

O impacto da implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS) em um bairro central de uma cidade de grande porte de Minas Gerais

Wevelton Ney Machado de Oliveira

Mestre, UFJF, Brasil.

twmachado@yahoo.com.br
<https://orcid.org/0009-0004-0103-9828>

Jonathas Batista Gonçalves Silva

Professor Doutor, UFJF, Brasil.

jonathas.silva@ufjf.br
<https://orcid.org/0000-0001-5812-2623>

Maria Helena Rodrigues Gomes

Professora Doutora, UFJF, Brasil.

mariahelena.gomes@ufjf.br
<https://orcid.org/0000-0001-6695-2918>

Cézar Henrique Barra Rocha

Professor Doutor, UFJF, Brasil.

cezar.barra@ufjf.br
<https://orcid.org/0000-0003-1321-158X>

Henrique da Silva Pizzo

Doutor, Cesama, Brasil.

henrique.dipizzo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2334-1214>

Submissão: 04/11/2024

Aceite: 04/02/2025

OLIVEIRA, Wevelton Ney Machado de; SILVA, Jonathas Batista Gonçalves; GOMES, Maria Helena Rodrigues; ROCHA, Cézar Henrique Barra; PIZZO, Henrique da Silva. O impacto da implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS) em um bairro central de uma cidade de grande porte de Minas Gerais. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 88, 2025. DOI: [10.17271/23188472138820255514](https://doi.org/10.17271/23188472138820255514). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5514

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

O impacto da implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS) em um bairro central de uma cidade de grande porte de Minas Gerais

RESUMO

O crescimento urbano e a impermeabilização do solo geram e intensificam os processos do escoamento superficial, o que sobrecarrega os sistemas de drenagem convencionais e contribui para os problemas decorrentes dos eventos pluviométricos. O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos da adoção dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis na bacia hidrográfica do bairro Bom Pastor, na cidade de Juiz de Fora, MG, por meio de um estudo das características morfométricas e pluviométricas da região, visando determinar o escoamento superficial no ponto exutório. Entre os diversos sistemas de drenagens, o telhado verde, o microrreservatório e o pavimento permeável foram selecionados como os mais adequados à realidade local. Fez-se um comparativo do volume do escoamento superficial gerado, consideradas a situação atual e a situação após a implantação dos sistemas de drenagens. Obteve-se uma redução de 21,23% do escoamento superficial que chega ao ponto exutório, por meio da redução do volume de escoamento gerado pela fonte. Busca-se contribuir com as informações geradas na região e estimular a implantação desses sistemas de drenagens, de modo a amenizar os transtornos causados pelo excessivo escoamento superficial local.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem urbana. Alagamentos. Sustentabilidade.

The impact of implementing Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in a central neighborhood of a large city in Minas Gerais

ABSTRACT

Urban growth and soil sealing generate and intensify surface runoff processes, which overloads drainage systems and creates problems arising from rainfall events. The objective of the work was to analyze the effects of adopting sustainable urban drainage systems in the river basin of the Bom Pastor neighborhood in the city of Juiz de Fora, MG, by carrying out a study of the morphometric and rainfall characteristics of the region to determine the flow superficial at the outlet point. They were selected from the various drainage systems; the green roof, the micro-reservoir and the permeable pavement as being the most appropriate to the local reality. A comparison was made of the volume of surface runoff generated considering the current situation and after the implementation of drainage systems. A 21.23% reduction in surface runoff reaching the outlet point was achieved, through the reduction in the volume of runoff generated by the source. The aim is to contribute to the information generated in the region and encourage the implementation of these drainage systems in order to alleviate the problems caused by excessive local surface runoff.

KEYWORDS: Urban drainage. Flooding. Sustainability.

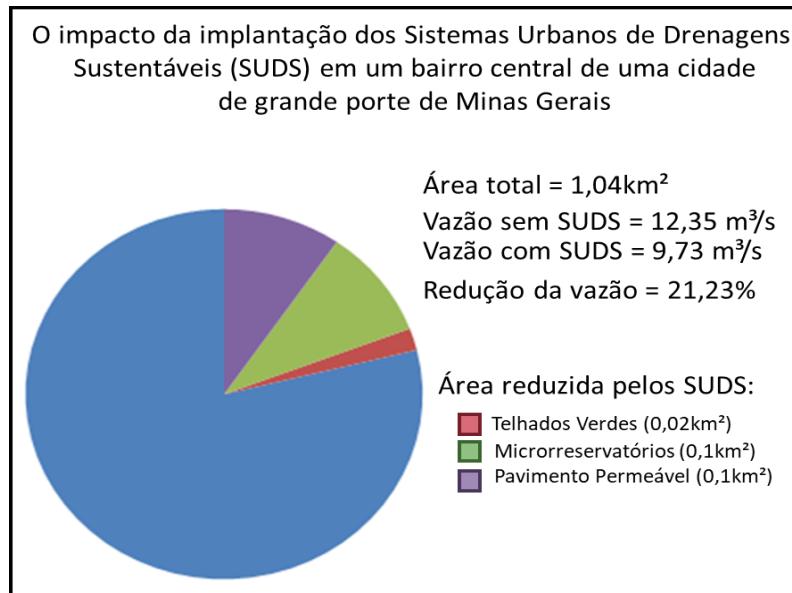
El impacto de la implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en un barrio central de una gran ciudad de Minas Gerais

RESUMEN

El crecimiento urbano y el sellado del suelo generan e intensifican los procesos de escorrentía superficial, lo que sobrecarga los sistemas de drenaje convencionales y contribuye a los problemas causados por las precipitaciones. El objetivo de este estudio fue analizar los efectos de la adopción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la cuenca hidrográfica del barrio Bom Pastor, en la ciudad de Juiz de Fora (MG, Brasil), mediante el estudio de las características morfométricas y pluviométricas de la región, con el fin de determinar el escurrimiento superficial en el punto de salida. Entre los diversos sistemas de drenaje, se seleccionaron el tejado verde, el microrreservorio y el pavimento permeable como los más adecuados para la situación local. Se comparó el volumen de escorrentía superficial generado en las dos situaciones (la actual y la tras la implantación de los sistemas de drenaje). Se obtuvo una reducción del 21,23 % en la cantidad de escorrentía superficial que llega al punto de desagüe, ya que se redujo el volumen de escorrentía generado por la fuente. El objetivo es contribuir a la información generada en la región y fomentar la implantación de estos sistemas de drenaje para paliar los problemas causados por el exceso de escorrentía local.

PALABRAS CLAVE: Drenaje urbano. Inundación. Sostenibilidad.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

Desde que o homem começou a viver em comunidade, a ocupação urbana tem alterado as características do solo, tornando-o mais impermeável, favorecendo o aumento do escoamento superficial e a diminuição da infiltração de água no solo. Com a expansão dessas áreas impermeabilizadas, o maior volume de água escoado superficialmente tem causado o aumento dos alagamentos e inundações urbanas, além da degradação da qualidade das águas (Vicente; Faria; Formiga, 2023, p.2, *tradução nossa*).

Nas últimas décadas, com a urbanização constante e o desenvolvimento populacional, econômico e social, houve o surgimento de grandes centros urbanos e a necessidade da melhoria das vias de circulação, além da extrema ocupação do solo por parte das edificações. Nesse cenário, características como volume e qualidade do ciclo da água são alteradas (Schueler; Carvalho, 2024. p.282, *tradução nossa*). Com isso, o solo, que antes era descoberto e permeável, passou por vários processos de impermeabilização, gerando diversos problemas relacionados à drenagem, aumentando a ocorrência de alagamentos e diminuindo a qualidade das águas pluviais (Vairinhos, 2017, p.1, *tradução nossa*).

As enchentes, inundações e alagamentos, especialmente em áreas urbanas, afetam a sustentabilidade nas cidades e trazem prejuízos à população. A redução da permeabilidade do solo contribui para a não recarga do lençol freático, podendo acarretar problemas sérios de secas em períodos de grandes estiagens. Nas áreas onde enchentes ocorrem naturalmente, como as planícies de inundações de canais fluviais, o uso do solo sem planejamento racional e a ocupação desordenada, associados à impermeabilização do solo, têm ampliado o quadro de insustentabilidade, prejudicando a infraestrutura das cidades e colocando em risco a vida de milhões de pessoas, sobretudo as que vivem em regiões de várzeas dos rios (Marostica; Silveira, 2024, p.2, *tradução nossa*).

A alta taxa de impermeabilização do solo e o alto índice de ocupação irregular — ou não planejada — configuram um fator contribuinte para a ineficácia dos sistemas de drenagem urbana. Nesse sentido, faz-se necessária a busca por novas técnicas para mitigar os efeitos da urbanização, aumentando a infiltração das águas no solo e o tempo de retardo do escoamento superficial na fonte, mantendo assim a água nas bacias hidrográficas urbanas por mais tempo (Pizzo; Galil, 2021, p.34, *tradução nossa*).

Entende-se que os alagamentos estão relacionados com o modelo construtivo das cidades e refletem os problemas gerados pelos processos de construção de ambientes urbanos, caracterizados pela insustentabilidade dos altos níveis de impermeabilização, o que torna ineficientes os atuais sistemas de drenagens (Corrêa; Teixeira, 2024, p.298, *tradução nossa*). Dessa ineficiência, surge a necessidade de ampliar a investigação de materiais e técnicas relacionadas à construção de um ambiente capaz de minimizar seus efeitos negativos.

2 OBJETIVO

Objetivou-se identificar a possibilidade da aplicação dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS) para reduzir o escoamento superficial e os problemas de alagamentos causados pelos excessos de áreas impermeabilizadas no bairro Bom Pastor, na cidade de Juiz de Fora, MG.

2.1 Objetivos específicos

Analisar hidrologicamente a bacia de contribuição da área de estudo.

Selecionar os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS) que melhor se adaptam à realidade da área de estudo e avaliar cenários considerando o uso desses sistemas.

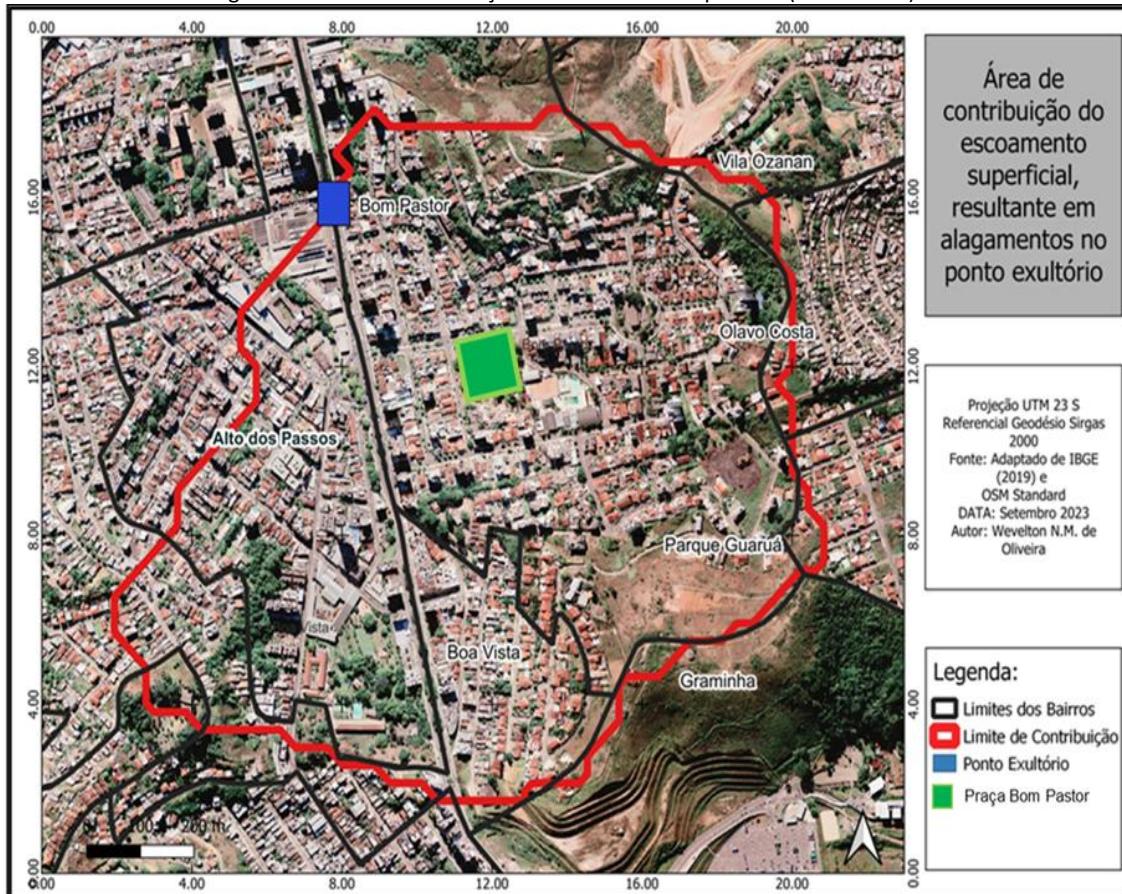
3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

Para o estudo, foi adotada uma área formada por parte do bairro Bom Pastor e seus respectivos bairros vizinhos, que poderiam servir de áreas de contribuição em relação ao volume pluviométrico e escoamento superficial. Segundo a Prefeitura de Juiz de Fora (2023), o bairro encontra-se na região central da cidade. Para contemplar as possíveis áreas de contribuição supracitadas, foram consideradas partes dos bairros Alto dos Passos, Boa Vista, Graminha, Parque Guaruá, Olavo Costa e Vila Ozanan.

Para a análise hidrológica, foram consideradas as características morfométricas, de modo a apresentar os fatores determinantes para o comportamento do escoamento superficial da região. Na Figura 1, apresenta-se a área de contribuição da área de estudo.

Figura 1 - Áreas de contribuição do escoamento superficial (Bom Pastor)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.1.1 Área e perímetro da região de contribuição

Na determinação da área da bacia de contribuição, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo banco de dados geomorfométricos do Brasil, Topodata, numa escala de 30 metros. O MDE foi submetido a uma análise de consistência, na qual foram eliminadas as células com depressões espúrias. Gerado o mapa de curvas de nível, constatou-se uma diferença de cotas de 105 m, com a parte mais baixa a 704 m, no ponto exutório, e a mais alta a 809 m. Essas etapas foram necessárias para delimitar a bacia de contribuição. Para o cálculo da área e do perímetro, foram utilizadas as ferramentas “CalcArea” do software QGIS.

3.1.2 Relevo da bacia de contribuição

Nesta etapa foram determinadas a hipsometria e a declividade média do terreno, sendo utilizado o MDE disponível no Topodata.

Para a hipsometria, utilizou-se o MDE recortado para a área de contribuição, verificadas as estatísticas da banda de seus respectivos valores mínimos e máximos.

A análise da declividade do terreno foi feita com o MDE, retirado do Topodata, por meio da ferramenta “Slope” (declive) do software QGIS. Valores foram atribuídos segundo a

classificação de declividade percentual da Embrapa (1979), de modo a criar um padrão de cores para a área recortada.

3.1.3 Índices pluviométricos

Para determinar as curvas de intensidade, duração e frequência (IDF), foram utilizados os dados do programa Plúvio 2.1 referentes à cidade de Juiz de Fora, aplicados à fórmula de obtenção da curva IDF no Excel. Foram escolhidos tempos de retorno de 5 e 10 anos, para utilização nas equações segundo as orientações do Manual de Drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), e intervalos de tempo variados, de 5 minutos e 24 horas.

3.1.4 Tempo de concentração

O Manual de Drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011) sugere dois tipos de equações, de acordo com as características (escoamento superficial ou escoamento em canal) do local objeto de cálculo. Para o presente caso, será utilizada a sugestão para escoamento superficial, representada pela Equação 1, pois esta é a mais adequada para a região. O parâmetro n (coeficiente de rugosidade de Manning) escolhido foi de 0,011, valor utilizado para superfícies alisadas de concreto, asfalto, pedregulho ou solo exposto. Para o P_{24} , foi adotado o valor da intensidade de chuva com o período de retorno de cinco anos (microdrenagem, área residencial e pior caso), no tempo de 24h.

$$T_c = \frac{5,474 \times (n \times L)^{0,8}}{P_{24}^{0,5} \times S^{0,4}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração (min);

n = coeficiente de rugosidade de Manning (conforme a tabela);

L = comprimento do escoamento (m);

P_{24} = precipitação com 24h de duração (mm);

S = declividade (m/m).

3.2 Seleção dos SUDS

O critério de seleção dos SUDS foi a facilidade da adoção dos sistemas, considerando que estes seriam implantados pela população local em edificações já existentes, assim prezando pela baixa interferência estrutural. Para contemplar a realidade local, optou-se pelos sistemas que geram controle na fonte, visando à diminuição e ao retardamento do escoamento superficial.

3.2.1 Telhado verde

Parte do volume precipitado seria absorvido pelas plantas e armazenado no reservatório do telhado verde, retardando o escoamento superficial.

3.2.2 Microrreservatório

O microrreservatório armazenaria o volume do telhado convencional e das demais áreas terreas, recebendo o volume excedente à capacidade do telhado verde, funcionando assim em conjunto com este.

3.2.3 Pavimento permeável

A aplicação do pavimento permeável seria nas garagens e em outras áreas de circulação propícias a receber a água da chuva, direta ou indiretamente.

3.3 Cálculo da vazão da área de contribuição para o cenário atual (sem SUDS)

A vazão foi calculada pelo Método Racional modificado, dado pela Equação 2, com coeficiente de escoamento (C) de 0,75, referente ao pior caso de área residencial. Todo o limite da área de contribuição foi considerado como área impermeável.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \phi \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

Q = vazão (m^3/s);

C = coeficiente de runoff (adimensional);

I = intensidade pluviométrica (mm/h);

A = área (km^2);

ϕ = coeficiente de retardo (adimensional).

Conforme parâmetros tabelados, para uma declividade maior que 1% utiliza-se $N=6$ no cálculo do coeficiente de retardo, dado pela Equação 3.

$$\phi = \frac{1}{\sqrt[N]{100A}} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

ϕ = coeficiente de retardo (adimensional);

N = coeficiente referente à declividade (adimensional);

A = área (km^2).

Para o cálculo da intensidade da precipitação, o tempo de duração da chuva deve ser o tempo de concentração, fixado em 13,2 minutos. O tempo de retorno (TR) foi fixado em 5

anos (área residencial, no pior caso). Em relação aos outros valores de entrada, foram mantidos os dados regionais encontrados no Pluvio 2.1. A área considerada (A) foi de 1,044 km².

3.4 Dimensionamento dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS)

As opções de SUDS foram aplicadas a um lote hipotético de 1.000 m². Conforme o Manual de Drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), foi feito o cálculo da vazão de pré-desenvolvimento — que determina a vazão máxima de saída do lote — e o do volume necessário para armazenamento, mostrados na Equação 4 e na Equação 5, respectivamente.

$$Qpd = 0,0266 \times A \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

Qpd = vazão de pré-desenvolvimento (m³/s);

A = área do lote ou loteamento (ha).

$$V = 523 \times AI \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

V = volume necessário para armazenamento (m³);

AI = toda a área impermeável que drena a precipitação para a rede pluvial (ha).

3.4.1 Cálculo de um modelo de telhado verde

A título de exemplo, estipulou-se uma área de 200 m² para a construção pelo método extensivo. Para o reservatório de 0,20 m foi escolhido o preenchimento com argila expandida, devido à leveza e ao índice de vazios (40%) do material. O resultado deste arranjo é um reservatório com capacidade de retenção de 16 m³.

3.4.2 Cálculo de um modelo de microrreservatório

Foi considerado um microrreservatório de 30 m² para contemplar os 1.000 m² de área de contribuição do lote. O dimensionamento da altura se deu pela Equação 6.

$$H = \frac{V}{A} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

H = altura do reservatório (m);

V = volume de armazenamento necessário (m³);

A = área em planta, isto é, a área disponível para a implantação da estrutura (m²).

3.4.3 Cálculo de um modelo de pavimento permeável

Foram definidas uma área a ser drenada (A) de 1.000 m² e uma área drenante (Ab) de 200 m². A razão de drenagem (R = A / Ab) resultante foi 5 (cinco). Para o coeficiente de infiltração, segundo dados do Manual de Drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), optou-se por usar o ponto divisor para a maioria dos sistemas de infiltração (igual a 0,001), com fator de segurança 3 (três), correspondente a inconveniências menores. Assim, o coeficiente de infiltração utilizado (q) foi fixado em 0,0003.

Para efeito de cálculo, foi considerado material de preenchimento com porosidade efetiva de 40%, classificado como cascalho de granulometria uniforme. No tocante à intensidade de chuva, foi calculada a IDF com três tempos de duração diferentes (15 minutos, 30 minutos e 60 minutos) e tempo de retorno (TR) de dez anos.

Os parâmetros supracitados foram aplicados à Equação 7, que informa a altura máxima. O objetivo foi encontrar o maior valor.

$$h_{\max} = \left(\frac{t}{\emptyset}\right) \times (R \times I - q) \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

hmáx = altura máxima do pavimento (m);

t = tempo (h) (testados com os mesmos 3 tempos utilizados no IDF);

∅ = porosidade efetiva do material de preenchimento (adimensional);

R = razão de drenagem (adimensional);

I = intensidade de chuva (mm/h);

q = coeficiente de infiltração (adimensional).

3.5 Comparativo da adoção dos SUDS na área de contribuição

O cálculo do efeito da adoção dos três tipos de SUDS envolveu: 100 telhados verdes retendo a contribuição de escoamento superficial de uma área de 20.000 m², 100 microrreservatórios retendo a contribuição de uma área de 100.000 m² e 100 pavimentos permeáveis retendo a contribuição de uma área de 100.000 m². No total, a área de contribuição para formação de escoamento superficial foi reduzida em 220.000 m² (0,22 km²). Na sequência, para fins de comparação, foram calculados os cenários “antes e depois”.

4 RESULTADOS

Para a definição da bacia de contribuição, foram analisadas características como área, perímetro, geometria, relevo e declividade, que são informações indispensáveis para o bom conhecimento de sua dinâmica hidrológica.

4.1 Área e perímetro da bacia de contribuição

O Quadro 1 apresenta as dimensões da área de contribuição.

Quadro 1 – Dimensões da área de contribuição para o escoamento no ponto exutório

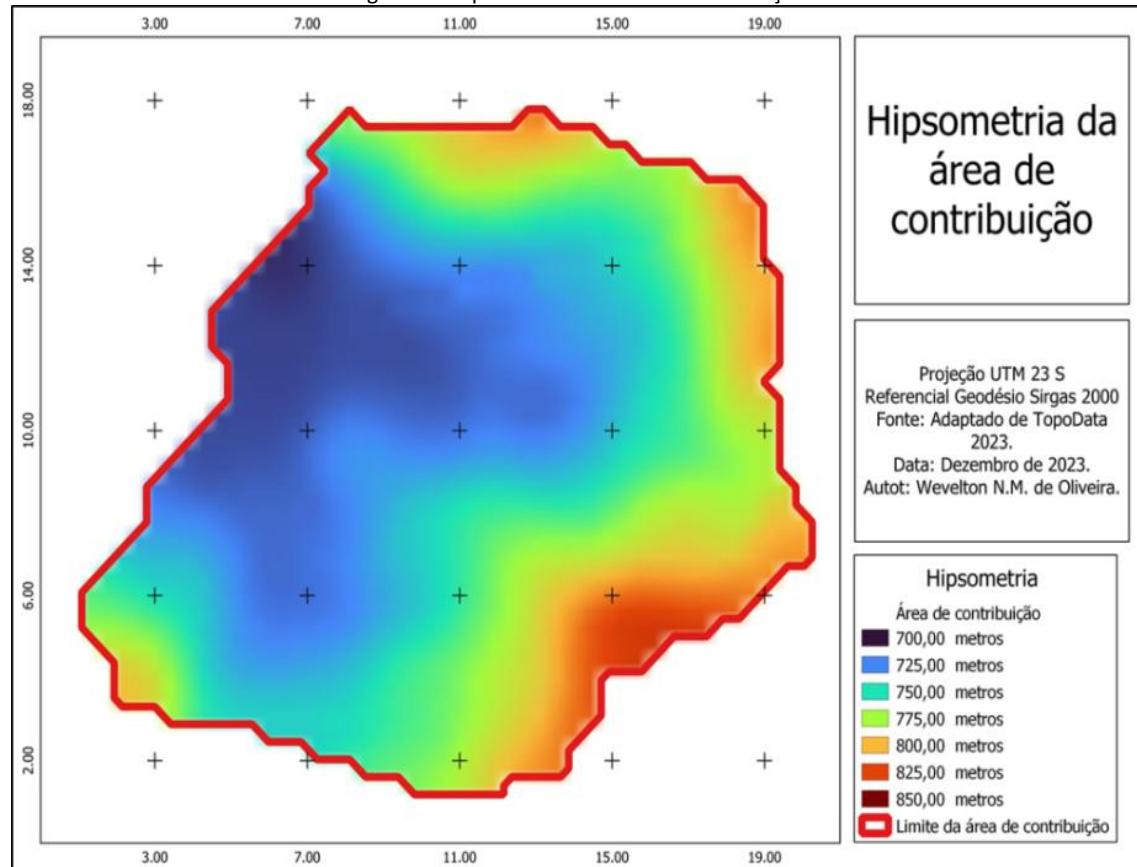
Dimensões da área de contribuição para o escoamento no ponto exutório			
Área de Contribuição	m ² (metros quadrados)	km ² (quilômetros quadrados)	ha (hectares)
Área permeável	12.169,76	0,012	1,217
Área impermeável	1.031.398,85	1,03	103,14
Área total de contribuição	1.043.568,61	1,044	104,36
Perímetro total (metros)	4.160,38		

Fonte: Elaborado pelo autor (dados calculados CalcArea QGIS, 2023).

4.2 Hipsometria e declividade média do terreno

Na Figura 2, no mapa hipsométrico, a região azulada representa as áreas mais baixas, na faixa de 700 a 750 metros de altitude, na qual se localiza o ponto exutório.

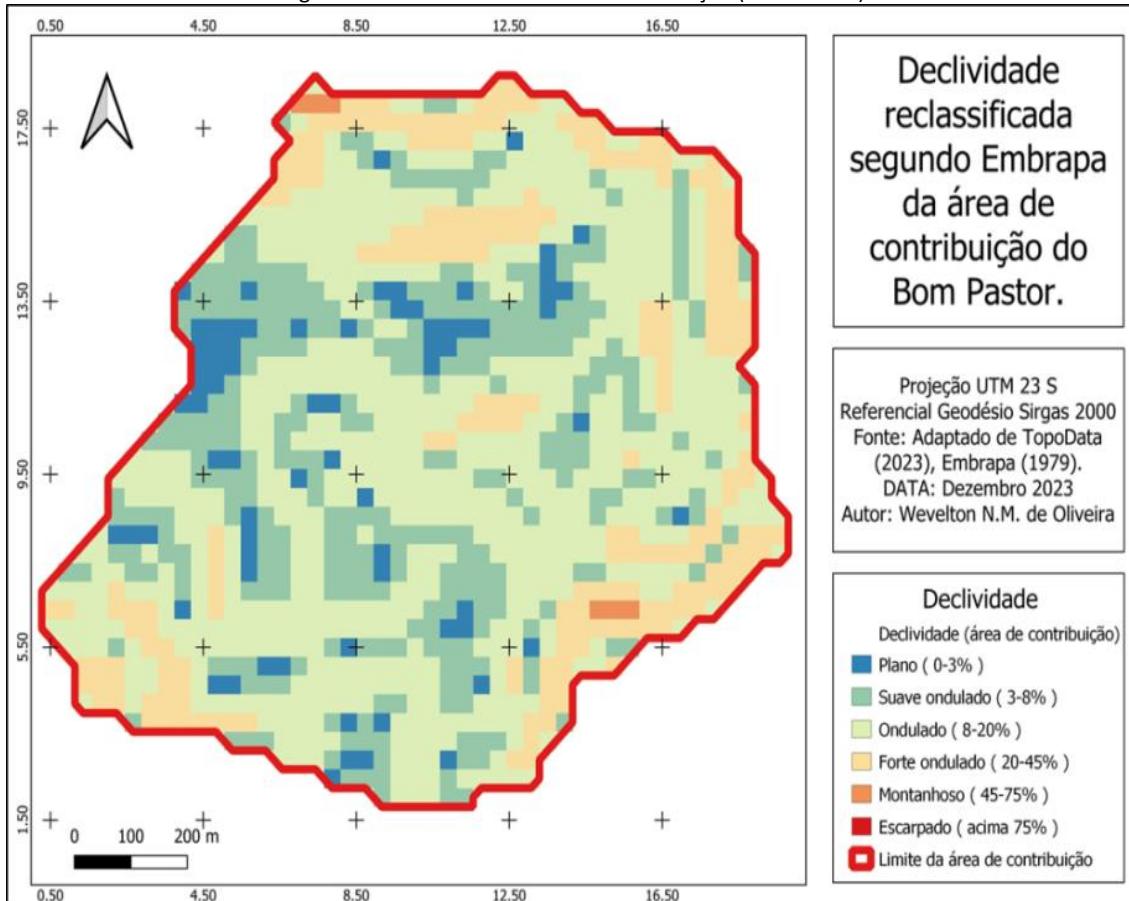
Figura 2 – Hipsometria da área de contribuição



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Pela Figura 3 foram constatados os níveis de declividade do terreno. Foi possível verificar a facilidade da ocorrência de alagamentos no ponto exutório, devido à presença predominante de áreas planas e suaves onduladas.

Figura 3 – Declividade da área de contribuição (Bom Pastor)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.3 Fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade

Para o fator de forma (Kf), que vai de 0,75 até 1,00 para regiões propensas a alagamentos, foi encontrado o valor 0,88. Ressalta-se que a área é classificada como arredondada levemente alongada.

Para o coeficiente de compacidade (KC), que vai de 1,00 a 1,25 para bacias arredondadas com alta propensão a grandes enchentes e alagamentos, foi encontrado o valor 1,14.

Para o índice de circularidade (IC), que no valor 1 representa um círculo perfeito, forma de bacia mais propensa a inundações, o valor encontrado foi de 0,76. Portanto, a região apresenta 76% de semelhança com um círculo perfeito e tem características favoráveis a alagamentos.

4.4 Tempo de concentração

O tempo de concentração refere-se ao tempo gasto para que toda a bacia contribua para o ponto exutório. Constatou-se que, devido à impermeabilidade e ao formato da bacia, o tempo de concentração encontrado foi de 13,2 minutos.

4.5 Simulações dos sistemas de drenagem

Para entender o efeito decorrente da adoção dos SUDS, é necessário calcular a vazão atual da área de contribuição. Em seguida, calcula-se a área dos lotes com a atuação dos SUDS, considerando que sua vazão de escoamento superficial será retida, motivo pelo qual a área desses lotes é desconsiderada. O cálculo seguinte é o da nova vazão, gerada pela nova área de contribuição, que viabiliza um comparativo das duas fases.

4.5.1 Cenário sem SUDS

Nesta etapa, os sistemas de captação de água pluvial foram desconsiderados e toda a precipitação foi transformada em escoamento superficial. Pela equação do método racional modificado, foi encontrado o coeficiente de retardo (ϕ) igual a 0,46. Substituídos os valores, encontrou-se uma vazão para o ponto exutório (Q) de 12,36 m³/s. Esse resultado é retratado no Quadro 2.

Quadro 2 – Dados locais sem uso dos SUDS

Dados locais sem uso dos SUDS		
Área	1,04356861	km ²
Vazão	12,36	m ³ /s

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.5.2 Cálculo da capacidade de retenção dos SUDS

O efeito foi analisado primeiro separadamente, e depois simultaneamente, em edificações distintas, com a aplicação de 100 unidades de cada SUDS.

Para o cálculo do telhado verde, referente à área de absorção (200 m²), o resultado foi uma vazão de pré-desenvolvimento (Qpd) de 0,000523 m³/s e um volume (V) de armazenamento de 10,46 m³. Para o cálculo dos microrreservatórios e os pavimentos permeáveis, referentes aos lotes de 1.000 m², o resultado foi uma vazão de pré-dimensionamento de 0,0026 m³/s e um volume de armazenamento de 52,30 m³.

4.5.2.1 Telhado verde

A medida adotada, de 200 m², corresponde a uma retenção de 16 m³ de precipitação. Com a adoção de 100 unidades arbitrada, a redução resultante foi de 0,02 km² de área contribuinte para formação de escoamento superficial. O resultado é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultado da aplicação dos 100 telhados verdes

Área total sem SUDS	1,04	km ²
Vazão total sem SUDS	12,35	m ³ /s
Área anulada pelos 100 Telhados Verdes	0,02	km ²
Nova área reduzida	1,02	km ²
Nova vazão com a área reduzida	12,09	m ³ /s
Redução	2,10	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.5.2.2 Microrreservatório

Foi calculado o armazenamento da precipitação de todos os 1.000 m² referentes ao lote. Supondo a existência de 100 unidades pelo bairro, gerou-se uma redução de 0,1 km² de área contribuinte. O resultado é mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 – Resultado da aplicação dos 100 microrreservatórios

Área total sem SUDS	1,04	km ²
Vazão total sem SUDS	12,35	m ³ /s
Área anulada pelos 100 microrreservatórios	0,1	km ²
Nova área reduzida	0,94	km ²
Nova vazão	11,15	m ³ /s
Redução	9,75	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.5.2.3 Pavimento permeável

Foi considerada a área drenada de 1.000 m² e arbitradas 100 unidades pelo bairro, gerando também uma redução de 0,1 km² de área contribuinte, tal como apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Resultado da aplicação dos 100 pavimentos permeáveis.

Área total sem SUDS	1,04	km ²
Vazão total sem SUDS	12,35	m ³ /s
Área anulada pelos 100 pavimentos permeáveis	0,1	km ²
Nova área reduzida	0,94	km ²
Nova vazão	11,15	m ³ /s
Redução	9,75	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.5.3 Representativo da adoção simultânea dos SUDS na área de contribuição (em edificações distintas)

Somadas todas as áreas que tiveram suas contribuições anuladas, há 0,02 km² (= 100 x 200 m² = 20.000 m²) referentes aos telhados verdes, bem como 0,1 km² (= 100 x 1.000 m² = 100.000 m²) referente aos microrreservatórios, além de 0,1 km² (= 100 x 1.000 m² = 100.000 m²) referente aos pavimentos permeáveis. A redução total da área contribuinte é de 220.000 m² (= 0,22 km²), o que gerou uma nova vazão de 9,73 m³/s. Esse cenário levou a uma redução de 21,23% na formação de escoamento superficial. Convém ressaltar que o valor se refere a toda a precipitação da área de contribuição convertida como escoamento superficial.

A título de comparação, buscou-se algum experimento envolvendo a utilização mesclada de vários tipos de SUDS. De acordo com um estudo realizado por Vairinhos (2017) na cidade de Coimbra, em Portugal, no bairro Zona das Flores, da área total de 217,9 hectares, 51,4% eram áreas impermeáveis com problemas de alagamentos. Com a utilização de vários tipos de SUDS, o impacto positivo foi a redução do escoamento superficial e, por decorrência,

a redução dos alagamentos. Destaque para os melhores resultados, observados com o uso dos reservatórios e pavimentos permeáveis, que juntos responderam por uma redução de 28,9% do volume escoado.

Outro exemplo de utilização mesclada de SUDS foi o estudo realizado na cidade de Sombrio, no interior de Santa Catarina, por Fröhlich e Cauduro (2019), tendo por objeto uma área de 142,74 km². Com a implantação de Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS), dentre eles os poços de infiltração, a trincheira de infiltração e o pavimento permeável, verificou-se uma redução de 31,51% da vazão pluvial lançada aos Sistemas Urbanos de Drenagem Convencional (SUDC). Por consequência, houve redução nos eventos de alagamentos na região.

O percentual de redução de vazões atingido com o emprego dos SUDS, demonstrado no presente trabalho, mostrou-se altamente coerente com os resultados obtidos de outros experimentos, por vários autores, em termos de ordem de grandeza. Tal fato atesta a plena viabilidade da aplicação dos supracitados Sistemas no bairro Bom Pastor, com a redução dos problemas dos alagamentos observados na região.

5 CONCLUSÃO

Em função das características morfométricas e pluviométricas da região analisada, constatou-se para a região a condição de alagamentos no ponto exutório. Essa constatação é corroborada pelos resultados obtidos por meio do fator de forma, o coeficiente de compacidade e o índice de circularidade, que reafirmaram as características de uma bacia propensa a alagamentos.

Foram selecionadas três opções de SUDS — telhado verde, microrreservatório e pavimento permeável — como medida de mitigação do escoamento superficial, por meio da redução da área de contribuição.

Constatou-se uma vazão inicial de 12,35 m³/s referente à área de contribuição inicial, de 1,04 km², sendo considerado inexistente qualquer sistema de captação pluvial pública. A aplicação dos SUDS propiciou uma redução de 0,22 km² na área de contribuição inicial, resultando em uma área de contribuição final de 0,82 km² e uma vazão final de 9,73 m³/s. Comparados os cenários inicial e final, nota-se uma redução considerável, de 21,23%, na vazão que chega ao ponto exutório.

Tomando por base todos os dados citados, concluiu-se que os problemas de alagamentos podem ser reduzidos com a mudança na forma construtiva utilizada dentro dos lotes. Com a implantação dos diversos tipos de SUDS disponíveis, seria possível mitigar esse problema na fonte, evitando a necessidade de obras públicas de maior porte.

REFERÊNCIAS

CITY OF JUIZ DE FORA. Secretaria de Planejamento e Gestão de Juiz de Fora. Características gerais. 2023. Available at: <<https://www.pjf.mg.gov.br/institucional/cidade/characteristicas.php>>. Last viewed: Oct 15, 2023.

CITY OF JUIZ DE FORA DRAINAGE MANUAL. Parte 1 – Zona Norte. Volume 3 – **Manual de Drenagem**. Juiz de Fora. 2011.

CORRÊA, T.H.P.; TEIXEIRA, B.A.N. Resiliência Hídrica Urbana: Estratégias e Adaptação às Mudanças Climáticas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. v.12, n.86, 2024. Available at: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5306/5308>. Last viewed: Jan 3, 2025. <https://doi.org/10.17271/23188472128620245306>.

FROHLICH, N.S.; CAUDURO, F. **Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) versus o Convencional (SUDC)**. 2019. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense.2019.

MAROSTICA, S. D.; SILVEIRA, A. L. L.. Sustainability indicators applied to urban drainage: Evaluation of low impact development (lid) techniques based on a literature review. **Finisterra, Lisboa** , n. 126, e33416, ago. 2024. Available at: <http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0430-50272024000200203&lng=pt&nrm=iso>. Last viewed: Nov 21, 2024. Epub 31-Aug-2024. <https://doi.org/10.18055/finis33416>.

PIZZO,H.S.; GALIL,V.M. Detention Reservoir: Proposal for Flood Control in the Ipiranga Stream Basin, Juiz de Fora, MG, Brazil. **Journal of Mechanical, Civil and Industrial Engineering** 2,p.34, 2021. <https://doi.org/10.32996/jmcie.2021.2.1.6>.

SCHUELER, A.; CARVALHO, T. Emergências Climáticas x Saneamento. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. v.12, n.86, 2024. Available at: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5305/5306>. Last viewed: Jan 3, 2025. <https://doi.org/10.17271/23188472128620245305>.

TOPODATA: **Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos. SP. 2008.

VAIRINHOS, J. L. E. **Modelação Hidráulica de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável: aplicação de soluções de controlo na origem a um caso de estudo**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra. <https://hdl.handle.net/10316/83292>

VICENTE, A. P. C. DE .; FARIA, K. M. S. DE .; FORMIGA, K. T. M.. Sustainable Drainage Technologies Under the Sustainability Tripod Perspective. **Sociedade & Natureza**, v. 35, p. e66919, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66919>

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Informe quem teve a ideia central do estudo e ajudou a definir os objetivos e a metodologia. (Wevelton e Jonathas).
- **Curadoria de Dados:** Especifique quem organizou e verificou os dados para garantir sua qualidade. (Wevelton, Jonathas, Cézar, Maria Helena e Henrique).
- **Análise Formal:** Indique quem realizou as análises dos dados, aplicando métodos específicos. (Wevelton, Jonathas, Henrique, Cézar e Maria Helena).
- **Aquisição de Financiamento:** Identifique quem conseguiu os recursos financeiros necessários para o estudo. (Não teve).
- **Investigação:** Mencione quem conduziu a coleta de dados ou experimentos práticos. (Wevelton e Jonathas).
- **Metodologia:** Aponte quem desenvolveu e ajustou as metodologias aplicadas no estudo. (Wevelton e Jonathas).
- **Redação - Rascunho Inicial:** Indique quem escreveu a primeira versão do manuscrito. (Wevelton).
- **Redação - Revisão Crítica:** Informe quem revisou o texto, melhorando a clareza e a coerência. (Jonathas, Maria Helena, Cézar e Henrique).
- **Revisão e Edição Final:** Especifique quem revisou e ajustou o manuscrito para garantir que atende às normas da revista. (Wevelton).
- **Supervisão:** Indique quem coordenou o trabalho e garantiu a qualidade geral do estudo. (Jonathas)

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Wevelton Ney Machado de Oliveira, Jonathas Batista Gonçalves Silva, Maria Helena Rodrigues Gomes, Cézar Henrique Barra Rocha e Henrique da Silva Pizzo**, declaramos que o manuscrito intitulado "[O impacto da implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS) em um bairro central de uma cidade de grande porte de Minas Gerais]":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho.
2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.