

GERAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM PARA A BHRC A PARTIR DE UM MDT DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Raul Costa Pinto[1]
Ana Vitória Brito Lemos[2]
Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo[3]
Hailton Mello da Silva[4]
Luiz Rogerio Bastos Leal[5]

Palavras-chave: SIG; Sensoriamento Remoto; Modelagem hidrológica

INTRODUÇÃO

A cidade de Salvador (BA) enfrenta anualmente diversos problemas de ordem ambiental que são causados pela ação das águas, tais como: deslizamentos de terra e enchentes, sendo que esses problemas ocorrem principalmente no período chuvoso da capital baiana, que é compreendido entre os meses de abril-agosto. Isso ocorre devido ao relevo acidentado da cidade, que conta com topos de morro, vales e encostas (sendo que são

[1] Licenciado em Geografia pela UFBA, bacharelando em Geografia pela mesma instituição e mestrando em Estudos Territoriais pelo PROET (UNEB), NEHMA - Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente.
[2] Graduanda em Geografia pela UFBA, NEHMA - Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente.
[3] Graduação em Geografia, Mestrado em Sensoriamento Remoto e Doutorado em Geologia, professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, NEHMA - Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente.
[4] Graduação em Geologia, Mestrado em Geoquímica e doutorando em Geologia Ambiental, professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, NEHMA - Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente.
[5] Graduação em Geologia, Mestrado e Doutorado em Geociências, professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, NEHMA - Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente.

justamente nas encostas onde a população economicamente mais vulnerável da capital baiana reside) e, conforme atestam Andrade e Brandão (2009), esse núcleo urbano de topografia acidentada - com sucessões de colinas e vales - é uma das características mais proeminentes da cidade.

Nessa perspectiva, aliado ao fato de que a rede de drenagem é determinada a partir dos caminhos preferenciais de escoamento da água de chuva numa dada área (Santos e Francisco, 2011), a realização de um estudo que forneça mecanismos para que a rede de drenagem seja compreendida é de fundamental a fim de entender esses trajetos propenso da água, evitando, ou atenuando, assim a ocorrência de desastres naturais relacionados aos movimentos de massa e enchentes na cidade.

E uma boa maneira para que possamos compreender a rede de drenagem é através do entendimento de como ela está disposta numa bacia hidrográfica. Diante disso, o presente trabalho tem como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Camarajipe (BHRC) (figura 1), que é a terceira maior bacia, em extensão, da cidade de Salvador, possuindo uma área de cerca de 37,4 km². Sendo localizada na parte central da cidade, a BHRC contempla tanto bairros populares e nobres e tem a orientação do seu rio homônimo no sentido Oeste-Leste. De acordo com Santos *et al*. (2010), esta bacia possui diversas nascentes encontradas nos bairros de Pirajá, Marechal Rondon, Boa Vista de São Caetano, Calabetão e Mata Escura e sua foz se encontra no bairro Costa Azul, localizado no município de Salvador.

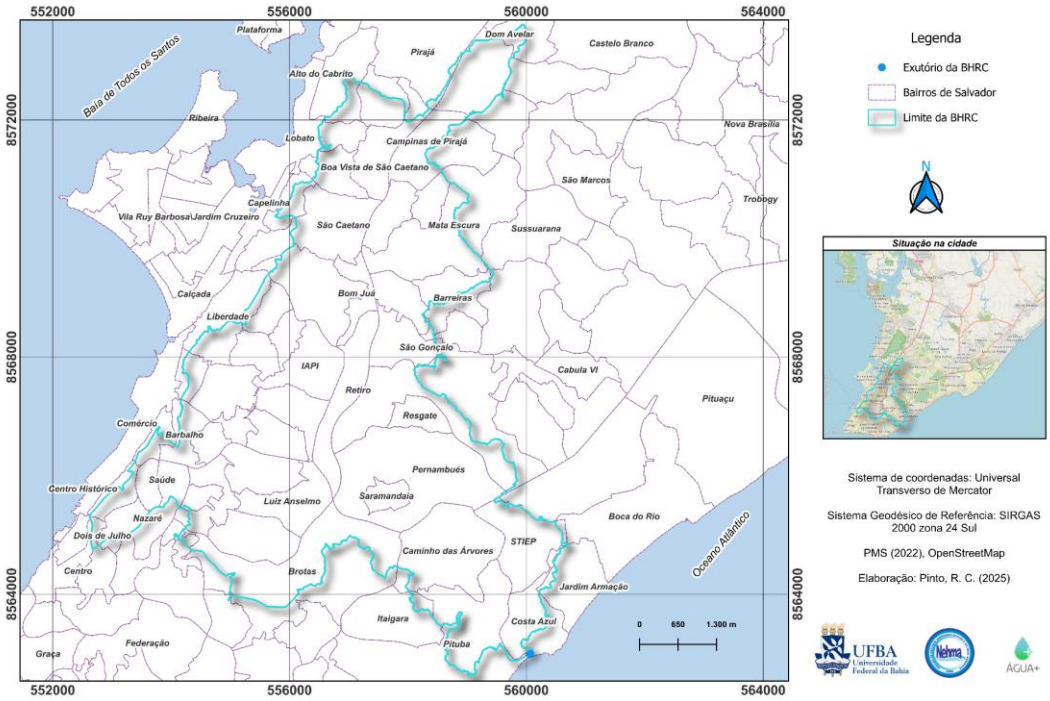

Figura 1 - Mapa de localização da BHRC

Diante do exposto, o presente trabalho buscou criar a rede de escoamento superficial digital da BHRC, utilizando um Modelo Digital de Terreno de alta resolução espacial. Para isso, foi utilizado o MDT obtido por perfilamento a laser (LiDAR), realizado pela prefeitura da cidade de Salvador, com uma resolução espacial de 50 cm. Por meio deste, foi possível realizar a modelagem hidrológica detalhada utilizando o software livre Qgis 3.34. Como resultado, foi possível extrair uma rede de drenagem mais precisa e de forma mais eficiente para a BHRC.

METODOLOGIA

A metodologia consistiu em duas etapas: *download* da base de dados (BD) junto ao site "Cartografia Salvador" e processamento dela através do software livre Qgis 3.34.

No site em questão, fomos na aba "Baixar dados Espaciais" e em seguida "MDT - Lotes de Entrega". É oferecida a opção de baixar 5 lotes, no entanto, apenas os lotes 1, 2 e 3, nos interessavam, que eram justamente aqueles que recobrem a cidade de Salvador. Tendo feito o *download* desses lotes, eles foram importados para o software livre Qgis e foram realizadas as etapas de pré-processamento nessas imagens, como o mosaico desses três lotes e no posterior recorte deles tendo como base o *shapefile* da cidade de Salvador.

Tendo agora apenas 1 arquivo compreendendo um MDT (Modelo Digital do Terreno) para toda a cidade, seguimos para o processo de modelagem hidrológica. Isso foi feito através da extensão "SAGA Next Gen" que se faz presente no Qgis como um complemento. Através do módulo "Terrain Analysis - Hydrology", utilizamos o algoritmo "Fill skins (Wang & liu)", para remover as depressões espúrias presentes no MDT. Tendo feito este processo, utilizamos outro módulo chamado "Terrain Analysis - Channels", onde agora utilizamos o algoritmo "Channel network and drainage basins" (ambos os algoritmos foram utilizados no modo padrão). Através desse último algoritmo, foram geradas as bacias hidrográficas da cidade de Salvador e bem como a rede de drenagem da cidade (Pinto *et al*., 2025). No entanto, foram encontrados problemas devido ao tamanho do arquivo, já que o MDT original possuía 50 cm de resolução espacial e ocupava 11,24 *gigabytes*, fazendo assim com que fosse necessário reamostrar o tamanho do pixel para 1 metro e o arquivo passou a ocupar agora 2,5 *gigabytes*, o que redundou num resultado mais satisfatório.

O procedimento final consistiu em recortar a drenagem da cidade tomando como base a BHRC (tendo sido gerada no procedimento acima), classificar o vetor gerado pela sua ordem dos canais e dissolver o resultado para que, ao invés de termos várias feições para as ordens dos canais geradas, tivéssemos apenas uma feição representativa de cada ordem de canal da nossa bacia de estudo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Bezerra *et al*. (2019), o uso dos MNTs (Modelos Numéricos do Terreno), como os MDE, tem se tornado lugar comum por trás de diversos estudos no âmbito da ciência, assim como eles têm sido usados em boa parte dos trabalhos com ênfase em análises ambientais. Isso explica o porquê, conforme nos diz Morais e Sales (2016), a caracterização e modelagem hidrológica de bacias hidrográficas estejam sendo feitas majoritariamente com os modelos digitais de elevação (MDE).

Para entendermos melhor esse uso atual e bastante difundido dos MDE, precisamos entender que, conforme nos remonta Gadelha *et al*. (2017), a avaliação da topografia de uma dada área era feita a partir de métodos tradicionais, como a utilização de dados de campo para assim poder se traçar as curvas de nível e obter a altimetria da área. No entanto, esse método era caro e exigia mão-de-obra especializada. Porém, com a difusão dos dados do sensoriamento remoto orbital, a coleta de informações da topografia terrestre foi grandemente ajudada com esses dados altimétricos que são obtidos num tempo relativamente curto e num custo mais barato.

Por exemplo, temos a famosa missão SRTM, que, no início deste século, mapeou e gerou dados de altimetria para quase a totalidade da superfície terrestre. Isso ajuda a entender a estreita relação entre as análises hidrológicas e o MDE, já que a primeira etapa fundamental para uma compreensão hidrológica de uma região é justamente o entendimento da sua topografia (Bezerra *et al*., 2019). Martins *et al*., (2007) já haviam destacado o potencial que os dados oriundos do SRTM ofereciam para aquelas regiões situados no chamado "vazio cartográfico", onde os autores se propuseram a gerar de forma automática a rede de drenagem e as bacias hidrográficas compreendidas nesta porção do território brasileiro (especificamente a costa dos manguezais entre os Estados do Pará e do Maranhão) a partir de dados de elevação obtidos pela missão SRTM.

Os passos para a extração automática da drenagem - preenchimento das depressões, definição da direção do fluxo e cálculo do acúmulo de fluxo - foram consolidados, de acordo com Souza e Almeida (2014), por O'Callaghan e Mark em 1984, sendo que este método é utilizado ainda hoje, embora com algumas alterações nos algoritmos. Através da extração da rede de drenagem, os seus parâmetros podem ser utilizados para estudos diversos, como a densidade de drenagem, quantidade e o comprimento dos cursos d'água, relação de bifurcação e confluência, perfil longitudinal, bem como outros (Morais e Sales, 2016).

No entanto, diversos autores já constataram o seguinte problema: a geração da rede de drenagem extraída de um MDE apresenta canais de primeira ordem inexistentes e drenagem retilínea e paralela em áreas planas (Santos e Francisco, 2011; Morais e Sales, 2016; Souza e Almeida, 2014). Além do mais, Fernandez *et al*., (2012) assevera que os algoritmos utilizados para a extração automática da rede de drenagem são válidos apenas como um procedimento inicial, pois eles não são capazes de produzir informação com a qualidade necessária para substituir a obtenção da drenagem feita pelos métodos tradicionais. Morais e Sales (2016) atestam isso ao afirmarem que a vetorização manual da drenagem a partir das imagens de satélite é um procedimento mais adequado quando queremos a representação precisa da drenagem. Por fim, Fernandez *et al*., (2012) nos lembram de que a escala cumpre um importante papel na extração automática da rede de drenagem, pois ela atua como um fator limitante dada a natureza do desenho da própria drenagem em si, cujas características variam a partir da escala de representação ou a de análise.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultado, o algoritmo gerou canais de 1° até 8° ordem e a partir do dissolvimento das feições presentes nesses canais, tivemos um vetor com apenas 8 feições, com cada uma delas representando uma determinada ordem de canal gerada (figura 2). Por fim, calculamos o comprimento de cada uma dessas feições representativas dos canais, tendo

chegado aos seguintes resultados: 1° ordem - 803 km; 2° ordem - 357 km; 3° ordem - 153 km; 4° ordem - 71 km; 5° ordem - 37 km; 6° ordem - 22 km; 7° ordem - 8 km; 8° ordem - 5 km. Um canal de 2° ordem é formado pelo encontro de dois canais de 1° ordem e assim sucessivamente, sendo que canais de ordem menor que se encontram com canais maiores (por exemplo, um canal de 1° ordem que encontra um canal de 2° ordem) não formam uma nova ordem, mais permanecem a mesma ordem do canal maior. A partir desses resultados, fica notório o fato de que a BHRC é majoritariamente composta por canais de 1° ordem, com eles sendo inclusive tendo o dobro do comprimento dos canais de 2° ordem e é natural que os canais de maior ordem tenham o menor comprimento, já que eles dependem da junção dos canais de ordem menores para formá-los.

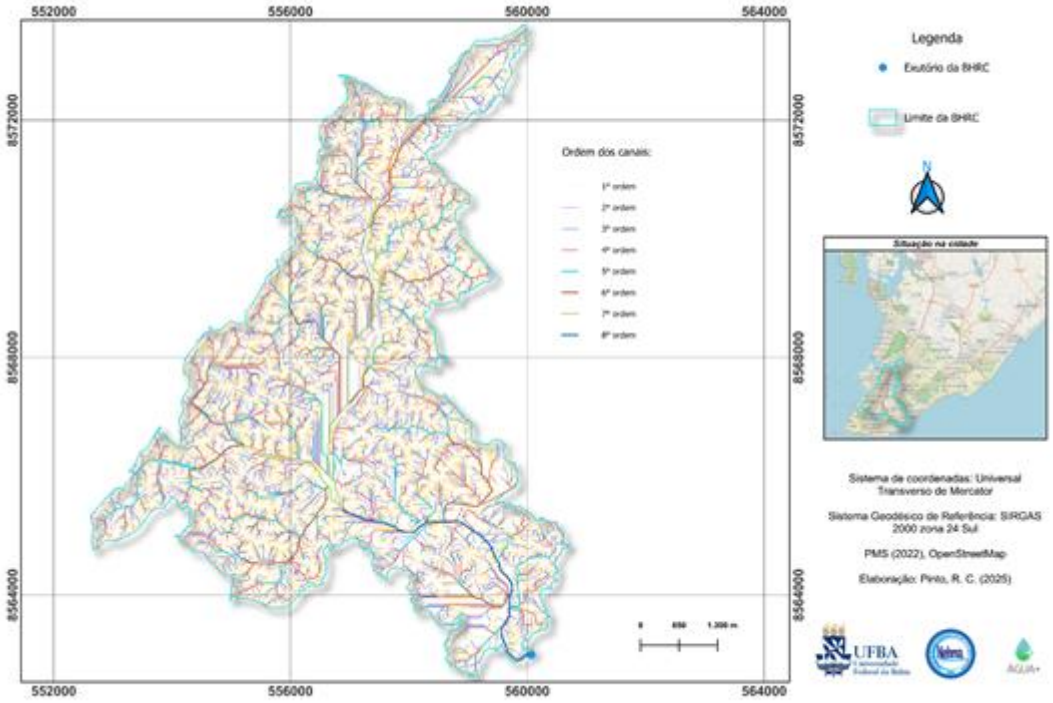

Figura 2 - Mapa com a ordem dos canais da BHRC

No entanto, alguns problemas foram encontrados, pois, no geral, as áreas planas da BHRC apresentaram a sua rede de drenagem de forma retilínea e paralela, o que não condiz com o relevo da mesma, além do mais, foi notado que as rodovias e o metrô influenciaram grandemente no resultado, o que acabou causando uma “confusão” na hora da extração, pois ora a rede de drenagem passava rente ao metrô e noutros trechos simplesmente o ignorava. Em virtude disso, uma análise mais acurada e com posterior edição vetorial das feições deverá ser realizada, para que assim possamos ter um produto de melhor qualidade em mãos. Ressaltamos que para um melhor dimensionamento dos resultados, os diversos parâmetros presentes nos algoritmos devem ser ajustados para que termos um resultado mais próximo a realidade da rede de drenagem real da área de estudo. Por fim, com este produto em mãos, o primeiro passo rumo a um melhor entendimento da dinâmica das águas superficiais da cidade

foi tomado, pois produtos deste tipo não só são úteis à academia, mas também aos tomadores de decisão da cidade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. B.; BRANDÃO, P. R. B.. **Geografia de Salvador**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2009.

BEZERRA, U. A. et al. **Extração de rede de drenagem por diferentes tipos de MDE**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63546>. Acesso em: 23 mar. 2025

FERNÁNDEZ, D. C. J. et al. **Extração automática de redes de drenagem a partir de modelos digitais de elevação**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 64, n. 6, 2012. DOI: 10.14393/rbcv64n6-43808. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43808>. Acesso em: 23 mar. 2025.

GADELHA, A. N.; DA PAZ, A. R.; ALMEIDA. C. N.; FREITAS. E. S.; COELHO. V. H. R; BARBOSA. L. R. **Avaliação do TanDEM-X: produto MDE com resolução de 15 metros**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. XXII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017. Disponível: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2242>. Acesso em: 23 mar. 2025.

MARTINS, E. do S. F. et al.. **Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. p. 6827 - 6834. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.27/doc/6827-6834.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2025.

MORAIS, R. C. de S.; SALES, M. C. L.. **Extração Automática de Drenagem: uma Análise Comparativa a Partir de Diferentes Ferramentas e Bases de Dados**. Revista Brasileira de Geografia Física, *[S. l.]*, v. 9, n. 6, p. 1849 – 1860, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.6.p1849-1860. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233860>. Acesso em: 16 mar. 2025.

PINTO, R. C. P.; LEMOS, A. V. B.; ARAUJO, T. F. R.; MELO, D. H. C. T. B.; LEAL, L.R. B.. **Delimitação automática da bacia hidrográfica do rio Camarujipe na cidade de Salvador (BA) a partir de um MDT de alta resolução espacial**. XV SINAGEO. No prelo, 2025.

SANTOS, L.C.S. ; FRANCISCO, C. N. . **Avaliação dos Modelos Digitais de Elevação aplicados à extração automática de redes de drenagem**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. p. 1311-1318. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.06.13.52/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 23 mar. 2025.

SANTOS, M. E. P.; PINHO, J. A. G.; MORAES, L. R. S.; FISCHER, T. **O caminho das águas em Salvador: Bacias hidrográficas, Bairros e Fontes**. Salvador: CIAGS/UFBA; SEMA, 2010.

SOUZA, J. O. P. DE; ALMEIDA, J. D. M. DE. **Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos**. Boletim de Geografia, v. 32, n. 2, p. 134 - 149, 3 dez. 2014. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/20470>. Acesso em: 16 mar. 2025