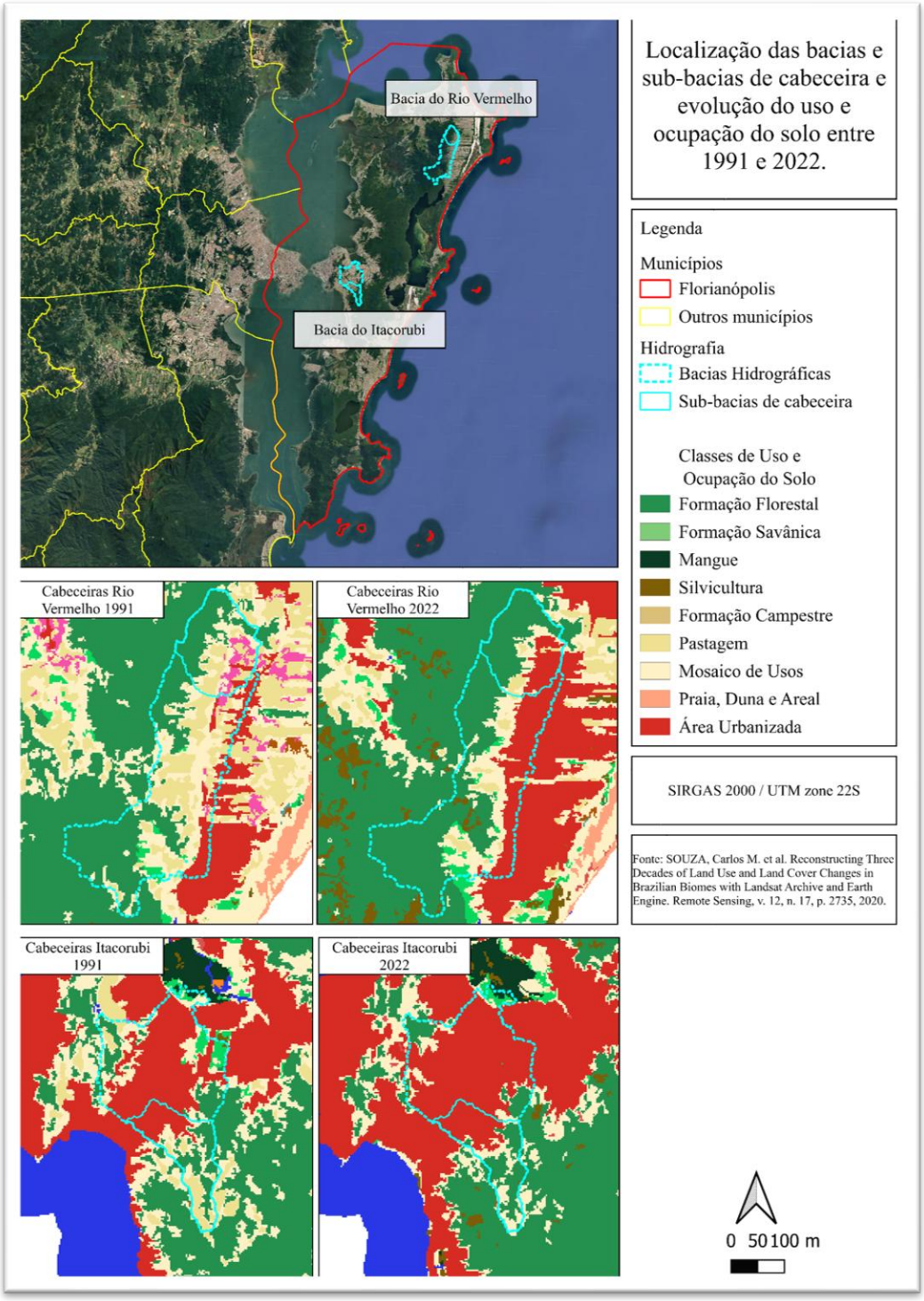


Figura 1 – Representação das áreas de estudos sub-bacias hidrográficas de cabeceiras dos Rio Vermelho e do Itacorubi dentro da Ilha de Santa Catarina.

Foram adotados coeficientes distintos para representar a evolução da ocupação urbana. Na CRI utilizou-se C = 0,60 para 1991, 2000 e 2010, aumentando para C = 0,70 em 2022 em função da maior consolidação urbana. Na CRV, adotou-se C = 0,25 entre 1991 e 2010, compatível com ocupação

suburbana de baixa densidade, e C = 0,50 em 2022, refletindo a intensificação do adensamento e a redução das superfícies livres.

Tabela 2 – Coeficientes de escoamento superficial (C) para classe de uso e ocupação do solo

Classe de uso e ocupação do solo	***C***							
	CRI				***CRV***			
	1991	***2000***	***2010***	***2022***	***1991***	***2000***	***2010***	***2022***
Formação florestal	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Pastagem	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Mosaico de usos agropecuários	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Áreas urbanizadas	0,6	0,6	0,6	0,70	0,25	0,25	0,25	0,50
Outras áreas não vegetadas	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Outras lavouras temporárias	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Fonte: Adaptado de Wilken (1978, p. 132)

O coeficiente médio de C de cada bacia foi calculado por meio de média ponderada entre os coeficientes das classes de uso do solo e suas respectivas áreas. Em seguida, as vazões máximas foram estimadas pelo Método Racional para 1991, 2000, 2010 e 2022, mantendo constante o evento de precipitação extrema registrado em 20 de dezembro de 2022, com acumulado de 227 mm em 24 horas, obtido junto à EPAGRI/CIRAM (2025). Dessa forma, as diferenças entre as vazões estimadas refletem exclusivamente as alterações na urbanização e no coeficiente de escoamento superficial ao longo da série histórica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Evolução da Impermeabilização

Entre 1991 e 2022, ambas as bacias apresentaram expansão das áreas urbanizadas, acompanhada pela redução de usos agropecuários e pelo aumento das formações florestais (Tabela 3). Entretanto, os processos de urbanização ocorreram de forma distinta.

A cabeceira do Rio Itacorubi (CRI) já apresentava elevado grau de urbanização em 1991, evoluindo de 28,4% para 38,1% de área urbanizada em 2022, caracterizando um processo de consolidação da ocupação. Em contrapartida, a cabeceira do Rio Vermelho (CRV) passou por urbanização acelerada, com aumento da área urbanizada de 3,4% para 22,5% no mesmo período.

Os dados censitários corroboram essa evolução. Entre 2000 e 2022, a população da CRV aumentou 236,5%, evidenciando rápida expansão urbana, enquanto a CRI registrou crescimento de 49,6%, porém mantendo densidades populacionais significativamente superior ao longo de toda a série histórica.

Tabela 3 – Proporção do uso e ocupação do solo para as cabeceiras das bacias do Itacorubi (CRI) e do Rio Vermelho (CRV) em 1991, 2000, 2010 e 2022, com base em MapBiomas 2025.

Classe de uso e ocupação do solo	1991		2000		2010		2022	
	CRI	CRV	CRI	CRV	CRI	CRV	CRI	CRV
1. Formação florestal	30,4%	42,1%	31,4%	48,1%	35,1%	53,5%	36,8%	57,0%
3.1 Pastagem	17,2%	21,0%	13,0%	13,5%	3,7%	7,4%	0,0%	6,1%
3.4 Mosaico de usos agropecuários	23,8%	23,3%	22,1%	22,2%	24,8%	19,5%	24,8%	14,4%
4.2 Áreas urbanizadas	28,4%	3,4%	33,1%	15,9%	36,4%	19,6%	38,1%	22,5%
4.5 Outras áreas não vegetadas	0,2%	0,0%	0,4%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3.2.1.5. Outras lavouras temporárias	0,0%	10,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaboração própria, com base em MapBiomas (2025).

3.2 Coeficiente de Escoamento Superficial

A expansão e a consolidação da urbanização refletiram diretamente no coeficiente médio de escoamento superficial das bacias (Tabela 4). Na CRI, o coeficiente médio aumentou de 0,295 para 0,366 entre 1991 e 2022, enquanto na CRV passou de 0,176 para 0,218.

Tabela 4 – Evolução do coeficiente de escoamento superficial (*C*) nas cabeceiras das bacias do Itacorubi (CRI) e do Rio Vermelho (CRV) no período de 1991 a 2022, com base em Wilken (1978, p. 132).

Bacia	Escoamento Superficial (*C*)			
	1991	2000	2010	2022
CRI	0,295	0,312	0,323	0,366
CRV	0,176	0,171	0,166	0,218

Fonte: Elaboração própria, com base em Wilken (1978, p. 132).

A área urbanizada constitui o principal fator desse aumento. Em 2022, sua contribuição ao valor médio de *C* atinge 72,89% no Itacorubi e 51,70% no Rio Vermelho, evidenciando maior influência da urbanização na primeira bacia, embora ambas apresentem tendência de crescimento. As demais classes de uso do solo mantêm contribuições relativamente constantes, especialmente as áreas florestais; contudo, sua participação relativa diminui à medida que se ampliam as superfícies impermeáveis.

3.3 Resposta hidrológica comparativa

Os resultados evidenciam a intensificação da resposta hidrológica entre 1991 e 2022, com aumento progressivo das vazões de pico em ambas as bacias, associado à elevação do coeficiente de escoamento superficial (C). Considerando o evento extremo de 20 de dezembro de 2022 (227 mm em 24 h) e mantendo constante a precipitação, observa-se que as mudanças no uso e ocupação do solo resultam em aumento significativo do escoamento superficial estimado pelo Método Racional. A Figura 2 demonstra o aumento da vazão máxima ao longo do tempo analisado.

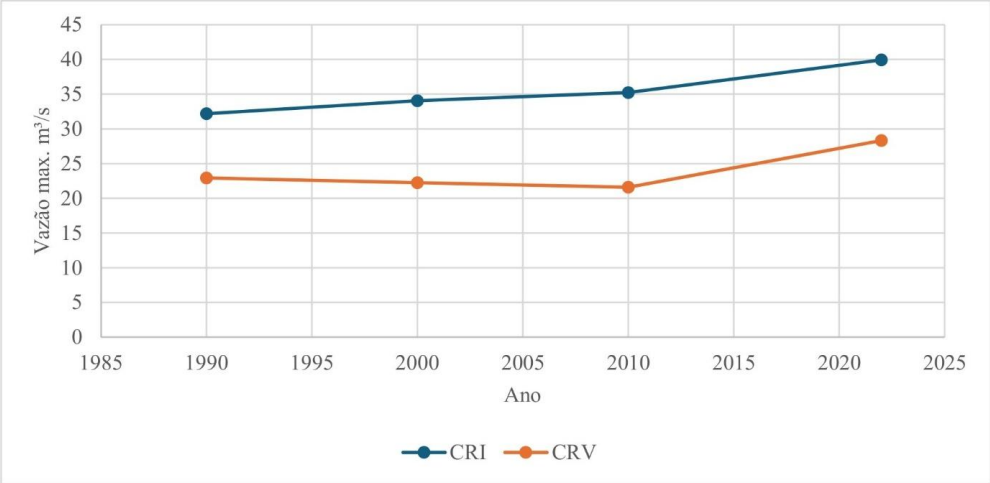


Figura 2 – Vazão máxima simulada com o evento de chuva de 20/12/2022.

Na CRI, as vazões estimadas evoluem de 32,19 m³/s (uso do solo de 1991) para 39,94 m³/s (2022), representando um aumento de 24,09%. Na CRV, observa-se tendência semelhante, com valores passando de 16,14 m³/s (1991) para 19,99 m³/s (2022), correspondendo a um incremento de 23,86%.

Entre 1990 e 2010, observou-se uma redução pontual nas vazões máximas, decorrente da expansão das formações florestais e da retração das áreas agropecuárias. Nesse intervalo, as zonas urbanizadas foram caracterizadas pelo coeficiente $C = 0{,}25$, condizente com a tipologia “Subúrbios com alguma edificação” (Wilken, 1978), compatível com o padrão de ocupação dispersa observado nas imagens de satélite, marcado pela predominância de áreas livres e lotes não edificados. Embora tenha ocorrido aumento da área urbanizada nesse período, a morfologia urbana ainda não justificava o enquadramento em uma categoria de maior impermeabilização.

Em 2022, entretanto, a intensificação da ocupação urbana alterou esse padrão. A redução dos vazios urbanos, a maior continuidade da mancha construída e o aumento do adensamento justificaram o enquadramento da CRV na categoria "Edificação com muitas superfícies livres", adotando-se C = 0,50. De forma semelhante, a CRI permaneceu enquadrada na categoria "Edificação não muito densa", porém com a utilização do limite superior da faixa (C = 0,70), refletindo a maior consolidação da ocupação urbana observada ao longo da série histórica. Essa interpretação também foi corroborada pela evolução da densidade populacional entre os censos, que indicou aumento progressivo da consolidação urbana em ambas as bacias.

A adoção de coeficientes distintos para a classe "áreas urbanizadas" mostrou-se fundamental para representar a evolução das características morfológicas das bacias ao longo do tempo. Embora a classe de uso e ocupação do solo permanecesse a mesma, verificaram-se alterações significativas no

grau de adensamento, na continuidade da ocupação urbana e na proporção de superfícies livres, aspectos contemplados pelas categorias propostas por Wilken (1978). Dessa forma, a utilização de um coeficiente variável permitiu incorporar às estimativas hidrológicas mudanças qualitativas da urbanização que não seriam captadas pela simples quantificação da área urbanizada.

Essa influência pode ser observada na CRV. Caso o coeficiente C = 0,25 tivesse sido mantido em 2022, a simulação indicaria um decréscimo teórico de 8,44% na vazão máxima entre 1991 e 2022, contrariando a evolução da ocupação urbana observada e subestimando os impactos da consolidação da urbanização sobre a resposta hidrológica da bacia. Assim, os resultados evidenciam que, em análises temporais, a adoção de um coeficiente de escoamento superficial dinâmico permite representar com maior fidelidade as transformações urbanas e seus reflexos sobre o escoamento superficial.

Apesar de percentuais semelhantes, o impacto absoluto é mais expressivo na CRI, devido ao maior grau de urbanização consolidada, que favorece a conversão da precipitação em escoamento superficial e gera maiores vazões de pico. Por outro lado, a CRV apresenta intensificação da resposta hidrológica, acompanhando o avanço da urbanização. Essa tendência indica que a bacia pode evoluir para um regime hidrológico semelhante ao da CRI caso o atual padrão de ocupação se mantenha.

Dessa forma, confirma-se que o grau de urbanização atua como fator determinante na intensificação da resposta hidrológica, estabelecendo uma relação direta entre impermeabilização do solo e elevação das vazões de pico.

4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a evolução da urbanização nas cabeceiras das bacias do Rio Vermelho e do Rio Itacorubi promoveu aumento da resposta hidrológica, refletido na elevação das vazões máximas estimadas entre 1991 e 2022. Embora ambas as bacias tenham apresentado incrementos semelhantes nas vazões de pico, a bacia do Itacorubi manteve maiores valores absolutos em razão de seu maior grau de urbanização consolidada.

A principal contribuição do trabalho consiste na adoção de um coeficiente de escoamento superficial (C) dinâmico, considerando para além da proporção de área urbana a evolução da morfologia urbana e da densidade populacional. Essa abordagem permitiu representar mudanças da urbanização que não seriam captadas pela utilização de coeficientes fixos

Os resultados evidenciam que a consolidação da ocupação urbana pode alterar significativamente a resposta hidrológica de uma bacia, mesmo quando as mudanças na extensão das áreas urbanizadas são relativamente moderadas. Nesse contexto, a adoção de coeficientes compatíveis

com a evolução da urbanização reduz o risco de subestimar as vazões de projeto e amplia a confiabilidade de estudos hidrológicos voltados ao planejamento urbano.

Por fim, os resultados reforçam a importância de incorporar a dinâmica da urbanização em estudos hidrológicos e de considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento territorial, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de drenagem mais resilientes frente ao avanço da urbanização e à intensificação de eventos extremos.

5 REFERÊNCIAS

CANHOLI, Aluísio Pardo. *Drenagem urbana e controle de enchentes* - 2ª ed. ampliada e atualizada. Oficina de Textos, 2015. 384p.

DEFESA CIVIL DE FLORIANÓPOLIS. Defesa Civil atende 90 ocorrências por conta das chuvas em Florianópolis. Florianópolis/SC, 2022. Disponível em: https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/defesacivil/index.php?pagina=notpagina&noti=25425. Acesso em: 24 abr. 2026.

DUTTA, Jayashri; CHOUDHURY, Runti; NATH, Bibhash. *Quantification of Urban Groundwater Recharge: A Case Study of Rapidly Urbanizing Guwahati City, India*. Urban Science, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 187, 2024.

EPAGRI/CIRAM. Dados Ambientais de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2025. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/dadosambientaispublicos/. Acesso em: 24 abr. 2026.

ESHTAWI, Tamer; EVERS, Mariele; TISCHBEIN, Bernhard. *Quantifying the impact of urban area expansion on groundwater recharge and surface runoff*. Hydrological Sciences Journal, [s. l.], v. 61, n. 5, p. 826–843, 2016.

FLORIANÓPOLIS. Modelo digital do terreno 2014 (MDT). Florianópolis/SC: [s. d.], 2014. Disponível em: https://laburb.paginas.ufsc.br/category/acervo-laburb/page/3/. Acesso em: 24 abr. 2026.

FONSECA, Claudi'Ariane Gomes; KOBIYAMA, Masato. *Investigação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento na gestão do risco de desastres hidrológicos*. Revista Geonorte, v.17, n.56, p.1-29, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.21170/geonorte.2026.V.17.N.56.01.29.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

KOBIYAMA, Masato et al. *Hydrological disasters reduction: lessons from hydrology*. In: SENS, M.L.; MONDARDO, R.I. (org.). Science and Technology for Environmental Studies: Experiences from Brazil, Portugal and Germany. Florianópolis: Federal University of Santa Catarina, 2010. p. 49–72.

MAPBIOMAS. Coleção 10.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. [S. l.], 2025. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org. Acesso em: 25 mar. 2026.

SIDDIK, Md Sifat et al. *The impact of land use and land cover change on groundwater recharge in northwestern Bangladesh*. Journal of Environmental Management, [s. l.], v. 315, p. 115130, 2022.

WILKEN, Pedro Sampaio. *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo/SP: CETESB, 1978.