

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE REDE DE DRENAGEM UTILIZANDO DADOS DE LIDAR: ESTUDO DE CASO PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DOS COLIBRIS

Rodrigo Coutinho Loureiro Mansur (1); Cristiane Nunes Francisco (2);
Franciele Zanandrea (3)

Resumo – O geoprocessamento através das ferramentas hidrológicas do Sistema de Informações (SIG) possibilita o estudo de bacias hidrográficas, atuando como um sistema de suporte à decisão em recursos hídricos. O objetivo deste trabalho é construir e analisar uma rede de drenagem extraída automaticamente em algoritmos de SIG, a partir de um modelo digital de terreno (MDT) proveniente do perfilamento a laser com dados LIDAR. A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego dos Colibris, localizada no município de Niterói/RJ. Para execução da metodologia, realizou-se o preenchimento das possíveis depressões presentes no modelo para construção de um modelo digital de terreno consistido hidrológicamente (MDT-HC), e com esse dado de terreno, realizou-se a extração automática da rede de drenagem variando o limiar mínimo (*threshold*) para sua representação. A análise dos resultados mostrou que a densidade da rede de drenagem gerada possui uma relação exponencial inversamente proporcional ao *threshold*, que segue a representação da drenagem segundo a ordem de Strahler, e para *thresholds* menores houve a geração de linhas de drenagem paralelas (*feathering*). O traçado da rede de drenagem acompanhou o caminho preferencial para o escoamento superficial como um reflexo da qualidade do MDT. A metodologia empregada apresentou-se como uma proposta acessível para extração de redes de drenagem, porém demanda de aprimoramentos nos algoritmos de filtragem dos MDT e validação em campo.

Palavras Chave – SIG; recursos hídricos; ordem de Strahler

Abstract – Geoprocessing through the hydrological tools of Geographic Information Systems (GIS) enables the study of watersheds, serving as a decision support system for water resources management. The objective of this study is to construct and analyze a drainage network automatically extracted using GIS algorithms based on a Digital Terrain Model (DTM) generated from LiDAR data. The study area is the Córrego dos Colibris Watershed, located in the municipality of Niterói, Rio de Janeiro, Brazil. The methodology involved filling possible depressions in the model to generate a hydrologically conditioned Digital Terrain Model (HC-DTM). Based on this terrain data, the drainage network was automatically extracted by varying the minimum threshold for its delineation. The results showed that the density of the generated drainage network has an inversely proportional exponential relationship with the threshold, following the drainage representation according to Strahler's stream order. Lower thresholds resulted in the generation of parallel drainage lines (*feathering*). The delineation of the drainage network followed the preferential flow paths for surface runoff, reflecting the quality of the DTM. The applied methodology proved to be an accessible approach for drainage network extraction; however, it still requires improvements in DTM filtering algorithms and field validation.

(1) Universidade Federal Fluminense, Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, Niterói/RJ, rodrigoloureiro@id.uff.br

(2) Universidade Federal Fluminense, Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, Niterói/RJ, cristianenf@id.uff.br

(3) Universidade Federal Fluminense, Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, Niterói/RJ, francielez@id.uff.br

INTRODUÇÃO

Dentro do geoprocessamento, as ferramentas hidrológicas dos pacotes de SIG permitem o estudo de bacias hidrográficas pelo uso de dados geoespaciais (Allende-Prieto *et al.*, 2018). Para representação da rede de drenagem e delimitação de bacias hidrográficas, aplicam-se frequentemente essas ferramentas aos dados de MDT (Pereira *et al.*, 2021). Estudos recentes demonstram a eficiência desses processos em algoritmos de SIG, porém, na literatura, a correta representação da rede drenagem em bacias hidrográficas permanece como um grande desafio (Falasy e Cooke, 2025). A rede de drenagem gerada é um arquivo vetorial formado por um classe de feições geométricas lineares e conectadas (França *et al.*, 2024). E o MDT, um arquivo raster numérico representativo de uma porção da superfície terrestre (Burrough *et al.*, 1998), que possui uma importância crítica para a correta geração da rede (Reddy *et al.*, 2018). Tendo em vista que a maioria dos erros existentes nesse processo de extração, é um reflexo da qualidade do MDT (Kozlov e Gherbrehiwot, 2019). Dessa forma, aprimorar sua resolução espacial e seus processos de filtragem, pode proporcionar uma maior precisão para correta geração da rede de drenagem, principalmente na delimitação de canais menores e efêmeros (Lin *et al.*, 2021).

A construção de modelos a partir do perfilamento a laser por dados provenientes de LIDAR, pode resultar em uma melhora no detalhamento do arquivo MDT, e por isso diversos estudos no cenário recente estão utilizando essa informação para extração automática de redes de drenagem (Lin *et al.* 2021; Mendonça e Paz, 2022; Lima *et al.*, 2024; França *et al.*, 2024; Falasy e Cooke, 2025). O método baseia-se em duas etapas principais. O preenchimento das depressões que podem ocorrer no processo de geração do MDT, visando a construção do MDT-HC, para permitir a construção da rede de forma contínua ao longo da bacia e, na geração do modelo das direções de fluxo do escoamento superficial, para os trechos da drenagem na bacia hidrográfica, que é o arquivo base para extração da rede de drenagem (Jenson e Domingue, 1998).

O preenchimento das depressões para construção do MDT-HC ocorre pela correção de *pixels* espúrios, com base na altimetria do *pixel* vizinho mais próximo (Wang *et al.*, 2019). Para o mesmo autor, um dos métodos mais aplicados em SIG, na literatura, é o proposto por Wang e Liu (2006). Nesse método, o ajuste da altimetria dos *pixels* a serem preenchidos ocorre com base no vizinho de menor cota, com a introdução de um parâmetro de declividade mínimo, para manutenção de um gradiente de declividade, garantindo um fluxo descendente até o exutório da bacia hidrográfica (Wang e Liu, 2006). A geração do arquivo raster das direções de fluxo do escoamento superficial é realizada nos algoritmos de SIG com base no MDT-HC. Para Li *et al.* (2022), o método mais aplicado na literatura é o *Deterministic Eight Numbers (D8)*, proposto por O'Callaghan e Mark (1984). Neste algoritmo, as direções de fluxo são atribuídas pela divisão do MDT-HC em matrizes 3x3, onde o *pixel* central atribui a direção do fluxo para um dos seus 8 vizinhos com menor registro altimétrico (Burrough *et al.*, 1998). Gerando uma imagem matricial do caminho preferencial para o escoamento superficial. O que não representa necessariamente, a existência de um curso marcado no relevo, podendo ser um reflexo do escoamento difuso na bacia (Paz e Collischonn, 2008; Reddy *et al.*, 2018).

Para a extração das redes de drenagem, é necessário a determinação de um valor de corte mínimo (*threshold*) para o traçado do início da rede (Paz e Collischonn, 2008). Valor que apresenta-se na literatura como inversamente proporcional a densidade da drenagem gerada no algoritmo (França *et al.*, 2024). Ele pode estar relacionado à área de contribuição mínima a montante (Zhang *et al.*, 2021), ou pela escolha de um limiar de ordem de drenagem. O SAGA é um

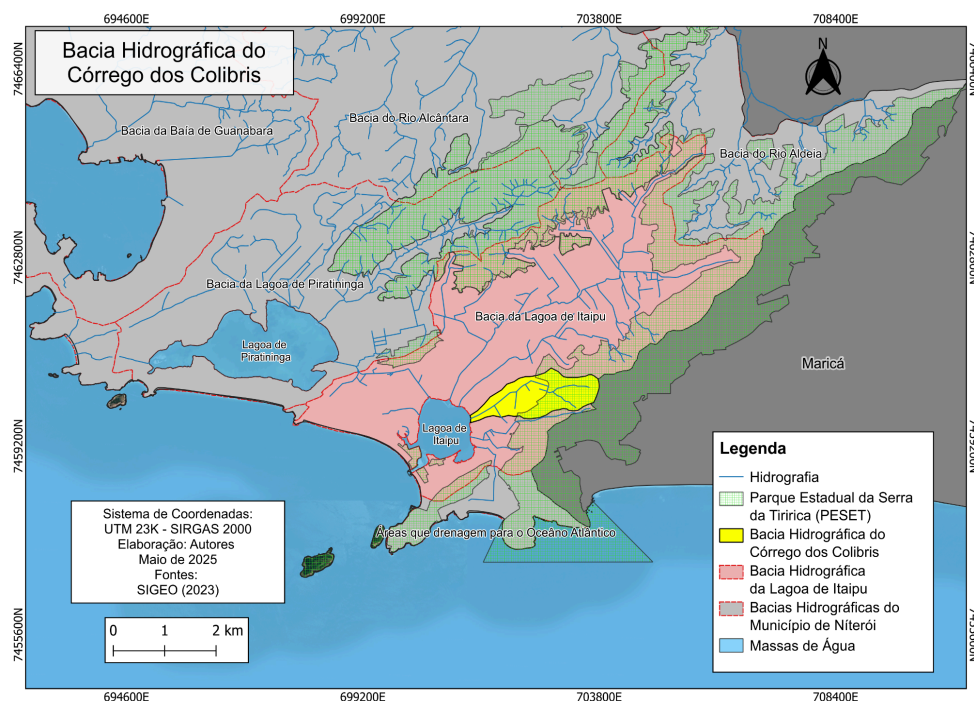
algoritmo de SIG que oferece ferramentas hidrológicas para extração de redes de drenagem, a partir da adoção de *threshold* com base na ordenação dos canais pela proposta de Strahler, e pode ser instalado como um complemento para ser aplicado dentro da interface do QGIS (Lemenkova, 2021). Algoritmo que vêm sendo utilizado por diversos autores para extração automática de redes de drenagem em SIG (Rosa e Ferreira, 2021; Toniolo *et al.*, 2024; França *et al.*, 2024; Vujovic *et al.*, 2024). Como o *threshold* está intrinsecamente relacionado a características físicas particulares de cada bacia hidrográfica, a sua escolha não é uma unanimidade na literatura (Fan *et al.*, 2013). O estudo realizado por Fernández *et al.* (2012), mostrou que diminuir o valor atribuído para o *threshold* aumenta a densidade da drenagem, porém, para valores pequenos, pode ser observado a produção de linhas de drenagem artificiais paralelas (*feathering*).

O presente trabalho tem como objetivo construir e analisar uma rede de drenagem extraída automaticamente em algoritmos de SIG, a partir de um modelo digital de terreno (MDT) proveniente do perfilamento a laser com dados LIDAR. A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego dos Colibris, em Niterói/RJ. A rede de drenagem gerada foi analisada, buscando não apenas compreender o seu comportamento de acordo com a realidade geomorfológica da bacia, mas também avaliá-la sob a densidade de sua drenagem e, de forma comparativa, com hidrográficas existentes. Avaliando também a qualidade do MDT utilizado e a metodologia empregada.

METODOLOGIA

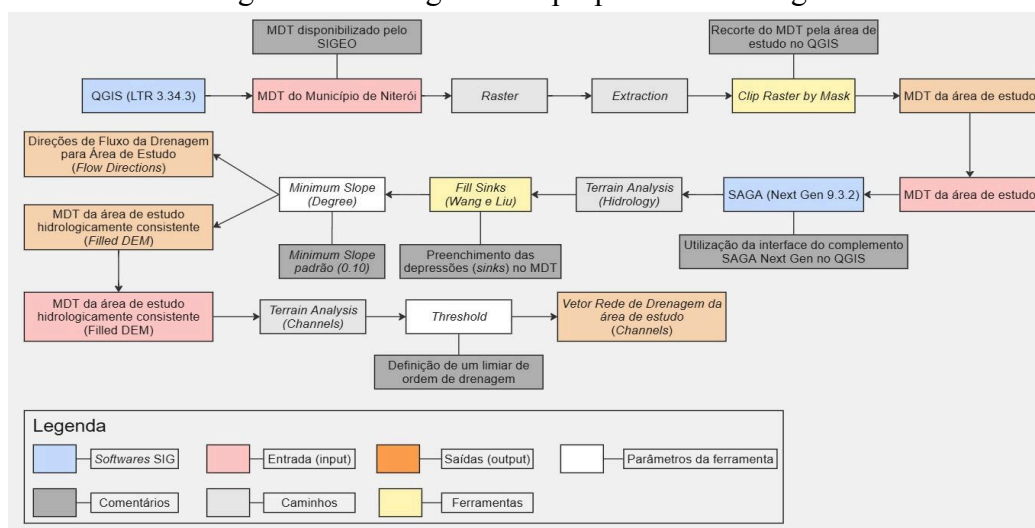
A área de estudo do presente trabalho é a Bacia Hidrográfica do Córregos dos Colibris, uma das bacias drenantes da Lagoa de Itaipu (Figura 1). Seu principal corpo hídrico é o Córrego dos Colibris, que nasce na encosta vegetada da bacia na área do Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET) e deságua na Lagoa de Itaipu, na planície de inundação marcada pela urbanização.

Figura 1 – Mapa da área de estudo – Bacia Hidrográfica do Córrego dos Colibris.



As ferramentas hidrológicas, para extração da rede de drenagem, foram utilizadas no SAGA 9.3.2 aplicadas na interface do QGIS 3.34.3. A execução da metodologia segue o fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da proposta metodológica



Para o preenchimento das depressões e geração do MDT-HC, aplicou-se a ferramenta *Fill Sinks* Wang e Liu em *Terrain Analysis Hydrology* no SAGA (Mendonça e Paz, 2022; Rosa e Ferreira, 2022; França *et al.*, 2024). De acordo com os mesmos autores, para manutenção de uma declividade mínima entre os *pixels* preenchidos e construção de um percurso descendente, configurou-se o parâmetro *Minimum Slope* da ferramenta com o valor mínimo padrão de sua interface que é 0,1. Essa ferramenta também cria o arquivo raster com as direções de fluxo, habilitando a saída *Flow Directions*. Esse processo é realizado com a atribuição do fluxo segundo a metodologia *Deterministic Eight Numbers (D8)*, que atribui a direção do escoamento em cada *pixel* para o vizinho de menor altimetria.

Para geração do arquivo vetorial das redes de drenagem aplicou-se o MDT hidrológicamente consistente como dado de entrada em *Terrain Analysis - Channels*, na ferramenta *Channel Network and Drainage Basins* (Rosa e Ferreira, 2022; França *et al.*, 2024). Habilitou-se apenas a saída *Channels*, variando o parâmetro *threshold*, que gera a rede de drenagem com base na ordenação dos canais proposta por Strahler, para obtenção de redes de drenagem com diferentes densidades. A densidade da drenagem é calculada pela seguinte equação (1).

$$D = \frac{\sum Li}{A} \quad (1)$$

Onde: D = Densidade da drenagem na bacia hidrográfica; Li = Comprimento dos cursos d'água $\rightarrow \sum Li$ = Somatório dos comprimentos; A = Área da bacia hidrográfica.

A análise foi conduzida inicialmente para toda a área da bacia hidrográfica, aplicando-se valores de *threshold* que variaram de 5 a 11, o que resultou na geração de 7 diferentes ordens de rede de drenagem. Em um segundo momento, essa análise foi direcionada exclusivamente para o alto curso da bacia, na área florestada inserida no PESET. Nesse recorte, a variação do *threshold* teve como objetivo gerar uma rede de drenagem que evitasse a ocorrência de linhas paralelas (*feathering*), buscando uma representação mais precisa dos canais de escoamento. Esse foco na análise, em um segundo momento, apenas na área florestada, permitiu a construção de uma análise

comparativa entre a qualidade do MDT em diferentes tipos de uso do solo, e da rede de drenagem gerada pelo software SAGA GIS com as redes hidrográficas oficiais disponibilizadas pela Prefeitura de Niterói e pela Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, na escala de 1:25.000, na área florestada.

A ferramenta *Channel Network and Drainage Basins*, determina um valor máximo para a ordem da drenagem em função da topografia representada no MDT e do threshold estipulado para a geração dos canais. A relação entre o threshold e a ordem da rede de drenagem gerada é expressa pela equação (2).

$$X = N - (T - 1) \quad (2)$$

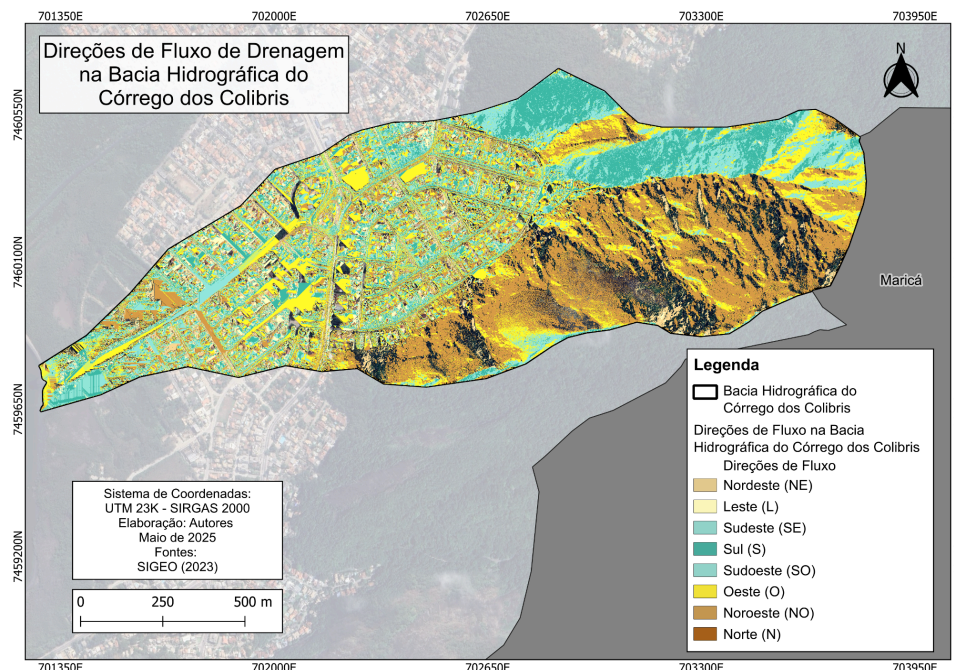
Onde: X = Ordem da rede de drenagem gerada para bacia hidrográfica; N = Ordem de rede de drenagem máxima para bacia hidrográfica de acordo com a topografia no MDT; T = *Threshold*.

Os dados topográficos utilizados no presente trabalho são provenientes do levantamento aerofotogramétrico e perfilamento a *laser* da cidade de Niterói, realizado através da tecnologia LIDAR. Este levantamento foi elaborado pela empresa Topografia Engenharia e Aerolevantamentos S/S LTDA, contratada pela Secretaria Municipal de Urbanismo e Mobilidade de Niterói (SMU). O produto final do perfilamento a *laser* para geração de um arquivo de dados altimétricos e das ortofotos da cidade de Niterói, consiste na cobertura da totalidade da área do município. Isto ocorre com a produção das curvas de nível com um espaçamento de 0,5 m entre as isolinhas e pela produção de ortofotos em escala de 1:2000, gerando arquivos MDT e MDS com uma resolução espacial de 0,5 m (Topocart, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

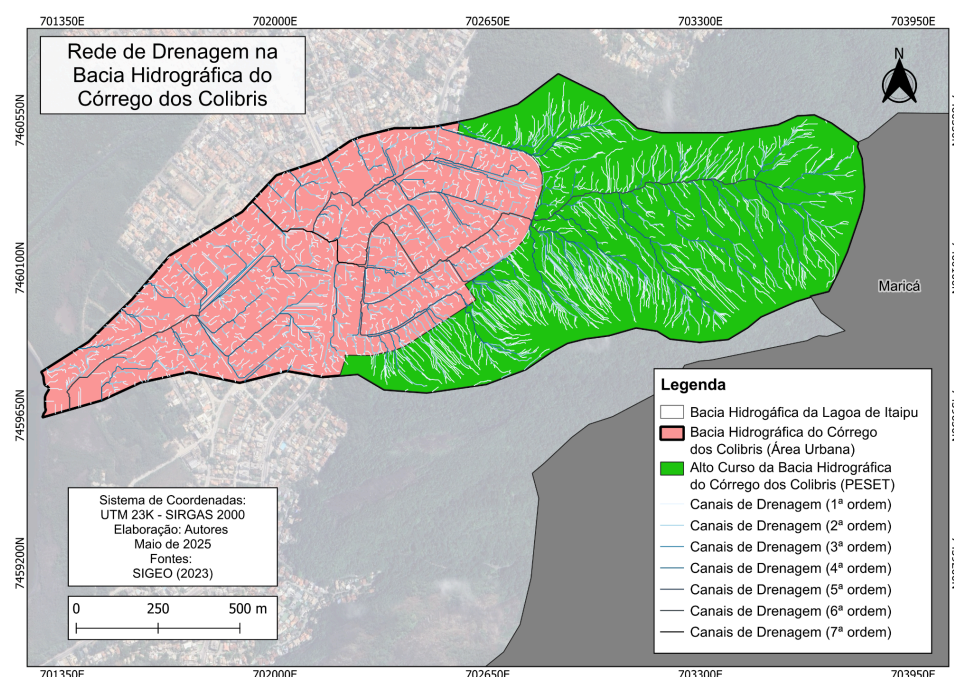
O MDT HC gerado foi aplicado na extração automática da rede de drenagem, e o arquivo raster com as direções do escoamento para área de estudo (Figura 3). Na área urbana observa-se que as direções para o escoamento acompanham os seus aparelhos de drenagem, porém a ferramenta acaba atribuindo uma direção de fluxo pelos lotes e edificações. Essa atribuição de direção através de elementos não topográficos acaba gerando uma desconfiguração da rede de drenagem na área urbana. Constatando que o processo de filtragem aplicado para obtenção do MDT, não foi totalmente eficiente nessa região, o que pode estar relacionado, segundo Peixoto e Centeno (2009), a grande quantidade de elementos não topográficos com diferentes altimetrias, processo que dificulta o funcionamento do filtro. Fato que não ocorre na área florestada, tendo em vista que o dossel florestal não apresenta muita variação, por ser uma área de vegetação secundária em estágio de regeneração, facilitando a passagem do filtro. Na parcela florestada da área de estudo inserida no PESET, as direções atribuídas acompanharam a topografia da encosta de forma definida, direcionando o escoamento superficial para os caminhos preferenciais de convergência da drenagem, evidenciando a convergência que origina o Córrego dos Colibris. Pode-se perceber que a direção oeste é decorrente da confluência do fluxo advindo de suas vertentes. Tem-se, ao sul da bacia, uma vertente cujo fluxo é drenado primordialmente na direção norte e, ao norte, uma vertente cujo fluxo é drenado primordialmente na direção sul, formando uma confluência do fluxo, justamente no trecho em que se forma o Córrego dos Colibris. Sendo assim, os caminhos preferenciais para o escoamento da rede de drenagem, são formados nos trechos de confluência das duas vertentes opostas, que convergem para o mesmo canal.

Figura 3 – Direções de fluxo da drenagem para área de estudo



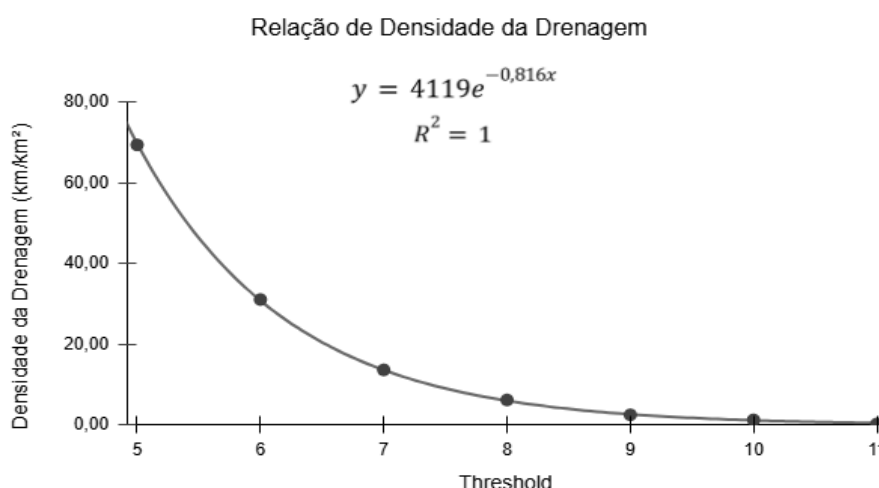
A rede de drenagem da área de estudo gerada está apresentada na Figura 4, sendo um reflexo do arquivo raster das direções de escoamento da drenagem. A escolha de um threshold igual a 5 gerou uma rede de drenagem de sétima ordem. As células com este valor passarão a corresponder aos canais de ordem 1. Sendo este o limiar mínimo, são traçados todos os canais com igual e maior ordem, que no caso da área de estudo, vai até ao valor 11, ou seja, os canais de ordem 7.

Figura 4 – Rede de drenagem gerada para área de estudo



Na área urbana, observa-se a tendência da criação de canais ortogonais, correspondentes aos lotes (primeira, segunda e terceira ordens), enquanto as quadras correspondem a ordens maiores. Logo, verifica-se que a rede acompanha o padrão do loteamento, ou seja, menores ordens correspondem aos lotes, enquanto, maiores ordens, às quadras, podendo ser utilizado em estudos de drenagem de áreas urbanas como em Lima *et al.*, (2021). A geração de linhas de drenagem paralelas, ocorre tanto na área urbana, devido ao relevo plano conjugado à malha urbana, mas também nas encostas do PESET, e pode estar relacionado a áreas de encostas em afloramentos rochosos, onde observa-se um espalhamento do fluxo através do escoamento difuso. Observa-se também que há uma redução na densidade da drenagem à medida que aumenta-se o valor de *threshold*. Constando-se que o valor de *threshold* adotado possui uma relação exponencial inversamente proporcional a densidade da drenagem gerada por cada limiar (Figura 5)

Figura 5 – Gráfico da relação da densidade de drenagem com o threshold

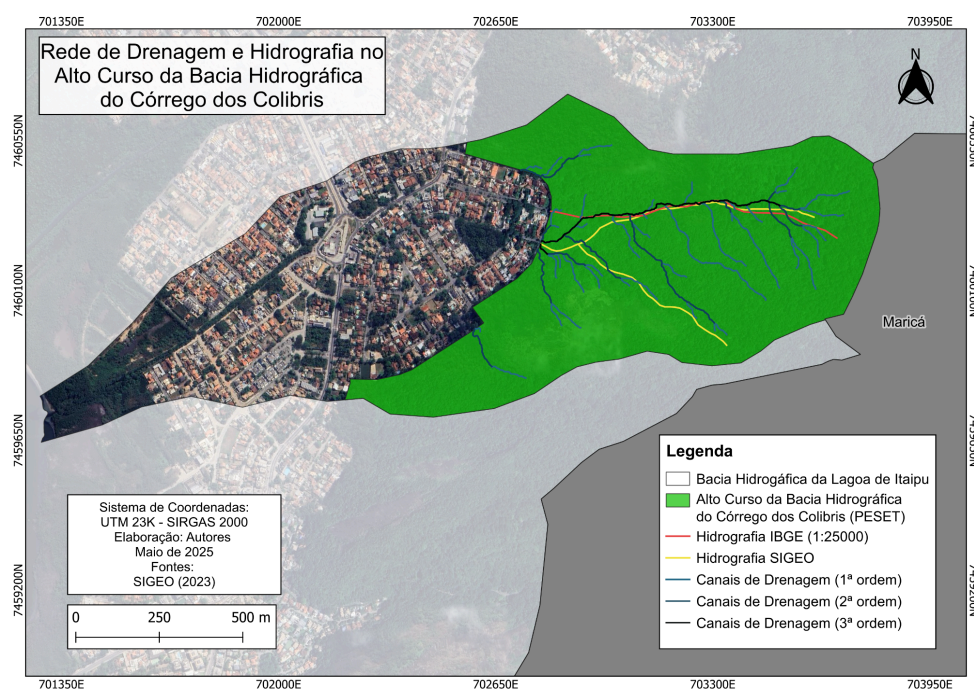


Analisando apenas a área inserida no PESET (Figura 6), considerou-se um valor de *Threshold* igual a 7, buscando apenas a representação da rede de drenagem sem a presença de paralelismo na rede, gerando uma rede de drenagem de terceira ordem. Foi considerada para extração, a apresentação dos canais confluentes ao canal principal, que representam as linhas de drenagem presentes nas zonas de convergência de água para o escoamento da drenagem na bacia. A rede gerada automaticamente corresponde à rede de terceira ordem, enquanto a hidrografia disponibilizada pelo SIGEO apresenta uma rede de segunda ordem e, por sua vez, a hidrografia gerada pelo IBGE só delimita o canal principal. Vale ressaltar que a rede de drenagem extraída automaticamente gera linhas preferenciais de escoamento, mas não significam que sejam perenes ou intermitentes, pois dependem das características físicas, conforme já apontado, bem como da morfometria da bacia e do volume precipitado.

Enquanto demarcação dos caminhos preferenciais para o escoamento, a rede de drenagem extraída automaticamente gera as zonas de convergência de água, sejam dos rios perenes, efêmeros ou intermitentes. Ou seja, considera-se como linha de drenagem, os caminhos por onde passa o escoamento, seja na superfície ou em subsuperfície, e permanente ou intermitentemente, o que pode trazer uma representação conservacionista para definição das áreas protegidas, segundo a Lei nº 12.651 de 2012, que exclui os rios efêmeros para o estabelecimento dessas áreas. Assim, a escolha

por um padrão de representação da rede drenagem em uma bacia, pode ser primordial no campo da preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente.

Figura 6 – Rede de drenagem gerada para a porção florestada da bacia



CONCLUSÕES:

A rede de drenagem gerada apresentou comportamentos distintos em áreas urbanizadas planas e em encostas florestadas, seguindo a malha urbana na primeira e as zonas de convergência de água na segunda, influenciada pelo relevo e pela resolução do MDT utilizado. A densidade da rede de drenagem mostrou-se inversamente proporcional à ordem de Strahler, formando padrões paralelos em áreas planas com limiares mais baixos. Apesar de similar ao canal principal da hidrografia oficial, a rede gerada possui maior densidade e prioriza caminhos preferenciais de escoamento, independentemente da permanência do fluxo. As ferramentas hidrológicas utilizadas no complemento do SAGA na interface do QGIS, com os dados LIDAR, mostraram-se eficazes e acessíveis, mas a aplicabilidade demanda aprimoramentos nos algoritmos de filtragem de MDT e validações em campo da rede de drenagem, com tecnologias precisas e apoio técnico especializado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Livros:

BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A.; LLOYD, Christopher D.. **Principles Of Geographical Information Systems**. 3. ed. New York: Oxford University Press, 1998. 333 p. (ISBN 978-0-19-874284-5).

TOPOCART - Topografia Engenharia e Aerolevantamentos S/S LTDA. **Relatório Técnico Final Levantamento Aerofotogramétrico e Perfilamento a Laser Niterói - RJ**. Brasília: Topocart. 2014.

Artigos em revista:

ALLENDE-PRIETO, Cristina; MÉNDEZ-FERNÁNDEZ, Beatriz I.; SAÑUDO-FONTANEDA, Luis A.; CHARLESWORTH, Susanne M.. Development of a Geospatial Data-Based

- Methodology for Stormwater Management in Urban Areas Using Freely-Available Software. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 15, n. 8, p. 1703, 9 ago. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15081703>
- FALASY, Anamelechi; COOKE, Richard. QGIS-based support tools to simplify the complex design challenges of subsurface drainage systems. **Irrigation And Drainage**, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 199-215, 6 ago. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ird.3011>.
- FAN, Fernando *et al.* Sobre o Início da Rede de Drenagem Definida a Partir dos Modelos Digitais de Elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 241-257, set. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n3.p241-257>.
- FERNÁNDEZ, Darcy Carolina Jiménez; VALERIANO, Márcio de Morisson; ZANI, Hiran; ANDRADES FILHO, Clódís de Oliveira. EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE REDES DE DRENAGEM A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 64, n. 6, p. 619-634, 31 out. 2012. PPUFU - Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv64n6-43808>.
- FRANÇA, Leandro Luiz Silva de; LIMA, Julio César Azevedo Luz de; AMORIM, Alessandro Rodrigues de; SATO, Simone Sayuri; RIBEIRO NETO, Alfredo; PESSOA, Sávía Gavazza dos Santos. Avaliação da Extração automática de Rede de Drenagem gerada a partir de dados do PE3D utilizando softwares livres. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 349-365, 25 jan. 2024. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p349-365>.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O.. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 54, p. 1593-1600, nov. 1998.
- KOZLOV, Dmitry; GHEBREHIWOT, Anghesom. Efficacy of digital elevation and Nash models in runoff forecast. **Magazine Of Civil Engineering**, [S.L.], v. 3, n. 87, p. 103-122, 2019. Magazine of Civil Engineering. <http://dx.doi.org/10.18720/MCE.87.9>.
- LEMENKOVA, Polina. SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness. **Contemporary Agriculture**, [S.L.], v. 70, n. 1-2, p. 67-75, 26 de maio de 2021. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/contagri-2021-0011>.
- LI, Zhenya *et al.* An Improved D8-LTD for the Extraction of Total Contributing Area (TCA) by Adopting the Strategies of Path Independency and Local Dispersion. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 58, n. 2, p. 1-30, fev. 2022. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2021wr030948>.
- LIMA, Alessandra de Santana, *et al.* O uso dos Dados LIDAR para a Compreensão da Dinâmica de Escoamento e Acúmulo de Águas em Recife – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3255-3278, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3255-3278>
- LIN, Yi-Chun; MANISH, Raja; BULLOCK, Darcy; HABIB, Ayman. Comparative Analysis of Different Mobile LiDAR Mapping Systems for Ditch Line Characterization. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 13, p. 2485, 25 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13132485>.
- MENDONÇA, Rafael Lopes; PAZ, Adriano Rolim da. LiDAR data for topographical and river drainage characterization: capabilities and shortcomings. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 27, n. 42, p. 1-19, nov. 2022. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220092>

- NAGABATHULA, Sunanda; YAMMANI, Srinivasa Rao. Application of accuracy improvement algorithms for extraction of topographic information and drainage network from DEM using GIS. **Bulletin Of Geography. Physical Geography Series**, [S.L.], n. 26, p. 35-51, 3 jun. 2024. Uniwersytet Mikolaja Kopernika/Nicolaus Copernicus University. <http://dx.doi.org/10.12775/bgeo-2024-0003>.
- O'CALLAGHAN, John F.; MARK, David M.. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, And Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, dez. 1984. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0734-189x\(84\)80011-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0734-189x(84)80011-0)
- PAZ, Adriano Rolim da; COLLISCHONN, Walter. Derivação de Rede de Drenagem a Partir de Dados do SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 84-95, ago. 2008. ISSN 1678-7226.
- REDDY, G.P. Obi; KUMAR, Nirmal; SAHU, Nisha; SINGH, S.K.. Evaluation of automatic drainage extraction thresholds using ASTER GDEM and Cartosat-1 DEM: a case study from basaltic terrain of central india. **The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 95-104, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.04.001>.
- ROSA, Rafael Mendes; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Compartimentação paisagística multiescalar da bacia hidrográfica do rio Uberabinha (Minas Gerais, Brasil) por meio da perspectiva geossistêmica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 34, n. 1, p. 1-24, 16 fev. 2022. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v34-2022-63507>
- TONIOLO, Bruno Pereira; SILVA, Darllan Collins da Cunha e; LOURENÇO, Roberto Wagner. Estudo comparativo de rede de drenagem na SABESP Oeste com auxílio de provedores SIG. *Geografia em Atos (Online)*, [S.L.], v. 5, p. 1-20, 12 jul. 2021. *Revista Geografia em Atos - Online*. <http://dx.doi.org/10.35416/geoatos.2021.8081>.
- VUJOVIC, Filip; CULAFIC, Golub; VALJAREVIC, Aleksandar; BRDANIN, Eldin; DURLEVIC, Uros. COMPARATIVE GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF DRAINAGE BASIN USING AW3D30 MODEL IN ARCGIS AND QGIS ENVIRONMENT: case study of the ibar river drainage basin, montenegro. **The Journal**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 217-230, 30 mar. 2024. *Journal Agriculture and Forestry*. <http://dx.doi.org/10.17707/agricultforest.70.1.15>.
- WANG, Lei; LIU, Holiday. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal Of Geographical Information Science**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 193-213, fev. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13658810500433453>.
- WANG, Yi-Jie; QIN, Cheng-Zhi; ZHU, A-Xing. Review on algorithms of dealing with depressions in grid DEM. **Annals Of Gis**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 83-97, 3 abr. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19475683.2019.1604571>.
- Artigos de Congressos ou Simpósios:
- PEIXOTO, Elizabete Bugalski de Andrade; CENTENO, Jorge Antonio Silva. Avaliação do uso de filtros morfológicos para obtenção de modelo digital do terreno e rede de drenagem a partir de dados LIDAR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais [...] . S.I: Inpe, 2009. p. 5047-2054.