



Campos dos Goytacazes/RJ

Análise da Evolução da Impermeabilização do Solo na Bacia do Córrego Ipiranga e sua Influência na Ocorrência de Inundações Bruscas no Bairro Santa Luzia - Juiz de Fora/MG

Joviano Elias de Souza Assis¹ ; Camila Rosa Galvão da Costa²; Luís Fernando Martins³; Amanda Rodrigues da Silva Oliveira⁴; Maria Gabriela Marotta⁵ & Vanessa Eurico de Oliveira⁶

RESUMO – O crescimento populacional urbano e suas demandas se refletem em uma série de problemas socioambientais, dentre estes se destacam os desastres. Haja vista a condição socioeconômica desfavorável de grande parte da população, muitos buscam os locais menos valorizados para ocupar, e muitas vezes esses estão situados próximos aos cursos d'água (sendo estas, áreas suscetíveis à inundação). Em Juiz de Fora-MG, uma importante área que sofre com esses cenários é o bairro Santa Luzia, situado na região sul do município, e cuja última intervenção de macrodrenagem ocorreu entre o final da década de 60 e início da década de 70. A consequência da ocupação desordenada em áreas ribeirinhas, são as inundações bruscas que geram grandes prejuízos. A partir disso, o objetivo do estudo em questão é compreender como se deu a evolução urbana e processo de impermeabilização/antropização da região de planejamento sul de Juiz de Fora, bem como, qual foi a influência deste cenário na maior frequência de inundações neste território. Como resultados, averiguou-se a intensa impermeabilização da bacia e que as chuvas deflagradoras de inundação passaram de um tempo de recorrência de 75 anos, em 1975, para apenas 4,3 anos em 2023.

ABSTRACT– Urban population growth and its demands are reflected in a series of socio-environmental problems, among which disasters stand out. In view of the unfavorable socioeconomic condition of a large part of the population, many look for less valued places to occupy, and these are often located close to watercourses (these being areas susceptible to flooding). In Juiz de Fora-MG, an important area that suffers from these scenarios is the Santa Luzia neighborhood, located in the southern region of the municipality, and whose last macro-drainage intervention took place between the end of the 60's and the beginning of the 70's. As a consequence of disordered occupation in riverside areas, sudden floods are the ones that cause great damage. From this, the objective of the study in question is to understand how the urban evolution and process of waterproofing/anthropization of the southern planning region of Juiz de Fora took place, as well as what was the influence of this scenario on the higher frequency of floods in this territory. As a result, it was verified the intense waterproofing of the basin and that the rains triggering floods went from a recurrence time of 75 years, in 1975, to only 4.3 years in 2023.

Palavras-Chave – Inundação; desastres hidrológicos; macrodrenagem.

¹) Engenheiro Civil - Defesa Civil de Juiz de Fora, Avenida Brasil, 2001 - 9º Andar - Centro - Juiz de Fora/MG; joviano.assis@engenharia.uff.br.

²) Engenheira Civil - Defesa Civil de Juiz de Fora, Avenida Brasil, 2001 - 9º Andar - Centro - Juiz de Fora/MG; camilargalvaocosta@gmail.com.

³) Engenheiro Civil - Defesa Civil de Juiz de Fora, Avenida Brasil, 2001 - 9º Andar - Centro - Juiz de Fora/MG; luis.fernando@engenharia.uff.br.

⁴) Engenheira Civil - Defesa Civil de Juiz de Fora, Avenida Brasil, 2001 - 9º Andar - Centro - Juiz de Fora/MG; amanda.rodrigues@engenharia.uff.br.

⁵) Estudante de Engenharia Civil - Defesa Civil de Juiz de Fora, Avenida Brasil, 2001 - 9º Andar - Centro - Juiz de Fora/MG; mariagabrielamarotta@engenharia.uff.br.

⁶) Estudante de Geografia - Defesa Civil de Juiz de Fora, Avenida Brasil, 2001 - 9º Andar - Centro - Juiz de Fora/MG; vanessa.eurico2001@gmail.com.



Campos dos Goytacazes/RJ

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional urbano e suas demandas se refletem em uma série de problemas socioambientais que se evidenciam de maneira cotidiana em cidades de todo o mundo. Com base nisso, Mendonça (2004, p.140) aponta que:

O processo de urbanização atingiu, no final do século XX e início do século XXI, índices bastante elevados, resultando que na atualidade a população do planeta é, majoritariamente, urbana. Esta condição engendra uma série de novos complexos problemas para a compreensão e gestão do espaço e da sociedade urbana, sendo que aqueles de ordem socioambiental encontram-se destacados no contexto das cidades, particularmente daqueles países em condições socioeconômicas de alta complexidade, como é o caso do Brasil.

A partir da segunda metade do século XX, muitas cidades brasileiras registraram um aumento populacional acelerado e tal fato, como destaca Lima e Amorim (2015, p.183), contribuiu para o “desencadeamento de situações vinculadas à falhas de planejamento para subsidiar o processo de expansão urbana”.

A análise dos cenários urbanos brasileiros revela a forma desordenada de apropriação, norteadas por cenários onde há falhas de planejamento que consideram o disciplinamento do uso e ocupação do solo como prerrogativa básica de seu ordenamento. Essa desordenação traz como consequência, níveis abusivos de degradação ambiental evidentes no cotidiano urbano (OLIVEIRA, 1998, p.3).

Conforme Eckhardt (2008), o processo de crescimento dos centros urbanos nos países do Terceiro Mundo, como é o caso do Brasil, possui uma dinâmica própria, marcada por desajustes estruturais que influenciam decisivamente na qualidade de vida da população. O reflexo da falta de planejamento territorial é apresentado de diversas formas, como por exemplo, por meio da utilização de áreas potencialmente interessantes para determinados empreendimentos (turismo, agropecuária, etc) ocupadas pela expansão urbana desordenada ou então áreas com sérios riscos ambientais (inundações, deslizamentos, etc.), sendo utilizadas para implantação de moradias. A partir deste cenário, tem-se as cidades caminhando a um cenário de caos ambiental urbano com custo extremamente alto para a sociedade.

A consequência de todo o cenário mencionado é a ocorrência de volumosos episódios de inundação em território brasileiro, entre 1991 e 2012, totalizando 4.691 registros oficiais. Este número representa 12% do total de ocorrências de desastres no Brasil. Somente o estado de Minas Gerais (onde se encontra o município de Juiz de Fora) registrou um total de 1.050 ocorrências desse tipo ao longo do período mencionado (CEPED/UFSC, 2013).



Campos dos Goytacazes/RJ

Em Juiz de Fora/MG, as inundações são fenômenos que ao longo do período chuvoso (compreendido entre os meses de outubro e março) ocorrem de maneira recorrente, gerando prejuízos frequentes aos moradores e comerciantes que atuam nas áreas de risco hidrológico. Uma dessas áreas e alvo principal deste estudo é o Bairro Santa Luzia, situado na região sul do município.

Segundo Tomaz (2017), o bairro Santa Luzia tem sua origem na antiga Fazenda Cachoeirinha, que recebeu esse nome devido a existência de uma queda d'água no Córrego Ipiranga, no final da atual Avenida Santa Luzia. Havia nesta área uma forte produção de café e cana de açúcar, bem como grande rebanho de gado leiteiro. O proprietário da Fazenda, Coronel José Mário Villela, foi o responsável pelo parcelamento de solo da área, no início dos anos 1940, quando teve início a ocupação da região, que atualmente sofre com a ocorrência de inundações. Em 19 de novembro de 1948, o ex-prefeito de Juiz de Fora - Dilermando da Costa Cruz Filho, por meio da Lei Municipal nº 90/1948, alterou a denominação da área da antiga Fazenda Cachoeirinha para o bairro Santa Luzia.

Desde o processo de parcelamento de solo da antiga Fazenda Cachoeirinha até o momento atual, a bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga sofreu consideravelmente com as ações antrópicas e com o processo de urbanização nesta área. Já na década de 1960, o governo municipal verificou a necessidade de obras estruturais de forma a mitigar riscos hidrológicos causados pelo intenso processo de ocupação dessa área à época, sendo que tal intervenção perdura até os dias atuais. Uma das consequências deste cenário de antropização ao longo do tempo, possivelmente foi o aumento da recorrência de desastres (inundações). A partir destes cenários, o estudo em questão tem como objetivo principal compreender como se deu a evolução do processo de impermeabilização/antropização da região de planejamento sul de Juiz de Fora (microbacia do Córrego Ipiranga), bem como, qual foi a influência deste cenário na maior frequência de inundações neste território.

METODOLOGIA

O estudo em questão trata-se de uma pesquisa aplicada que visa através de análises técnicas e observacionais compreender como se deu o crescimento da região de planejamento sul do município de Juiz de Fora, e também analisar a influência da impermeabilização do solo neste território na ocorrência de inundações bruscas no Bairro Santa Luzia.



Campos dos Goytacazes/RJ

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizadas as seguintes bases de dados georreferenciadas da Prefeitura de Juiz de Fora: dados sobre as bacias hidrográficas do município; localização dos cursos d'água; dados geomorfológicos; dados geotécnicos; dados sobre as condições de uso e ocupação do solo da região de interesse; bem como, dados sobre o processo de evolução urbana da região de planejamento sul. Também foram tomados como base, dados de precipitação pluviométrica dos últimos anos na estação automática monitorada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) no Bairro Ipiranga - próximo ao Bairro Santa Luzia - implantado na Creche Comunitária Lourdes de Resende. Ademais, também foi considerado o histórico de atendimentos oriundos de inundações no bairro de estudo, disponibilizados pela Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil, visando correlacionar a data e abrangência destes eventos, com os dados previamente citados (dados cartográficos e pluviométricos). Por fim, realizou-se um estudo de campo para avaliar as dimensões da seção do canal pelo qual flui o Córrego Ipiranga.

No que diz respeito ao processamento dos dados levantados para o desenvolvimento do estudo, os mesmos foram trabalhados em 04 (quatro) passos. O primeiro passo, visou realizar uma análise sobre a base cartográfica de evolução urbana do município de Juiz de Fora, de maneira a compreender qual o percentual de área antropizada/impermeabilizada em 1975 (imediatamente posterior à implantação de obra de mitigação de risco de inundação no Bairro Santa Luzia) e em 2023 (imediatamente posterior à ocorrência de duas inundações - uma em dezembro de 2022 e outra em janeiro de 2023), no referido bairro. Tais dados foram manipulados em *softwares* de geoprocessamento gratuito (QGIS) e em planilhas eletrônicas (*software Microsoft Excel*).

No segundo passo foi realizada uma análise de informações pré-existentes da bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga, que possibilitou a obtenção de dados para o desenvolvimento do hidrograma SCS (*Soil Conservation Service*). As variáveis a serem determinadas foram calculadas para diversas intensidades de chuva, variando entre 25 mm/h e 100mm/h. Dentre os dados obtidos e trabalhados em planilha eletrônica, destacam-se os seguintes parâmetros: I) área da bacia hidrográfica (km²); II) comprimento axial do curso d'água principal da bacia (km); III) largura média da bacia (km); IV) fator de forma da bacia (kf); V) perímetro da bacia (km); VI) coeficiente de compacidade da bacia (kc); VII) comprimento total dos cursos d'água (km); VIII) densidade de drenagem da bacia (km/km²); IX) desnível da bacia (m); X) distância horizontal percorrida - d (m);



Campos dos Goytacazes/RJ

XI) declividade do curso d'água principal - córrego Ipiranga - i (m/m); XII) tempo de concentração (t_c) - obtido por meio da equação de Kirpich (min); XIII) tempo de resposta da bacia (t_L) (min); XIV) tempo de pico de precipitação (t_P) (min); XV) tempo de base do hidrograma SCS - t_B (min); XVI) tempo de recorrência (anos) das chuvas utilizadas para o desenvolvimento do hidrograma - sendo este obtido por meio da equação de intensidade-duração-frequência (IDF) de Juiz de Fora (desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM/SGB); XVII) coeficiente de runoff (c) médio da bacia; XVIII) vazão de pico (Q_p) (m^3/s); XIX) curve number (CN) médio da bacia; XX) retenção potencial máxima (S); e XXI) precipitação excedente - P_{ef} (mm). Ressalta-se que os dados dos itens XVI, XVII, XVIII, XVIII, XIX, XX e XXI foram analisados em 02 (dois) momentos históricos: a) o primeiro, ao final do ano de 1975 (visando compreender o efeito da impermeabilização do solo, pós-implantação de obra estruturante para mitigar riscos de inundações no bairro Santa Luzia); b) o segundo, já em 2023, em momento posterior a ocorrências de inundações em dezembro de 2022 e janeiro de 2023, no bairro Santa Luzia). Trabalhando com todas essas variáveis foi possível determinar a vazão de pico e tempo de base do hidrograma SCS para 1975 e 2023.

O terceiro passo permitiu a obtenção do modelo digital de elevação (MDE) da bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga. Em 2007, foi realizado um levantamento aerofotogramétrico em todo o território de Juiz de Fora (PJF, 2022). Do referido levantamento foram geradas curvas de nível de resolução de 1 metro para a área urbana. Sendo assim, esse elemento foi manipulado em *software* de geoprocessamento gratuito (QGIS), originando assim o MDE da bacia de interesse.

Por fim, de posse do hidrograma SCS e do MDE, foi realizada a modelagem hidrodinâmica de cenário de cheias naturais no *software* HEC-RAS (para as vazões de pico correlatas às intensidades de chuva de 25 mm/h a 100 mm/h - para os cenários de impermeabilização do solo dos anos de 1975 e 2023). A partir disso, foi possível realizar uma análise de qual intensidade de chuva ao longo do período de 1 (uma) hora (em cada um dos anos mencionados), apresentaria potencial risco para cenários de inundação no bairro Santa Luzia. Informa-se que para a modelagem foi considerado cenário de regime permanente, para simplificar a análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de dados observacionais e da base de dados de atendimentos da Defesa Civil de Juiz de Fora foi possível identificar que entre 1975 (quando foram realizadas obras de mitigação de riscos de inundação no Bairro Santa Luzia) e 2023 (quando o município de Juiz de Fora enfrentou recorrentes inundações no mencionado bairro), a área em questão sofreu substancialmente com o processo de urbanização desordenado, tendo como consequência diversas novas áreas impermeabilizadas e a presença de solo exposto - favorecendo o processo de assoreamento dos cursos d'água. Em síntese os resultados desta primeira análise podem ser observados na Tabela 1 e na Figura 1.

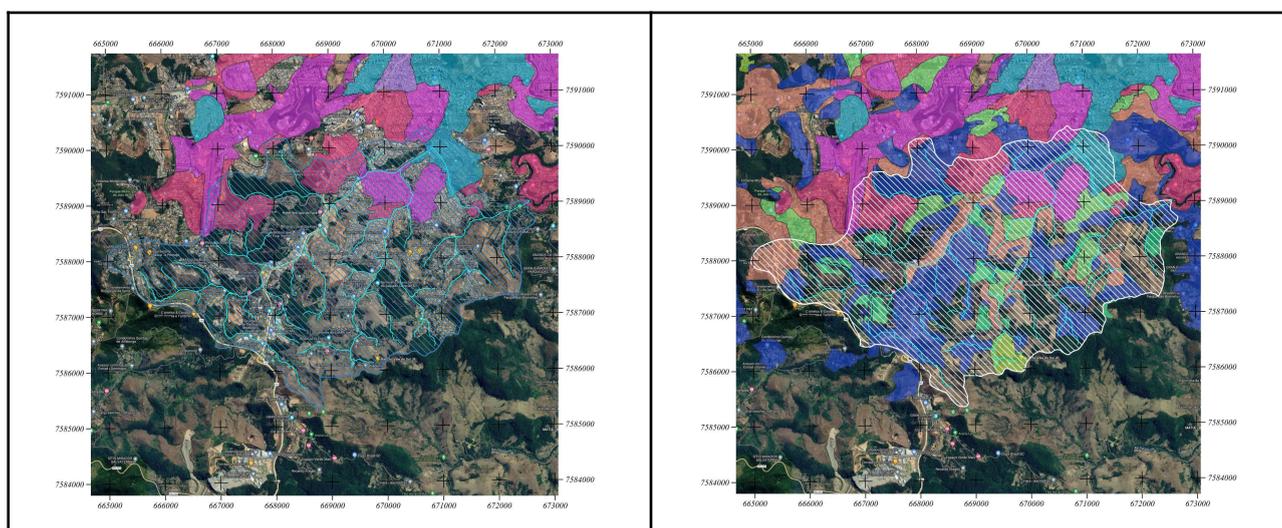


Figura 1 - Comparação entre a ocupação antrópica/impermeabilização da bacia do Córrego Ipiranga em 1975 (esquerda) e 2023 (direita)

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 1 - Evolução da ocupação antrópica na bacia do Córrego Ipiranga entre 1964 e 2023

No	Período	Área Antropizada/Ocupada (km ²) por período	Área Antropizada/Ocupada (km ²) total	Percentual da Área da Bacia Antropizada
1	Entre 1964 e 1975	1,394	3,132	14,81%
2	Entre 1976 e 1980	1,401	4,533	21,43%
3	Entre 1981 e 1990	1,938	6,471	30,59%
4	Entre 1991 e 2007	6,399	12,869	60,85%
5	Entre 2007 e 2011	0,324	13,194	62,38%
6	Entre 2011 e 2023	0,991	14,185	67,06%

Fonte: Autores, 2023.

A partir dos dados apresentados na Figura 1 e Tabela 1, infere-se que após as obras de macrodrenagem do Córrego Ipiranga realizadas ao final da década de 1960 e início da década de 1970, a ocupação antrópica cresceu exponencialmente na bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga, cenário este que consequentemente favoreceu a um grande aumento das áreas impermeabilizadas (cerca de 11 km²) e propensas a uma maior parcela do escoamento superficial.

Visando compreender o efeito deste processo de impermeabilização do solo na ocorrência de inundações, foi realizada a modelagem hidrodinâmica no *software* Hec-RAS para os anos de 1975 e 2023 na bacia do Córrego Ipiranga. Um dos passos para essa análise é o desenvolvimento do MDE da bacia, que pode ser visualizado na Figura 2.

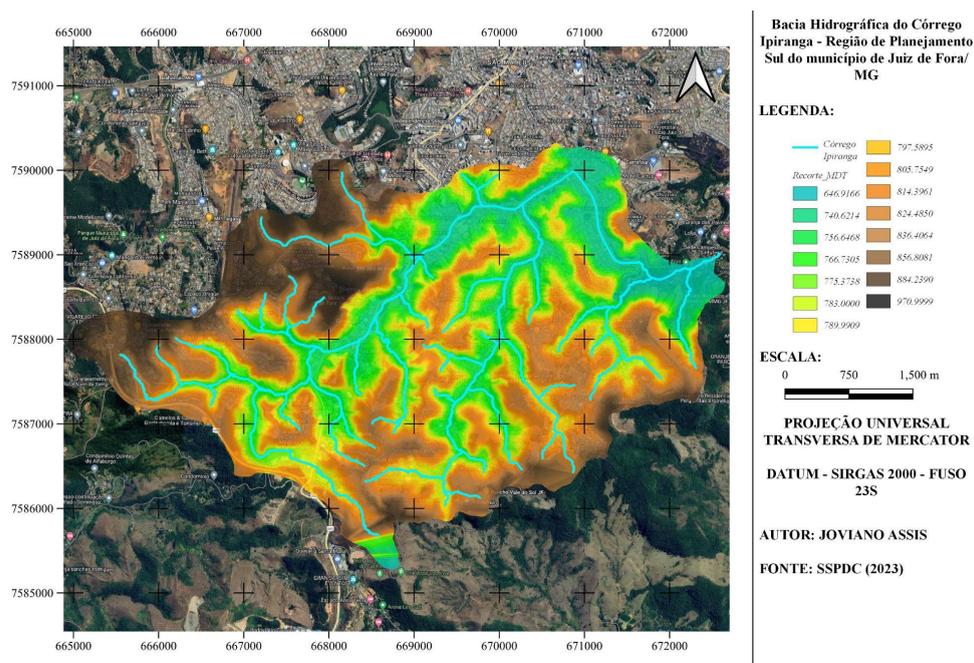


Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga - Juiz de Fora/MG.
Fonte: SSPDC, 2023.

A partir das planilhas eletrônicas foi obtida a Tabela 2, que denota em cima de diversas intensidades de chuva “i” (mm/h), quais seriam as vazões de pico para o cenário de ocupação do solo em 1975 e 2023 na bacia do Córrego Ipiranga - região de planejamento Sul de Juiz de Fora/MG.

Tabela 2 - Análise das vazões de pico - Qp (m³/s) na bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga em 1975 e 2023

Intensidade da chuva - i (mm/h)	Vazão de Pico - Qp (m ³ /s) - 1975	Vazão de Pico - Qp (m ³ /s) - 2023
25	0,04029397205	9,381665435



Campos dos Goytacazes/RJ

Intensidade da chuva - i (mm/h)	Vazão de Pico - Q_p (m ³ /s) - 1975	Vazão de Pico - Q_p (m ³ /s) - 2023
30	0,4160345157	17,4108418
35	2,131979631	27,24340347
40	5,049179658	38,58143436
45	9,047251313	51,18921383
50	14,0213769	64,87779118
55	19,87986729	79,49393422
60	26,54216886	94,91206996
65	37,59200069	117,9675829
70	46,52541015	135,7407275
75	59,25766835	166,7754866
80	70,06468327	187,1798732
85	86,83950937	213,7261045
90	99,6022467	235,6335241
95	122,6758401	259,3072675
100	137,6981402	282,0977928

Fonte: Autores, 2023.

Com base em dados observacionais e pluviométricos históricos, verificou-se recentemente nas inundações ocorridas em dezembro de 2022 e janeiro de 2023, no bairro Santa Luzia, que o limiar para inundações bruscas é de 55 mm/h, vazão de pico correspondente de 79,49 m³/s (vazão aproximadamente 4 vezes superior à vazão de pico correspondente a mesma intensidade de chuvas em 1975). Tal dado foi corroborado pela modelagem gerada no *software* Hec-Ras e apresentada na Figura 3. Ademais, visando compreender o cenário de 1975, foi realizada a modelagem com as vazões da Tabela 2, para verificar qual a precipitação era o limiar para inundações. Foi possível inferir que a intensidade de chuva deflagradora era de 90 mm/h e vazão de pico de 99,6 m³/s.

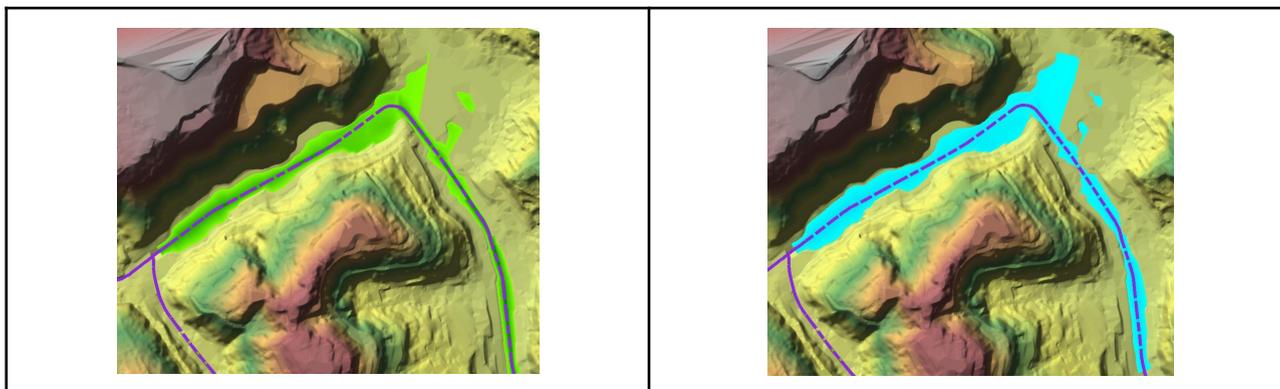


Figura 3 - Mancha de inundação gerada por modelagem hidrodinâmica no bairro Santa Luzia, para os anos de 1975 (esquerda) e 2023 (direita).

Fonte: Autores, 2023.

Para a análise final foi utilizada a IDF de Juiz de Fora (equação 1) apresentada pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2014).

$$T = \left[\frac{i(t+c)^d}{a} \right]^d \quad (\text{Equação 1), onde:}$$

- i é a intensidade da chuva (mm/h) de interesse - para 1975 (90 mm/h) e para 2023 (55 mm/h); T é o tempo de retorno (anos); t é a duração da precipitação (minutos) - 60 minutos; a, b, c, d são parâmetros da equação; $a = 3000$; $b = 0,173$; $c = 23,964$; $d = 0,96$.

Por fim, com base nos dados apresentados e correlacionando as informações com a IDF de Juiz de Fora, tem-se que em 1975 as inundações eram deflagradas por chuvas de tempo de recorrência - $TR = 75$ anos (possibilidade de 1,33% do evento deflagrador ser igualado em um mesmo ano), enquanto que em 2023 as inundações foram deflagradas por chuvas de tempo de recorrência - $TR = 4$ anos (possibilidade de 25% do evento deflagrador ser igualado em um mesmo ano).

CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado, verificou-se que o processo de urbanização e ocupação desordenada ocorrido na região de planejamento sul de Juiz de Fora - MG, influenciou de maneira significativa na ocorrência de inundações bruscas no Bairro Santa Luzia na atualidade. Constatou-se ainda que a obra de macrodrenagem realizada entre o final da década de 1960 e início da década de 1970, foi fundamental para a minimização das inundações, haja vista que só ocorriam



Campos dos Goytacazes/RJ

com eventos extremos de recorrência de 75 anos (probabilidade de 1,33% de ser igualado em um mesmo ano). Após 53 anos, em 2023, com a bacia quase 70% impermeabilizada, os eventos deflagradores de inundações passaram a possuir tempo de recorrência de 4 anos, ocorrendo de maneira mais frequente e danosa à população local.

Neste sentido, salienta-se a importância da gestão municipal promover investimentos públicos em obras de infraestrutura, capazes de minimizar a ocorrência desses eventos adversos e mitigar os riscos e danos causados à população. Por fim, conclui-se que uma possível solução para o caso específico da bacia do Córrego Ipiranga, localizada no bairro Santa Luzia, seria a execução de obras de macrodrenagem que forneçam pelo menos o dobro da capacidade de vazão atual.

REFERÊNCIAS

- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil** - equação de intensidade, duração e frequência - Juiz de Fora/MG. 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br>. Acesso em: 09 fev. 2023.
- ECKHARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado-RS**. 2008. 116 f. Dissertação (mestrado), Curso de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2008.
- LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. de C. T. Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba-PR, v.10, n.15, jul-dez. 2014. 23f.
- MENDONÇA, F. A.; S.A.U - Sistema Socioambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: _____. (Org.) **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba-PR: Ed. UFPR, 2004.
- OLIVEIRA, R. C. de. **Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em área urbana, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo**: estudo de caso da bacia do Córrego do Gregório. Dissertação (Mestrado), EESC-USP, São Carlos - SP, 1998.
- SISDEC - Sistema de Informações da Defesa Civil. Juiz de Fora, 2023.
- TOMAZ, V. **Santa Luzia e o Córrego Ipiranga**. Juiz de Fora/MG, out. 2017. Disponível em: <https://diarioregionaldigital.com.br/?p=83070>. Acesso em: 09 fev. 2023.
- UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2ª Ed. Florianópolis - SC: Ed. CEPED/UFSC, 2013.