

Cap. 6

“Dinâmica Hidrossedimentológica em Espaço Urbano: Recuperação de Nascentes e Drenagens na Ocupação Vitória, Belo Horizonte – MG”

Autores:

Gabriel Pereira dos Santos¹, Maria Julia de Castro Morais¹, Maria Thereza Fonseca², Hugo Luiz Martins de Paula³, Luis Alberto Sáenz Isla⁴, Eliane Maria Vieira⁵, Marcelo Antônio Nero⁶, Maria Rita Scotti⁷

- 1- Depto de Geografia /UFMG: Formação: Curso de Geografia.
- 2- Arquiteta. Mestrado do Programa de pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da UFMG,
- 3- Curso de Ciências Socioambientais
- 4- Engenharia de pesca, Mestrado em Aquicultura e Doutorado em Ecologia. Pós-doutorado, Programa de pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da UFMG, CAPES-PRINT
- 5- Professora do Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos /ICPA-UNIFEI. Formação: Engenharia Agrimensura mestrado e doutorado em Engenharia Civil.
- 6- Professor Depto Cartografia do IGC/UFMG. Formação: Engenharia cartográfica UNESP, Mestrado e doutorado em Engenharia de Transporte USP, Pós-doutorado University of Jaén, UJAEN, Espanha.
- 7- Professora Depto de Botânica do ICB/ UFMG. Formação: Ciências Biológicas pela UFMG, Mestrado em Microbiologia do solo (UFMG) , Doutorado em Biologia do solo (UFRJ) e Pós doutorado pela Universidade de Lisboa (Portugal) e Universidade de Salamanca (Espanha).

E-mail para correspondência: lab.ufmg.2010@gmail.com

Resumo

O estudo avaliou a eficácia das drenagens e contenções na redução da movimentação dos sedimentos, considerando a erosão como ameaça constante. A complexidade da erosão hídrica, derivada de múltiplos processos interligados, é desafiadora de avaliar. Variáveis como água, sedimentos, solo, litologia, vegetação e clima estão interligadas, influenciando o comportamento do canal ao longo do tempo. A preservação das matas ripárias é crucial para controlar a erosão, estabilizando o solo e melhorando a qualidade dos cursos d'água. O estudo incluiu análises da taxa de vazão da água e mobilização de sedimentos nas drenagens, bem como dinâmicas de transporte de sedimentos em bacias de contenção. Após a implementação, houve um período de manutenção com inspeções sistemáticas. A metodologia incluiu medições de sedimentação e vazão, elaboração de mapas temáticos e uso de drones para imagens aéreas. Os resultados indicam influência da topografia na movimentação de sedimentos e vazão, destacando a eficácia das barragens na redução dos sedimentos. A área preservada apresentou baixa movimentação de sedimentos, enquanto o córrego Macacos recebeu grande vazão, retendo sedimentos devido à vegetação presente. O trabalho ainda analisou a eficácia do uso de drones na geotecnologia aérea para avaliar mudanças em drenagens

naturais. Houve diferenças visuais pré e pós-drenagem em diversas áreas, como a Nascente 1 e o Córrego Macacos, evidenciando o aumento da deposição de sedimentos antes da intervenção. A abertura de drenos em 2023 reduziu alagamentos em áreas residenciais, evidenciando a importância das barragens e barreiras. A necessidade de pavimentação com piso drenante para conter os sedimentos é ressaltada. O estudo finalmente recomenda a necessidade de uma maior integração de conhecimentos ambientais, geomorfológicos e tecnológicos, incluindo a aplicação de aerofotogrametria por drones. Conclui-se que, embora as intervenções tenham sido eficazes em parte, medidas adicionais são necessárias para resolver completamente os problemas de sedimentação.

Abstract

The study aimed to evaluate the effectiveness of drainage and containment in reducing sediment movement, considering erosion as a constant threat. Assessing the complexities of water erosion is challenging, as it arises from multiple interconnected processes. Variables such as water, sediment, soil, lithology, vegetation and climate are interconnected, influencing the behavior of the channel over time. Preserving riparian forests is critical for controlling erosion, stabilizing soil, and improving watercourse quality. The study analyzed water flow rates and sediment mobilization in drainages, along with sediment transport dynamics in containment basins. After implementation, a period of systematic inspections ensured proper maintenance. The methodology incorporated sedimentation and flow measurements, thematic mapping, and aerial imagery captured by drones. Results reveal the influence of topography on sediment movement and flow, highlighting the effectiveness of dams in sediment reduction. Preserved areas exhibited minimal sediment movement, while the Macacos stream received significant flow, with existing vegetation effectively retaining sediment. This study further assessed the effectiveness of drone-based aerial geotechnology in evaluating changes to natural drainages. Pre- and post-drainage visual comparisons in areas like Nascente 1 and Córrego Macacos highlighted increased sediment deposition prior to intervention. Notably, drainage implementation in 2023 reduced flooding in residential areas, underscoring the importance of dams and barriers. However, the need for permeable pavements to further contain sediment is emphasized. The study concludes by recommending greater integration of environmental, geomorphological, and technological knowledge, including the application of drone photogrammetry. While interventions exhibited partial effectiveness, additional measures are crucial for comprehensive resolution of sedimentation issues.

Palavras-chave: erosão, transporte de sedimentos, variações de fluxo, uso de drones em geotecnologias, recuperação de ambientes degradados.

Keywords: erosion, sediment transport, flow variations, use of drones in geotechnology, recovery of degraded environments.

I- Introdução

A cidade de Belo Horizonte foi fundada em 1891 para ser a capital de Minas Gerais ($19^{\circ} 48' 57'' S$ $43^{\circ} 57' 15'' W$), localizada em um vale escolhido não só pela beleza cênica da região montanhosa de Mata Atlântica e Cerrado, mas especialmente pela riqueza hídrica de rios e córregos afluentes da bacia de São Francisco. A região alberga extensa rede hidrográfica, destacando-se as bacias do Ribeirão Arrudas, Bacia do Ribeirão Onça/Izidora e do Rio das Velhas (Fig. 1).

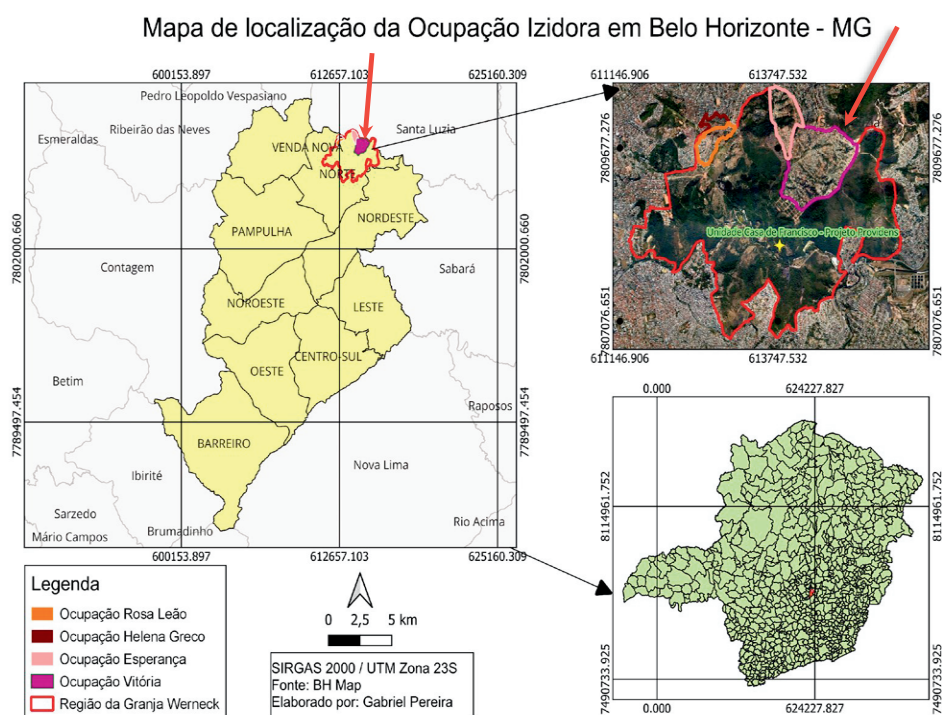


Fig. 1 - Mapa de localização do município de Belo Horizonte no estado de MG; no cartograma à esquerda, as diferentes regiões do município de BH, com a indicação da região da Granja Werneck. No detalhe superior, à direita, as ocupações da bacia do Ribeirão Izidora/Córrego Macacos.

A cidade sofreu um rápido processo de urbanização e atualmente Belo Horizonte é o sexto município mais populoso do país (IBGE, 2020). A cidade contemporânea é o resultado da sobreposição de camadas históricas, sob diferentes condições socioeconômicas e políticas (Pereira Costa e Gimmler Netto, 2015) que incrementaram o êxodo rural ao longo do tempo. Em consequência do inchaço das cidades, a expansão urbana em Belo Horizonte favoreceu o crescimento da cidade informal onde uma parcela da população, sem acesso aos serviços e infraestrutura, passou a ocupar áreas de risco. A bacia do ribeirão Izidora é uma das regiões que sofreu este processo informal de urbanização (Fig. 2).

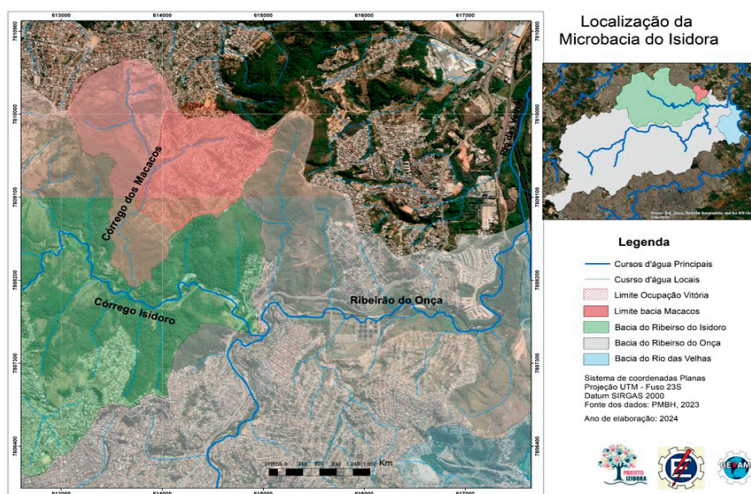


Fig. 2: Localização de Belo Horizonte e suas bacias hidrográficas.

A partir de 2013, uma área preservada de Mata Atlântica na Granja Werneck (341 ha), o maior reduto urbano de floresta atlântica urbana preservada, passou a sofrer processo de ocupação crescente no vetor norte do município (Fig. 1), dando origem às ocupações Vitória, Rosa Leão, Esperança e Helena Greco que juntas formam a maior ocupação de baixa renda do estado (Fig. 2).

A partir de 2014, ocorreu uma progressiva perda da floresta com a abertura de ruas e construção de casas, deixando ruas e áreas desmatadas com solo exposto (Fonseca et al., 2022) em um vale (Fig. 3A), onde as águas de nascentes e pluviais se dirigem para o Córrego de Macacos (Fig. 3B).

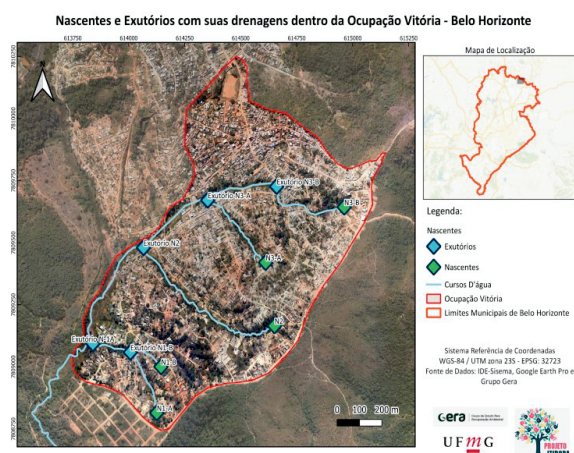
Fonseca (2023), avaliando o impacto do fluxo hídrico, desenvolveu um modelo digital, baseado na elevação do terreno e concluiu que a diferença média de altitude no topo do morro até o exutório no córrego Macacos é de 179m.

Fig. 3 – A: Construções sobre nascentes e ruas com solo exposto. **B:** Nascentes e

A



B



drenagens na Ocupação Vitória com exutório no Córrego de Macacos.

A diferença de altitude mostra que a Ocupação Vitória está encravada em um vale e, portanto, com elevado potencial erosivo não só considerando a inclinação, mas também a presença de grande número de nascentes e córregos em toda a área. Estes resultados explicam o grande assoreamento do córrego Macacos com a presença massiva das espécies invasoras *Brachiaria sp* e *Typha domingensis (taboa)*. Fonseca (2023) também desenvolveu um mapa de direção de fluxo hídrico e mostrou que a água das nascentes e da chuva não estavam sendo direcionadas na sua totalidade para o Córrego Macacos, mas estavam tomando direções diversas e sendo retidas em diferentes pontos. Estes resultados explicam a presença de água no interior das residências. Desta forma, visando reconduzir água de nascentes e de chuvas, assim como o sedimento para o Córrego Macacos, foi feita abertura de drenos nas 4 nascentes. (Figs 4; 5.1 e 5.2; 6.1 e 6.2; e 7.1 e 7.2.).

Visando a contenção de sedimentos oriundos das ruas sem pavimentação, foram construídas barragens (N2 e N4), assim como barreirinhas em todas as drenagens. A estabilização das margens foi feita com o plantio de espécies herbáceas e arbóreas nativas da Mata Atlântica.



Fig. 4 - Nascente N1: Antes da intervenção: **A:** Nascente na rua correndo em diferentes direções (N1 A). **B:** Nascente aflorando na rua. **C:** Nascente aflorando na rua. **D:** Erosão (N1-A). Após da intervenção: **E:** Dreno recebendo água da nascente. **F:** Manilha antes da rua (N1-A). **G:** Nascente após a rua (N1-C). **H:** Dreno na N1-C. **I** e **J:** Aspecto da rua após intervenção.



Fig. 5.1 - Nascente N2 **A e B**: Antes da intervenção (toda a área e ruas alagadas). **C**: Início da construção dos drenos. **D e E**: Drenagens. **F**: Plantio nas margens. **G, H, I**: Barreirinhas de contenção de sedimentos.

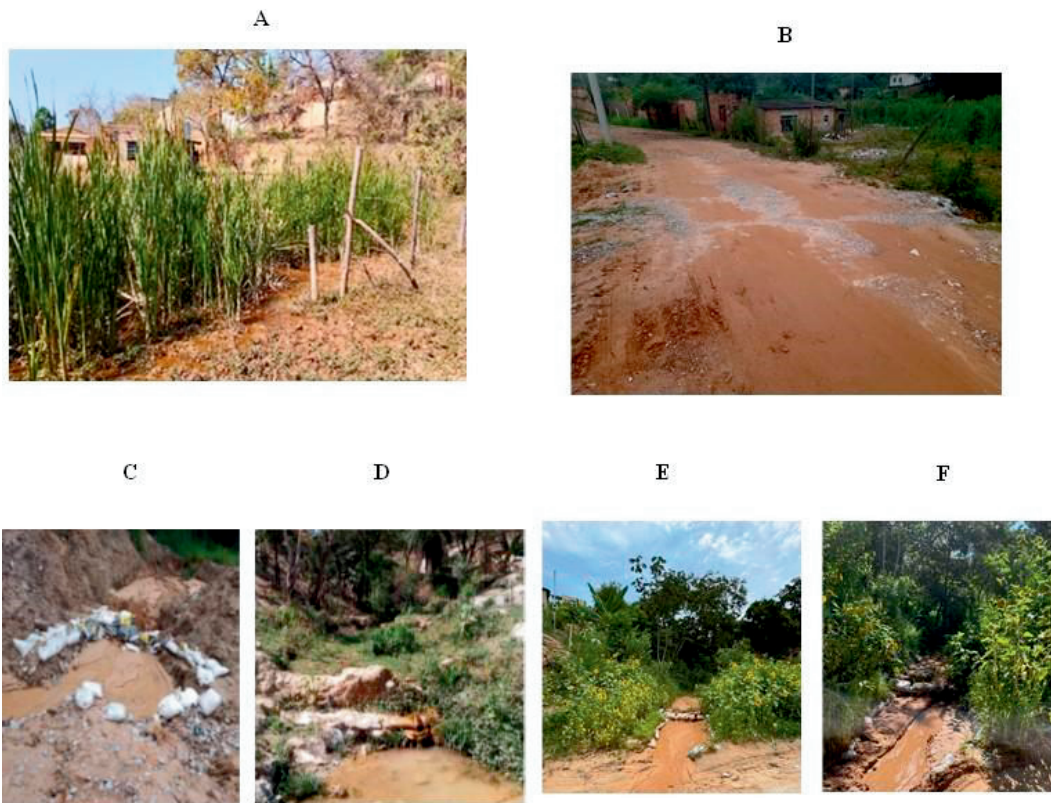


Fig. 5.2 - Nascente N2 Trecho da Av. Jacarandá antes **(A)** e após intervenção. **(B)** Barragem N2. **C:** Construção da barragem em dezembro/janeiro de 2021/2022. **D:** Barragem, em abril de 2023. **E e F:** Barragem, em Janeiro de 2024.



Fig. 6.1 - Nascente N3 A, B e C: Dreno na rua antes da intervenção. **D:** Abertura de dreno (550 m). **E e F:** Dreno em funcionamento com plantio de herbáceas nas margens, **G H e I:** Barreirinhas de Contenção (2022). **J:** Espécies arbóreas plantadas, aos 6 meses e Barreirinhas (outubro de 2023).

A



B



C



D



Fig. 6.2 - A e B: Vegetação ciliar e dreno em funcionamento, em janeiro de 2024 (10 meses pós-plantio). **C:** Av. Jacarandá, alagada antes da intervenção e **D:** Av. Jacarandá após intervenção.



Fig. 7.1 - Nascente N4 - Rua das Águas e Av. Vitória **A:** Rua das Águas e Av. Vitória, mostrando as áreas inundadas, antes da intervenção. **B e C:** Dreno com estabilização com plantio e barreirinhas. **D e E:** Drenagem com manilha e proteção com enrocamento. **F:** Rua das Águas em janeiro de 2024, **G:** Rua das Águas e Av. Vitória em janeiro de 2024 (comparar com **Fig. 7.1 A**).



Fig. 7.2 - Nascente N4: Rua do Areal. **A:** Areal antes da intervenção. **B e C:** Abertura de drenos com estabilização com enrocamento e plantio, barreirinhas. **D:** Manilha. **E e F:** Estabilização mata miliar. **G e H:** Dreno estabilizado com mata ciliar, em 2024. **I:** Barragem.

A proposta deste trabalho visa a avaliação da eficácia das drenagens para condução da água e das contenções na redução da movimentação dos sedimentos. A erosão representa uma ameaça em constante evolução, de forma a afetar atributos físicos do solo, bem como a qualidade e a saúde dos rios e corpos d'água da região. Contudo, avaliar a erosão hídrica é uma tarefa desafiadora, dada a sua origem a partir de múltiplos processos interligados que ocorrem em interações complexas e evoluem em taxas variáveis no espaço e no tempo. Cada uma das variáveis independentes, a água e os sedimentos, estão, por sua vez, intrinsecamente vinculadas ao solo, à litologia, à vegetação e ao clima que caracterizam a região. Tal afirmação relativa ao ajuste dessas variáveis possibilita a manifestação de flutuações transitórias na limpeza e no preenchimento, bem como tendências de curto prazo, as quais são observadas em um período de anos, no comportamento do canal em resposta às condições de cheias e secas (Wolman, 1967).

A preservação ou reconstituição de matas ripárias estão intimamente associadas à proteção ambiental, visto que, elas atuam diretamente no controle da erosão, estabilizando o solo e promovendo tanto a infiltração como o escoamento superficial. Desta maneira, a mata ripária favorece a diminuição do carreamento de sedimentos e conseqüentemente, promove uma melhoria nos cursos d'água, em termos qualitativos e quantitativos (Hinkel, 2003).

As características de erosão e deposição de sedimentos nos corpos d'água existentes podem ser por meio de parâmetros objetivos e mensuráveis, como também através da visualização do aporte de sedimentos nas nascentes N1 (Fig. 4), N2 (Fig.s 5.1 e 5.2), N3 (Fig.s 6.1 e 6.2) e N4 (Fig.s 7.1 e 7.2) .

Nesta proposta avaliamos a taxa de vazão da água nas drenagens, assim como a taxa de mobilização de sedimentos dentro desses canais de drenagem. Adicionalmente, foram conduzidas análises referentes à dinâmica de transporte de sedimentos nas bacias de contenção de sedimentos.

Após a conclusão, foi instaurado um período de manutenção de lacunas. Este período foi caracterizado por inspeções sistemáticas realizadas para a supervisão

abrangente do projeto. As visitas *in loco* foram instrumentalizadas com a finalidade de detectar quaisquer discrepâncias nas intervenções realizadas, avaliar o estabelecimento da vegetação ao longo da extensão do projeto e observar os ajustes naturais no leito de drenagem.

Toda essa prática se baseou no Diagrama de Venn (Fig. 8), o qual esquematiza a dinâmica hidrossedimentológica estudada na Ocupação Vitória, onde todos os processos sucedem a partir o contexto histórico da área, sendo este, representado pelo desmatamento e urbanização.



Fig. 8 - Diagrama de Venn. Fonte: Autores

II- Materiais e Métodos

II -1 - Caracterização da Área de Estudo

Situada no limite entre os municípios de Belo Horizonte e Santa Luzia, a Ocupação Vitória se caracteriza por ser um remanescente florestal de Mata Atlântica dentro de uma malha urbana, denotando extrema importância sob o viés ambiental e ecológico. A ocupação faz parte do conjunto de ocupações que compõem a microbacia Isidora da Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais. Explicitando a riqueza hidrológica desta área, o local é composto por 280 nascentes e forma 64 córregos, dentre esses, o Córrego dos Macacos. Este córrego é elevado a uma posição de notoriedade a partir de suas condições hidráulicas, por sua preservação e extensão em mata ciliar (Souza *et al.* 2022).

II-2 - Localização das Nascentes

Dentro dos limites da Ocupação Vitória, foram delimitadas quatro (4) microbacias que correspondem às áreas que serão estudadas no decurso deste trabalho, sendo elas, as nascentes: N1, N2, N3 e N4 (vide Fig. 3 B,). Como área de referência ou área controle (fornece os padrões relativos às condições naturais, ou seja, antes da intervenção antrópica) escolhemos um trecho preservado do Córrego Macacos, situado dentro da região da Granja Werneck, na Unidade Casa de Francisco, a qual compreende a extensão do Córrego dos Macacos até o seu exutório, no Ribeirão Isidoro (Fig. 2)

II-3 - Taxa de Sedimentação

Neste trabalho, os materiais e métodos foram desenvolvidos a partir dos estudos elaborados por Salesa, et al. (2019) que permite calcular a perda ou movimentação de solo em trilhas de montanha. Utilizamos a mesma metodologia para avaliar o aporte de sedimentos das redes de drenagem e barragens construídas na área de estudo. As análises foram feitas após as chuvas, 10 meses após construção dos drenos (N1, N2, N3 e N4) compreendendo pontos à montante, no meio e à jusante dos mesmos e sete meses

após construção das barragens (N2 e N4). Seguindo esse padrão, as medições foram realizadas nas nascentes da Ocupação Vitória, além de ter sido aplicada no córrego Macacos na Área Preservada.

Para a quantificação deste aporte de sedimentos, inicialmente, estabeleceu-se em campo, uma linha paralela à rede de drenagem, com 10 metros de comprimento. Em sequência, posicionou-se barras de ferro em posição horizontal de uma margem a outra a cada 1 metro dessa extensão de 10 m. A cada 20 cm nesta barra horizontal foi inserida uma régua de ferro em posição vertical dentro do dreno ou barragem até atingir o ponto de estabilização. Mediu-se a extensão ocupada pelo sedimento. A área de aporte de sedimentos (em cm²) foi calculada para cada seção transversal, representada pela equação (1):

$$A_a = ((Z_{a1} + Z_{a2})/2) + ((Z_{a2} + Z_{a3})/2) + ((Z_{a3} + Z_{a4})/2)... \quad (1)$$

Nessa equação (1) segundo Salesa, et al (2019), “Aa” refere-se a área de preenchida pelo sedimento (em cm²) em cada ponto ao longo da vara transversal considerando a profundidade dada pela régua. Utilizando a equação (2) para calcular considerando as medidas a cada 1m

$$V_{a-b} = (A_a + A_b)/2 * 100/10^6 \quad (2)$$

Em seguida, efetuou-se o cálculo da média dos valores obtidos em (m³) de cada seção, a partir da divisão desse número pela quantidade de pontos da linha horizontal de cada seção. Por último, a soma de todos os valores referentes a essa média em (m³) representa, assim, o valor do aporte de sedimentos de cada trecho analisado. Vale ressaltar que, esse método se aplica aos drenos e as barragens.

II- 4 - Vazão

Para quantificar a vazão dos cursos d'água presentes na Ocupação Vitória, adotou a mesma metodologia empregada por Palhares *et al.* 2007 (Fig. 9), na qual a medição da vazão é feita pelo método do flutuador. Este método avalia o volume de água que percorre entre dois pontos em um intervalo temporal. Sendo assim, utilizou-se a equação (3) para cálculo da vazão está disposta a seguir:

$$Vazão = (A \times L \times C) / T \text{ (m}^3 / \text{s)} \quad (3)$$

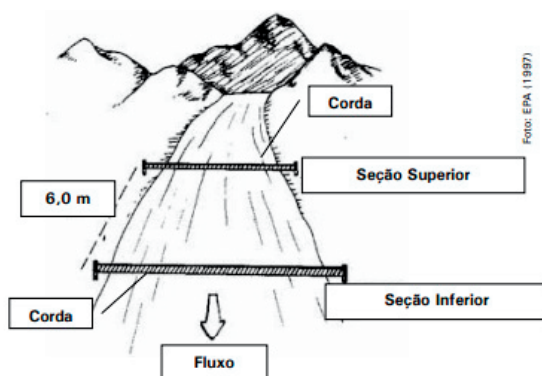


Fig. 9 - Ilustração da metodologia utilizada para coletar a vazão. Fonte: PALHARES *et al.* (2007)

Desta forma, para adequar o método para os objetivos desta pesquisa, as variáveis presentes na equação (3) representam:

- A = média da área do rio (distância entre as margens multiplicada pela profundidade do rio).
- L = comprimento da área de medição (utilizou-se o comprimento de 10,0 m).
- C = coeficiente ou fator de correção (0,8)
- T = tempo (segundos) que o flutuador leva para deslocar-se no comprimento L.

Definida a equação (3), a próxima etapa mais importante para obtenção desses resultados foi a coleta de dados em campo. Para aplicação da metodologia estabelecida, utilizou-se os seguintes materiais: trena, régua, cronômetro e isopor. Uma trena com tamanho igual ou superior ao comprimento da área de medição foi colocada sobre o chão, de forma paralela ao curso d'água. Foram calculados 10 metros, sendo estes, os mesmos avaliados no método utilizado para cálculo da taxa de sedimentação. Para cada um destes intervalos, foram medidas as profundidades e as larguras do curso d'água. Foram consideradas nessas medições que para larguras menores que um (1) metro, utilizou-se apenas uma profundidade, mas para pontos em que a largura fosse maior, tornou-se necessário extrair três (3) profundidades e, posteriormente, calcular a média entre tais profundidades.

Após realizar todas essas etapas, a boia de isopor foi colocada sob a água e o cronômetro foi acionado para medir o tempo em que este material demorou para percorrer do primeiro (ponto 0) ao último ponto (10). Essa metodologia foi aplicada para todas as nascentes (N1, N2, N3 e N4), como também para área de controle (Área Preservada). Para cada uma dessas áreas, foram estabelecidos os pontos em que essa metodologia seria empregada, buscando-se ter, no mínimo, três (3) valores de vazões, para entender o comportamento do curso d'água à montante, no meio e à jusante.

II-5 - Elaboração de Mapas Temáticos

Este trabalho buscou compilar os dados obtidos em trabalhos de campo e disponibilizados pela internet dentro do Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS 2000). Portanto, as variáveis foram trabalhadas dentro dos *softwares* de geoprocessamento QGIS 3.32.0 e ArcGis, permitindo a elaboração de mapas de localização com pontos em que foram extraídos dados de vazão e sedimentação, mapas de altitude e perfis longitudinais marcando os respectivos pontos de coleta mencionados, a fim de responder os resultados com a forma e inclinação do relevo.

II-6 - Imagens baseadas em geotecnologia de levantamento aéreo com Drones

As imagens referentes aos voos de drones da região foram disponibilizadas pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (Prodabel), correspondendo às ortofotos da região de estudo dos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, com resolução espacial melhor (7,5 cm) inclusive, que do Google Earth. A partir destas imagens foram realizadas compilações cartográficas das nascentes onde foram realizadas as intervenções, que podem ser visualizadas, na Fig. 10, onde se notam claramente os efeitos e a evolução temporal, considerando-se a situação antes e depois das intervenções.

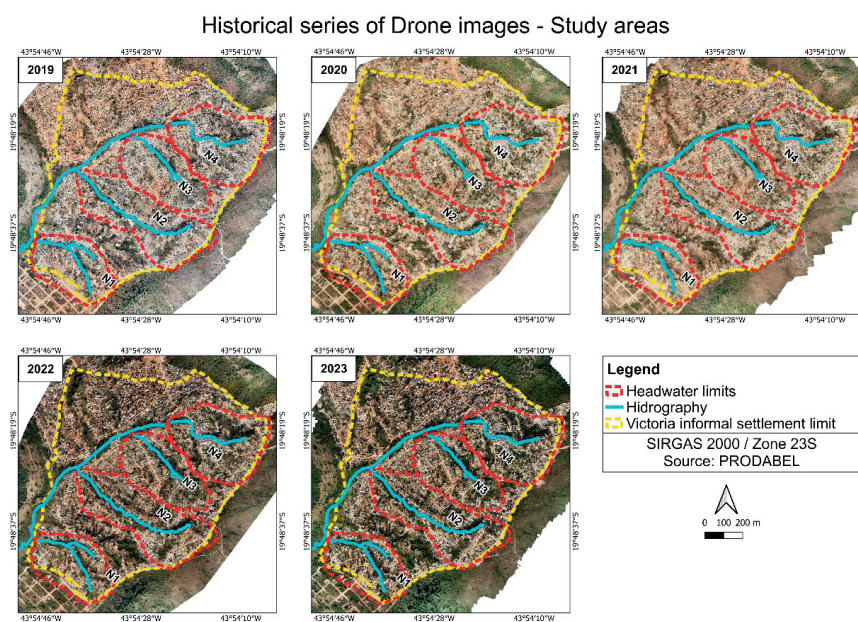


Fig. 10 - Evolução temporal das intervenções nas nascentes.

Vale ressaltar que para a melhor visualização e interpretação dessas nascentes foi empregada a geotecnologia de levantamento aéreo com Drones, o qual utiliza veículos aéreos não tripulados, dotados de multirotores e autônomos (movidos a bateria de lítio), contendo câmera colorida embarcada e com sistema micro estabilizador (para a tomada de fotos corrigidas para movimentos do Drone). Tal tecnologia é melhor descrita e aplicada por diversos autores recentemente, tal como por AFSHAR-MOHAJER et al. (2023) (aplicação na modelagem de poluição do ar), ALEXOVIČ et al. (2023) (utilização de DRONE em ambientes fechados e na área de arquitetura), Fu et al. (2023) (utilização sensor laser embarcado em DRONE multirotor), Zhang et al. (2023) (utilizam DRONES para estudos urbanos com multi-sensores embarcados), Sun et al. (2024) realizaram um estudo sobre estado da arte de utilização de DRONES em monitoramento de uso e Ocupação do solo, entre outros.

III- Resultados obtidos e análise

Com as medições realizadas na Ocupação Vitória, durante o mês de agosto e outubro de 2023, foram obtidos dados da taxa de sedimentação e da vazão para cada extensão dos drenos das nascentes N1, N2, N3 e N4, bem como, para a área preservada. Para além desses dados, também foram realizadas medições da vazão em todas as áreas em que a taxa de sedimentação foi calculada. O fator de declividade foi determinante para uma análise e discussão mais aprofundada dos dados obtidos, para tanto, os pontos da rede de drenagem de cada nascente foram examinados com base em um perfil de declividade elaborado (Fig. 11). Neste caso, recorreu-se a softwares de geoprocessamento com o intuito de elaborar representações cartográficas das altitudes, acompanhadas de perfis longitudinais que demarcam os locais específicos de amostragem de vazão e sedimentos, com a finalidade de correlacionar os resultados obtidos com a topografia do terreno.

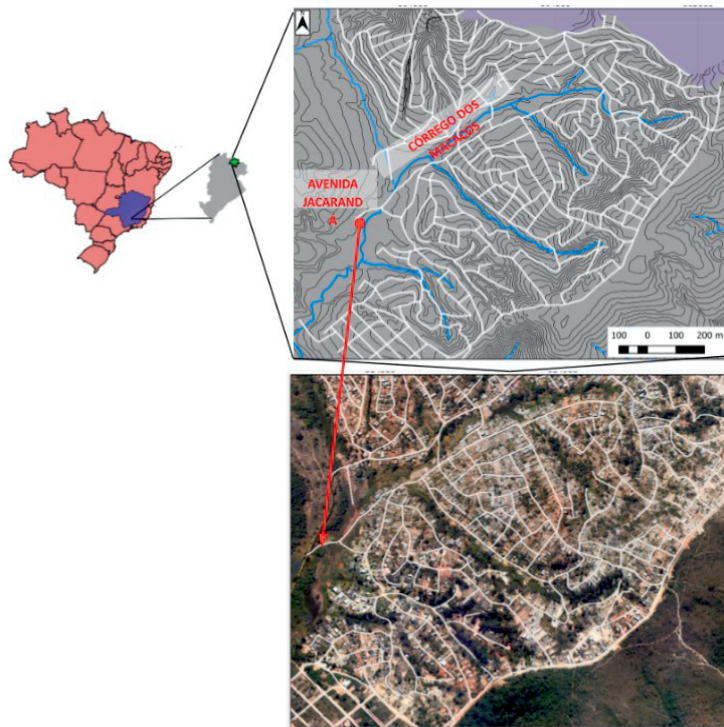


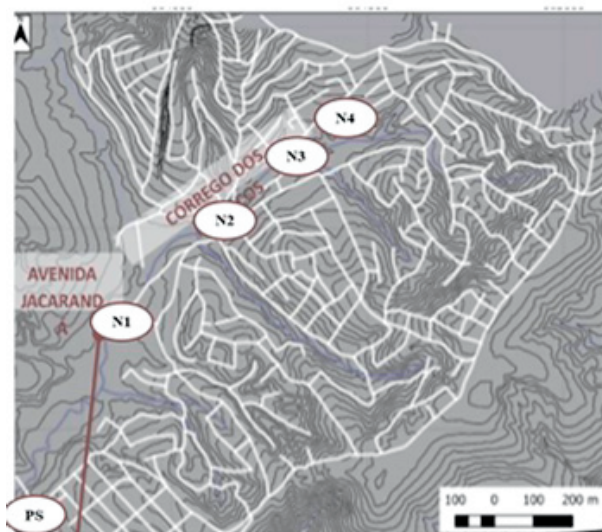
Fig. 11 - Mapa viário e com curvas de nível da Ocupação Vitória.

Na Fig. 12 estão sumarizados alguns dados coletados na área de trabalho. Os dados coletados de sedimentação e vazão são apenas indicadores da dinâmica da movimentação de água e massa nos drenos, pois fatores tais como a variação na altitude e a inclinação alteram os resultados. Exemplos disto são os dados de vazão e de deposição de sedimentos na Nascente N1 (Fig. 12) que foram afetados pela inclinação (Fig. 11).

A nascente N2 recebe o maior aporte de água, mas o menor aporte de sedimento (Fig. 12). A vazão mais elevada pode ser atribuída ao maior número de afloramentos de nascentes registradas neste trecho. O menor volume de sedimentos pode, por sua vez, ser atribuído à presença da barragem e de inúmeras barreirinhas ao longo de seus 800 m de extensão. A eficácia da barragem parece ser comprovada também na N4 onde,

apesar da vazão apresentou o segundo menor nível de sedimentos dentre as 4 drenagens. Estes resultados contrastam com os dados da N3 onde, apesar do nível de vazão bem inferior ao da N2, apresenta uma grande movimentação de sedimentos mesmo tendo recebido o maior número de barreirinhas. Este aporte de sedimentos se deve ao fato desta nascente aflorar na rua Getsêmani, a qual apresenta um elevado grau de inclinação, o que impõe mais erosividade e erodibilidade e não tem barragem de contenção (Fig. 11). O sedimento desta rua é levado para o dreno na época chuvosa, resultando no grande aporte de sedimentos registrado. Em relação à área preservada, os resultados mostram baixa movimentação de sedimentos.

O trecho analisado do córrego Macacos, próximo a casa de Francisco, mesmo sendo mais plano, apresentou uma grande vazão. Estes resultados se explicam porque o Córrego, neste ponto, recebe a água das 4 drenagens. Porém, deveria receber também grande volume de sedimentos, mas estes estão retidos à montante pela vegetação de taboa *Typha domingensis* (Fig. 13), formando uma *wetland*.



Nascente	Área (m ²)	Vazões (dm ³ /s)	Sedimentos médios Exutório (m ³)
N1	9.280,5	16,0	6,4
N2	25.524,4	104,9	4,6
N3	8.039,6	34,4	9,9
N4	166.075,2	27,4	6,2
Área Preservada (PS)	2.531.718,8	1.019,8	1,5

Fig. 12 - Pontos de coleta nos exutórios das nascentes e do córrego Macacos, trecho preservado e os respectivos valores de sedimentação e vazão.

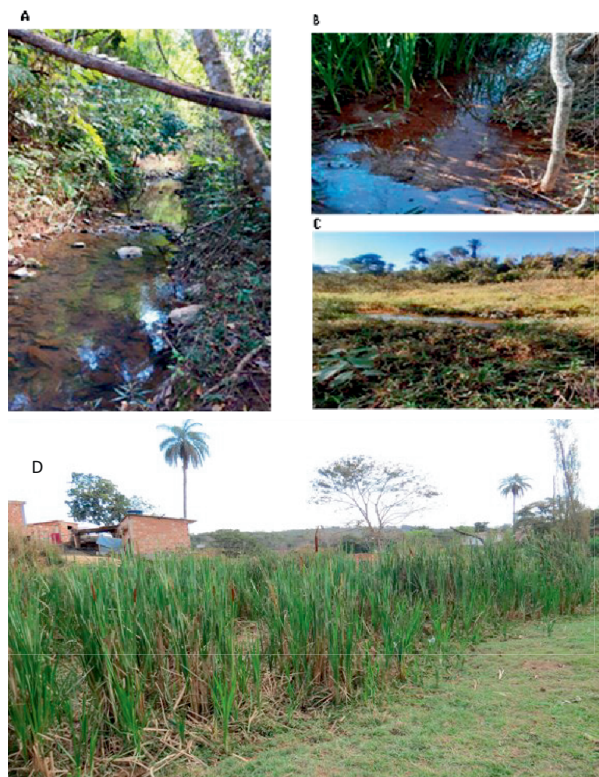


Fig. 13 - A: Córrego Macacos preservado, **B e C:** Córrego macacos à montante com assoreamento e invadido com taboa e braquiária, **D:** Córrego Macacos coberto com Taboa.

Através da geotecnologia de levantamento aéreo com Drones é possível visualizar e interpretar os resultados apresentados com mais exatidão. Na Fig. 14 podemos avaliar a Nascente 1, trecho A, antes e após a drenagem podendo ser observado o sentido da maior vazão e a grande deposição de sedimentos antes da drenagem de 2023.

Historical series of headwater restoration - Study area N1 (upstream)

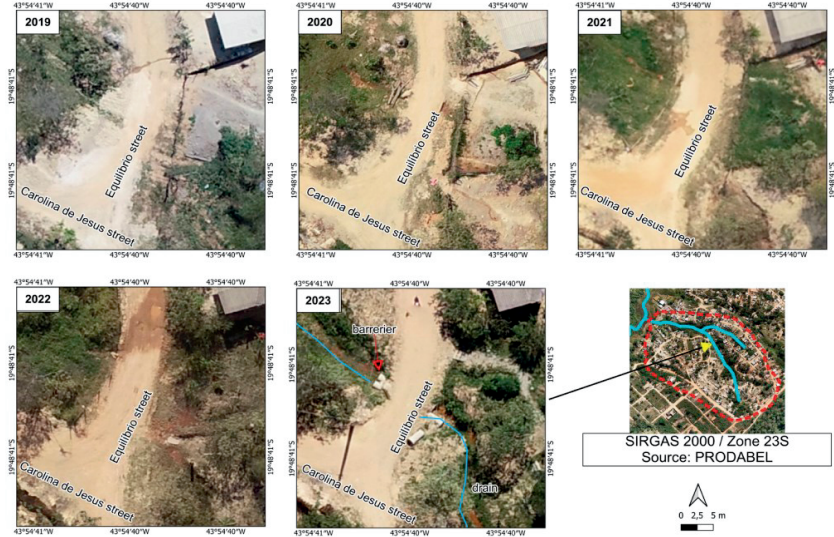


Fig. 14 - Série da evolução temporal das drenagens na N1 - Montante.

O excesso de sedimento e água carreado através do dreno atingiu o córrego Macacos, em 2023 (Fig. 15).

Historical series of headwater restoration - Study area N1 (downstream)

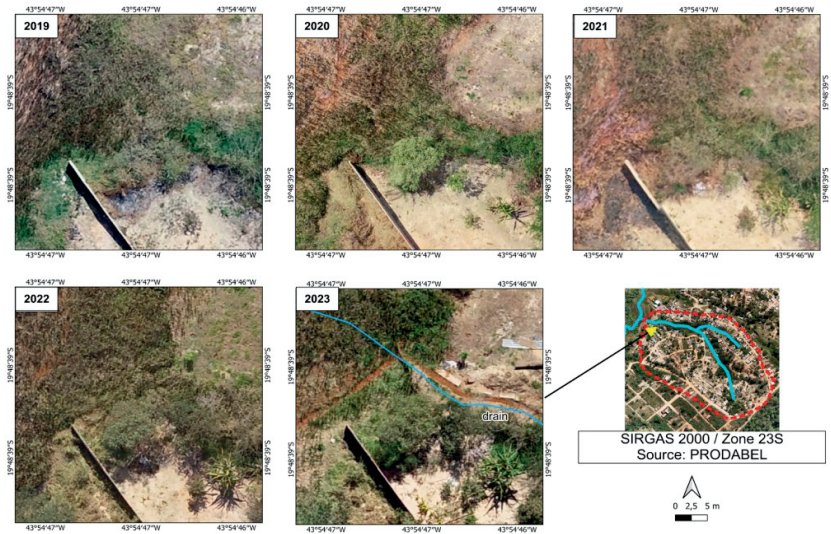


Fig. 15- Série da evolução temporal das drenagens na N1- Jusante.

Historical series of headwater restoration - Study area N2 (upstream)

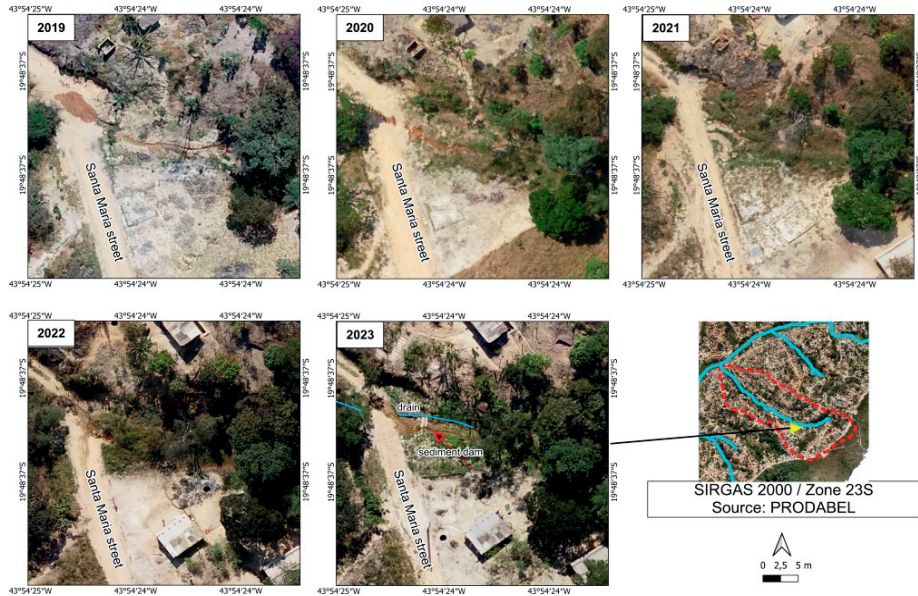


Fig. 16 - Série da evolução temporal das drenagens na N2- Montante.

Na Fig. 16, é possível visualizar a dispersão da água das nascentes na Rua Santa Maria, especialmente em 2019. Em 2023, pode-se visualizar o dreno e a barragem de contenção.

Historical series of headwater restoration - Study area N2 (experimental site)

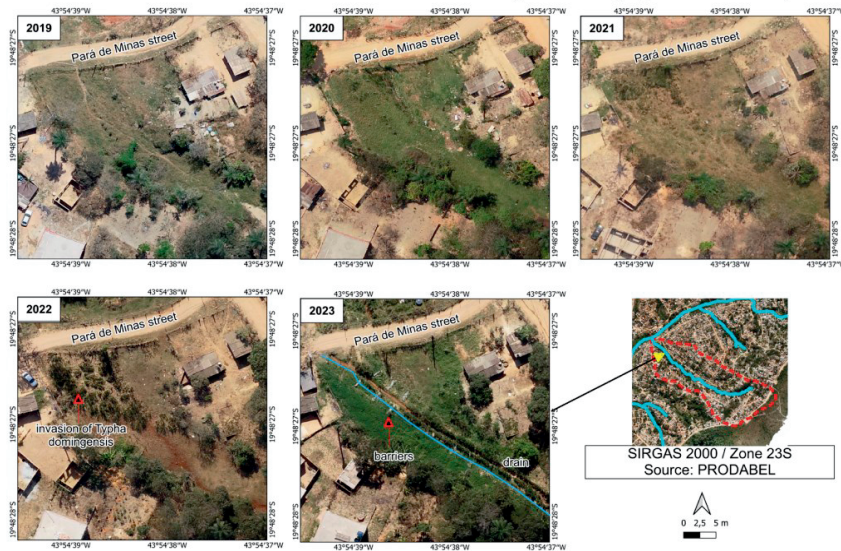


Fig. 17 - Série da evolu o temporal das drenagens na N2 - Jusante.

A abertura dos drenos em 2023 reduziu o encharcamento nas áreas residenciais como se observa nas áreas invadidas por *T. domingensis* ou taboa (2022) e a lama na rua Pará de Minas ou Jacarandá. A velocidade de movimentac o dos sedimentos foi reduzida pela presença da barragem e das barreirinhas (2023). Pode-se observar a presença de dreno suplementar, próximo   rua.

Historical series of headwater restoration - Study area N3 (upstream)

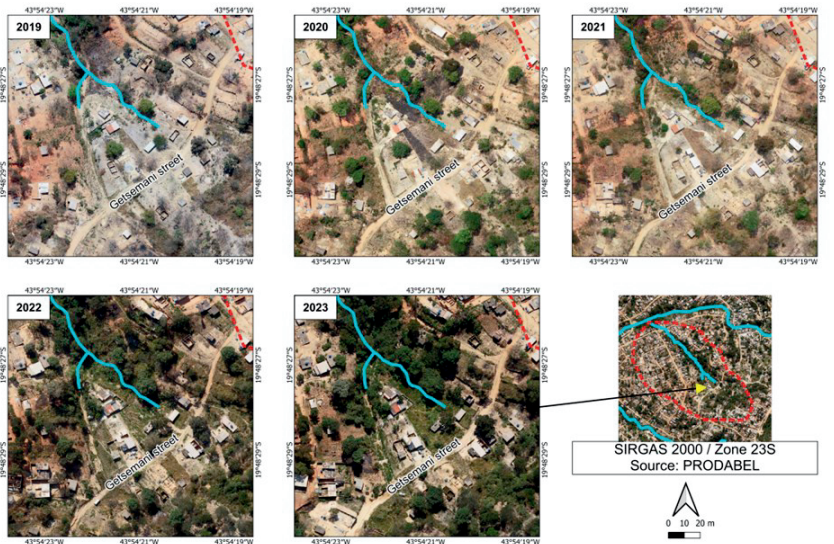


Fig. 18 - Série da evolução temporal das drenagens na N2- Exutório.

A Fig. 18 mostra a drenagem a jusante da rua Pará de Minas (Jacarandá) com intensa dispersão das águas e invasão pela taboa antes de 2023.

Historical series of headwater restoration - Study area N3 (upstream)

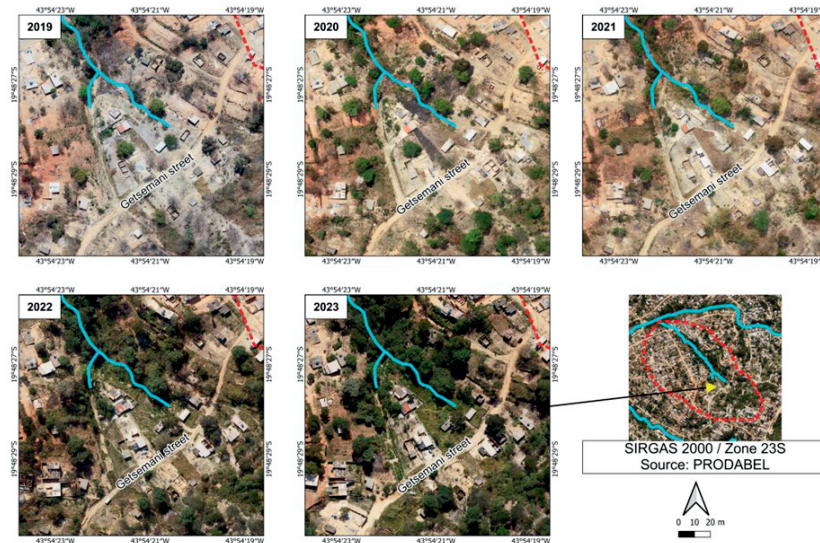


Fig. 19 - Série da evolução temporal das drenagens na N3 - Montante.

A Fig. 19 mostra a causa do enorme volume de sedimentos transportados nos drenos da N3. Existem dois acessos de drenagens a partir desta rua que não tem pavimento.

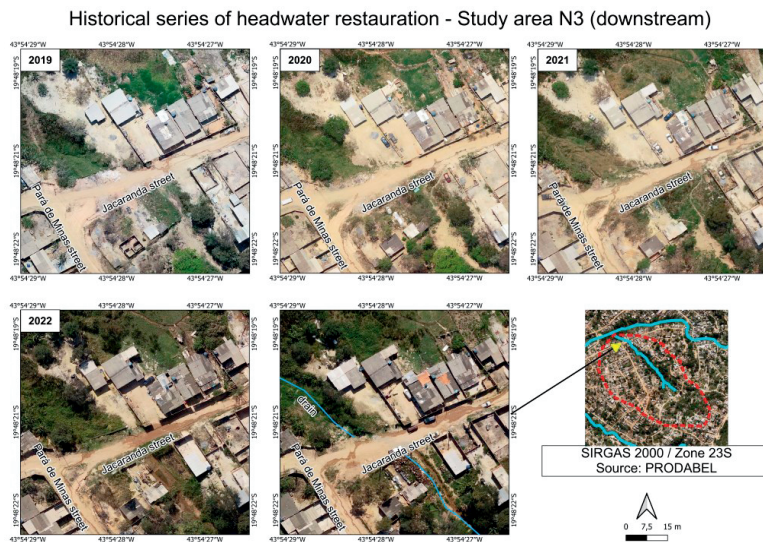


Fig. 20 - Série da evolução temporal das drenagens na N3 - Jusante.

Através da Fig. 20 percebe-se a deposição de sedimentos tanto na área residencial como nas ruas, antes da abertura do dreno. A água passa sobre a rua (2022).

◆ Rua das Águas ◆ Barragem

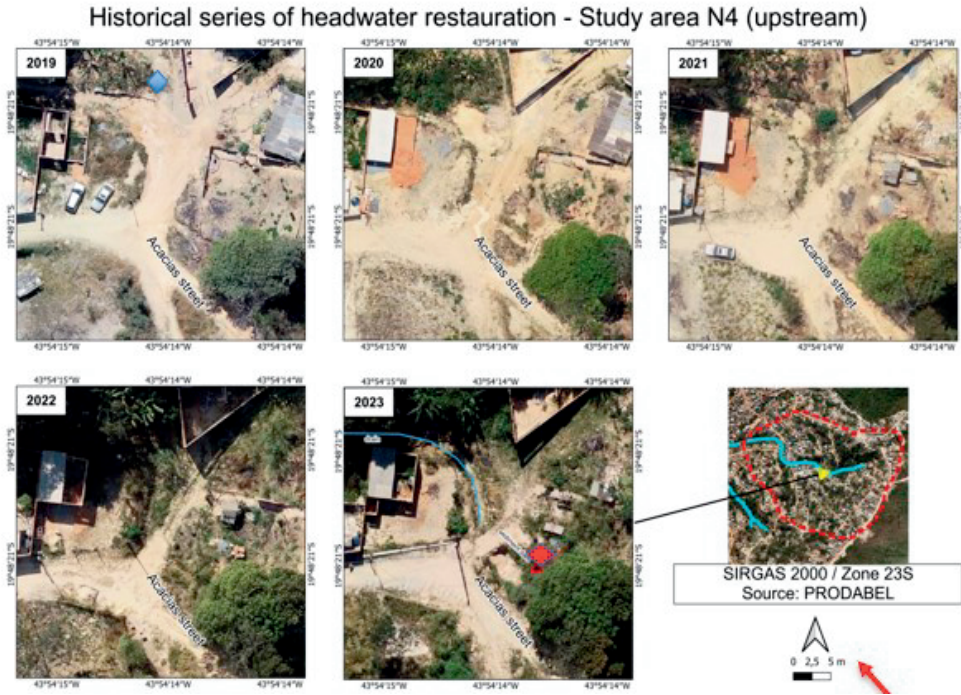


Fig. 21 - Série da evolução temporal das drenagens na N4 - Montante.

A Fig. 21 mostra o aporte de sedimentos lançado na Rua das Águas (2019-2022) e o papel de contenção da barragem (2023).

Historical series of headwater restoration - Study area N4 (middle)

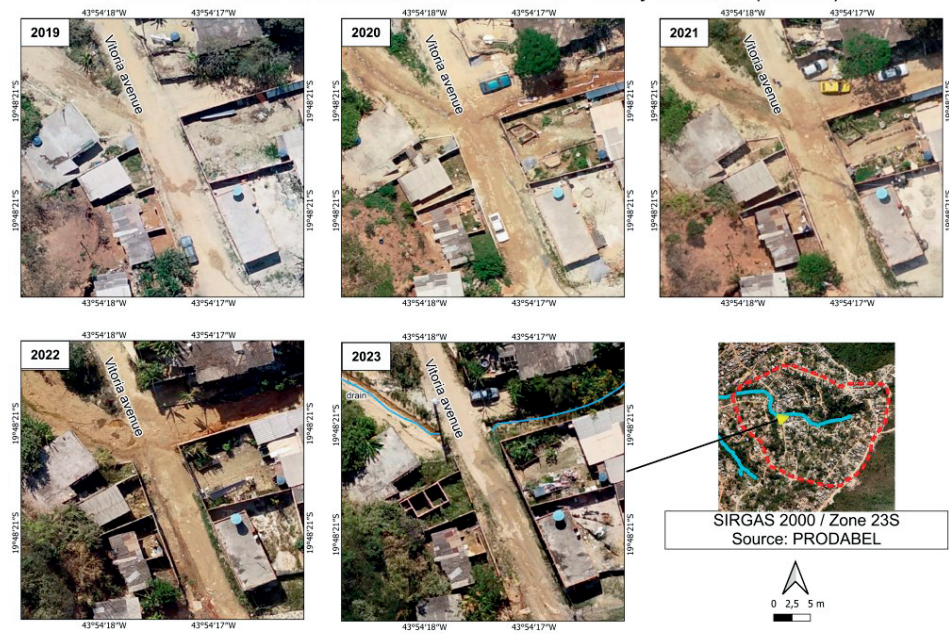


Fig. 22: Série da evolução temporal das drenagens na N4- próximo à Avenida Vitória.

Através da Fig. 22 é possível verificar o grande volume de assoreamento e o encharcamento na avenida Vitória antes da construção do dreno em 2023.

Historical series of headwater restoration - Study area N4 (downstream)

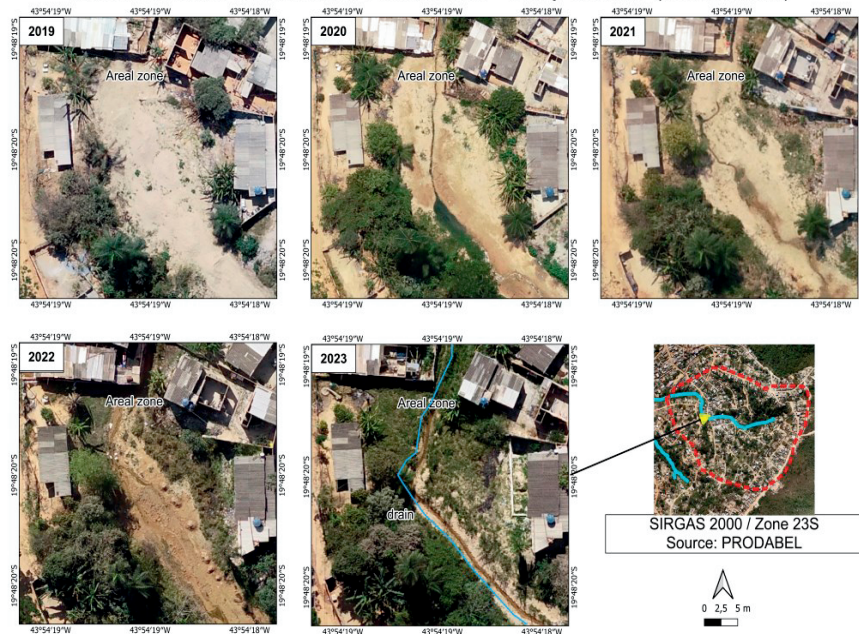


Fig. 23: Série da evolução temporal das drenagens na N4 na rua do Areal - Jusante.

As imagens da Fig. 23 comprovam o aporte de sedimentos e água dispersos antes da drenagem e a importância dos procedimentos de contenção.

Conclusões

Mediante os resultados apresentados, a condução das águas das nascentes para o Córrego Macacos foi exitosa. A movimentação de sedimentos foi tamponada pela construção de barragens e barreirinhas, mas a solução definitiva para contenção dos sedimentos seria a pavimentação das ruas com piso drenante. Vale ressaltar que o presente trabalho representou a integração e interação de diversos, saberes, técnicas e tecnologias, tais como conhecimentos na área ambiental e de geomorfologia, medição

e quantização de sedimentos, avaliação das degradações ambientais, bem como da aplicação de geotecnologias via aerofotogrametria por DRONES.

Agradecimentos

Agradecemos ao Fundo Socioambiental - FSA da Caixa Econômica Federal -CEF através do Acordo de Cooperação Financeira 209/2021 pelo apoio financeiro ao projeto; à Eco Engenharia, na pessoa do Eng. Carlos Condé pela participação valorosa na execução dos trabalhos de abertura e estabelecimento dos drenos; à equipe de funcionários que decisivamente apoiaram as atividades de campo, especialmente, Diene Santos, Robson, Vicente, Robertino e Felipe, À prefeitura de BH e CREURB pelo apoio logístico e à CAPES-Print pela bolsa.

Bibliografia

- Afshar-Mohajer, N. & C. Wu. 2023. Use of a drone-based sensor as a field-ready technique for short-term concentration mapping of air pollutants: A modeling study. *Atmospheric Environment*, 294: 119476. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231022005416>. Acesso em 06/11/2023.
- Alexovič, S., M. Lacko, Bačik, J. 2023. 3D Mapping with a Drone Equipped with a Depth Camera in Indoor Environment. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 23(1):18-24. Disponível em: <https://sciendo.com/pdf/10.2478/aei-2023-0003> . Acesso em 06/11/2023.
- Brookes, A., A. Chalmers & R. Vivash. 2005. Solving an urban river erosion problem on the Tilmore Brook, Hampshire (UK). *Water and Environment Journal*, 19(3):199-206. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1747-6593.2005.tb01587.x> . Acesso em 06/11/2023.
- Christos, G. K., P. Panos & Z. Ioannis Z. G. 2014. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. *International Journal of Digital Earth*, 7:3, 229-250, DOI: 10.1080/17538947.2012.671380. ESRI. ArcGIS Online. <https://www.arcgis.com/index.html> .
- Fonseca, M.T. 2023. Recuperação do Impacto Ambiental na Ocupação Vitória em Belo Horizonte. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em

- Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais
- Fonseca, M.T., R. Lima, S.L.L. Silva, H.L.M. Paula, J. F. da Cruz, J.F., A. Antão, J. Cordeiro, L.A. Saenz, M.R. Scotti. 2022 Impact of a Low-Income Informal Settlement in a Headwater Area at High-Risk of Erosion in Brazil, *International Journal of Environmental Pollution and Remediation (IJEPR)* 10: 19-26 -2022. DOI: 10.11159/ijepr22.003
- Fu, M. et al. 2023. Rotating 3D laser mapping system for Multi-rotor drones. In: 2nd International Conference on Robotics, Artificial Intelligence and Intelligent Control (RAIIC). IEEE, 2023. p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/10280771/10280779/10281055.pdf> . Acesso em 06/11/2023.
- Hinkel, R. 2002. Vegetação ripária: funções e ecologia. Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas ripárias; 1:40-48. Disponível em: https://www.academia.edu/download/27070032/zonas_riparias-versao_final-revisao2.pdf#page=48 . Acesso em 06/11/2023.
- IBGE. 2020. Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte> .
- Karydas, C. G., P. PANAGOS, I.Z. Gitas. 2014. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. *International Journal of Digital Earth*, 7(3):229-250. DOI: 10.1080/17538947.2012.671380. Acesso em 06/11/2023.
- Palhares, J.C. et al. 2007. Medição da vazão em rios pelo método do flutuador. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/443939/1/CUsersPiazzonDocuments455.pdf> . Acesso em 06/11/2023.
- Pereira Costa, S.A., M. M. G. Netto & M.M. Gimmler Netto. 2015. Fundamentos de Morfologia Urbana. Belo Horizonte: C/Arte. Acesso em 06/11/2023.
- QGIS.org. 2018. QGIS versão:3.32.0. Disponível em: <https://download.qgis.org/downloads/QGIS-OSGeo4W-3.32.0-1.msi> .
- Roy, A. H. et al. 2006. Importance of riparian forests in urban catchments contingent on sediment and hydrologic regimes. *Environmental Management*, 37:523-539. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0029-1> . Acesso em 06/11/2023.
- Salesa, D., E. Terol, A. Cerdà. 2019. Soil erosion on the “El Portalet” mountain trails in the Eastern Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 661:504-513. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719302104> . Acesso em 06/11/2023.

- Sun, J. et al. 2024. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Landslide Investigation and Monitoring: A Review. *Drones*, 8(1):30. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/1/30/pdf> . Acesso em: 06/01/2024.
- Trimble, S. W. 1997. Stream channel erosion and change resulting from riparian forests. *Geology*, 25(5): 467-469. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-pdf/25/5/467/3517270/i0091-7613-25-5-467.pdf> . Acesso em: 02/02/2024.
- Wolman, M. & A. Gordon. 1967. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 49(2-4):385-395. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/04353676.1967.11879766> . Acesso em: 02/02/2024.
- Zhang, C. et al. 2023. A lightweight and drift-free fusion strategy for drone autonomous and safe navigation. *Drones*, 7(1):34-. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-446X/7/1/34/pdf> . Acesso em 06/11/2023.