

Análise morfométrica da bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de elevação do rio Santa Maria do Doce, Espírito Santo

Luiz Henrique Cunha Ciciliotti¹, Thales Ian Maia Sales¹, Juliette Zanetti²

Submissão: 10/05/2023

Aprovação: 05/10/2023

Resumo - A análise morfométrica em bacias hidrográficas compõe elementos fundamentais para o planejamento e avaliação do seu comportamento e determina riscos e potencialidades de cada bacia, além de contribuir nas tomadas de decisões quanto à conservação, uso e ocupação do solo. O estudo tem como objetivo realizar a análise morfométrica da bacia do rio Santa Maria do Doce, ES, utilizando modelos digitais de elevação dos anos de 2000 e do ano de 2014. Aliado ao ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio da utilização de geotecnologias (Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica, Banco de Dados Geográficos, dentre outras), o estudo morfométrico apresentou parâmetros referentes à geometria, índice de circularidade, coeficiente de compactidade, fator de forma, hierarquia fluvial, densidade de drenagem; que evidenciam uma rede de drenagem com baixa susceptibilidade à inundação em ambos os anos. De maneira geral, com este trabalho foi possível gerar subsídios para compreender o comportamento da bacia hidrográfica, para a gestão e planejamento e servindo de base para futuros estudos.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Análise morfométrica SIG.

Morphometric analysis of the watershed using data from different digital elevation models of the Santa Maria do Doce River, Espírito Santo

Abstract - The morphometric analysis in hydrographic basins comprises fundamental elements for the planning and evaluation of their behavior and determines risks and potentialities of each basin, in addition to contributing to decision-making regarding the conservation, use and occupation of the soil. The present study aims to carry out the morphometric analysis of the Santa Maria do Doce river basin, ES, using digital elevation models from the years 2000 and 2014. Allied to the Geographic Information Systems (GIS) environment, for through the use of geotechnologies (Remote Sensing, Geographic Information Systems, Geographical Databases, among others) the morphometric study presented parameters related to geometry, circularity index, compactness coefficient, form factor, fluvial hierarchy, drainage density; which show a drainage network with low susceptibility to flooding in both years. In general, with the proposed work it was possible to generate subsidies to understand the behavior of the hydrographic basin, for the management and planning and serving as a basis for future studies.

Keywords: Watershed. Morphometric analysis. GIS.

1 Graduados em Engenharia Civil da Faculdade Multivix de Vila Velha, Vila Velha, ES.

2 Professora coordenadora de engenharia da Faculdade Multivix de Vila Velha, Vila Velha, ES.

INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou um sistema conectado de cursos de água, de modo que toda a vazão efluente seja direcionada para uma única saída, denominada como exultório (Tucci, 20094).

As grandes nações têm o manejo e o cuidado com a água como prioridade em seus processos que a utilizam. Com as bacias hidrográficas não seria diferente. São usadas como unidades de planejamento e gerenciamento, uma vez que compatibilizam os diversos usos e interesses pela água, garantindo sua qualidade e quantidade. Com base nesse planejamento, são criadas pelos líderes normas e regras com ênfase no desenvolvimento sustentável da bacia (Guerra; Cunha, 1996).

A análise morfométrica contempla uma necessidade da base de dados sobre a bacia, que ajuda na elaboração de estudos ambientais. Com posição de destaque, a morfometria contempla a análise quantitativa do relevo, observando uma configuração espacial e conjunto de drenagens e vertentes (Guerra; Cunha, 2003). É essencial para uma compreensão do impacto das alterações que podem ocorrer ao relevo, causando impactos diretos, como processos erosivos, processos de movimentos de massa, condições de inundações e assoreamentos. Segundo Christofolletti (1980), ajuda diretamente em estudos como modelagem de fluxo hidráulico e transposição de afluentes.

Segundo Villela e Mattos (1975), as características geológicas influenciam um terreno ou localidade como um todo, de forma que afetam todos os aspectos dos eventos que ocorrem no mesmo. A topografia basicamente estuda essas características geológicas e físicas do solo, interferindo também de forma incisiva em nossos ambientes de estudo, dentre eles a água proveniente da precipitação, que está na superfície geológica de diversas formas, tais como rios, lagos ou no subsolo por meio do escoamento subterrâneo.

O estudo de bacias hidrográficas, tanto em meio urbano quanto rural, é importante para obter o equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e a

sustentabilidade ambiental (Vasco et al., 2011). Um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas e/ou ambientais de bacias hidrográficas é a sua caracterização morfométrica (Teodoro et al., 2007).

A análise da morfometria de bacias hidrográficas abrange pesquisas quantitativas do relevo. Esses estudos são necessários para a determinação das potencialidades e limitações quanto ao uso do solo, auxiliando no planejamento das atividades a serem desenvolvidas, não sendo menos importantes (Fraga et al. 2014).

Uma vez formada a bacia hidrográfica, os dados obtidos em um estudo morfométrico, como destacam Santos e Sobreira (2008), tornam-se extremamente importantes na necessidade de um planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, uma vez que os resultados obtidos traçam um norte de onde devemos seguir para um manejo maior das bacias de forma preservacionista e sustentável.

Segundo Campos et al. (2015), tem-se utilizado técnicas de geoprocessamento na elaboração de trabalhos de caracterização morfométrica, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). As operações envolvendo geoprocessamento são executadas por ferramentas denominadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem a realização de análises por meio da integração de dados de várias fontes e criação de bancos de dados georreferenciados, além de tornar viável a produção de documentos cartográficos (Câmara et al., 2001).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar a análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, localizada entre os municípios de Santa Teresa, São Roque do Canaã e Colatina, utilizando o MDE do ano de 2014 disponibilizado na plataforma TOPODATA e o MDE.

Pretende-se, a partir deste estudo, espacializar as informações obtidas e gerar produtos cartográficos que auxiliem na compreensão dos processos decorrentes da dinâmica geomorfológica e hidrológica, permitindo identificar os fatores que possuem potencial de influenciar a ocorrência de eventos ligados aos processos de inundação no município, bem como realizar um comparativo entre os resultados obtidos referente ao ano de 2000 e ao ano 2014.

MATERIAIS E MÉTODO

ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi executado na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, situada entre os municípios

de Colatina, São Roque do Canaã e Santa Teresa, no estado do Espírito Santo, ES (Figura 1).

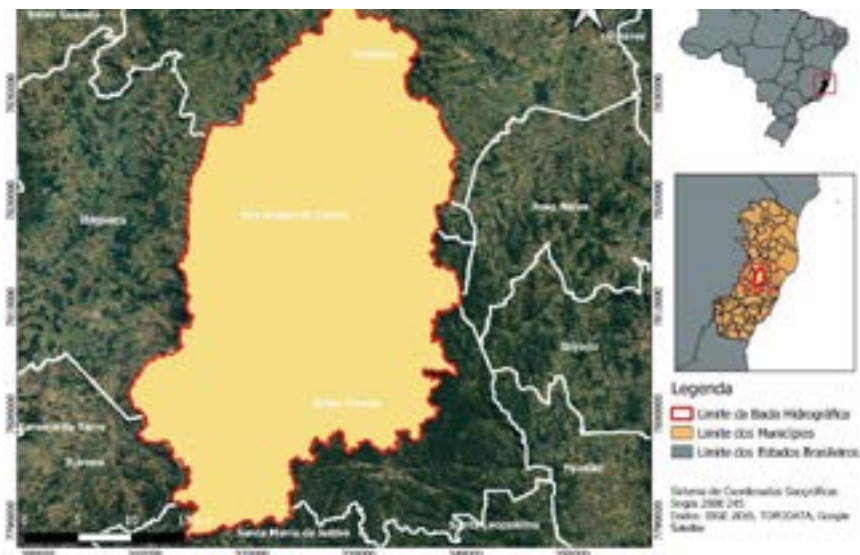


Figura 1. Mapa de Localização da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Doce, ES.

Fonte: Produzido pelos autores (2023).

OBTENÇÃO E TRATAMENTOS DOS DADOS

A metodologia do trabalho baseia-se na coleta e tratamento de dados espaciais, estruturadas através do sistema de referência SIRGAS 2000, sistemas de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e fuso 24 sul. O georreferenciamento, análise, edição, manipulação dos dados e geração de produtos cartográficos da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce foram realizados utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio do software Quantum GIS (QGIS) versão 3.22.11.

Foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) no formato GeoTIFF do ano de 2014 para a delimitação e extração da rede de drenagem, estruturado em quadrículas na escala de 1:250.000, disponibilizado gratuitamente para download por meio da plataforma TOPODATA. Para o MDE do ano 2000, a carta topográfica foi disponibilizada para download gratuitamente através do NASADEM.

A escolha dos parâmetros morfométricos utilizados

para o trabalho partiu de uma revisão bibliográfica sobre a temática, selecionando os que apresentavam maior relação com o potencial de contribuição para o desenvolvimento de inundações. Os parâmetros selecionados, bem como sua descrição, serão apresentadas no tópico a seguir.

O uso da análise morfométrica da bacia hidrográfica tem como objetivo principal o auxílio nos estudos ambientais (Oliveira et al., 2010). Segundo Santos e Sobreira (2008), esta análise define parâmetros morfométricos com o propósito de identificar alterações na bacia em estudo, sendo úteis para fins de planejamento ambiental e gestão de recursos hídricos.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

A Tabela 1 mostra a forma de cálculos dos parâmetros morfométricos, tais como: comprimento do rio principal, perímetro, área, densidade de drenagem, fator de forma, coeficiente de compacidade, declividade, ordem da bacia e índice de circularidade.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos calculados para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria Doce, ES.

Parâmetros morfométricos	Conceito	Equação
Comprimento do rio principal (km)	É definido a partir do perfil longitudinal do rio, determinando o comprimento total entre a nascente mais distante e o exutório (Tucci, 2004).	-
Perímetro (km)	Comprimento linear total do divisor de águas (Tonello, 2005).	-
Área (km ²)	Área de drenagem corresponde a toda a área drenada pelo conjunto fluvial incluída entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal (Villela; Mattos, 1975).	-
Densidade de drenagem (Dd) (km/km ²)	Comprimento total dos canais de uma bacia hidrográfica por unidade de área (Tucci, 2004).	$Dd = \sum L_T / A$
Fator de Forma (Kf)	Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a área da bacia e o quadrado do comprimento da bacia (Horton, 1945).	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Coefficiente de Compacidade (Kc)	Constitui a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (Cardoso <i>et al.</i> , 2006).	$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$
Declividade (°)	Inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, sendo a combinação entre a diferença de altura entre dois trechos e a distância horizontal entre eles (Ambdata, 2022).	Declividade Graus $= \text{ArcTang} \left(\frac{dh}{Dh} \right)$
Ordem da Bacia	Classificação sobre o grau de ramificações presentes em uma bacia hidrográfica (Campos <i>et al.</i> , 2015).	-
Índice de circularidade	Representa a relação existente entre o perímetro e a área da bacia (Campos <i>et al.</i> , 2015).	$Ic = 12,57 * \frac{A}{P^2}$

Fonte: Produzido pelos autores (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros morfométricos calculados para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, ES.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros morfométricos calculados para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, ES.

Parâmetros morfométricos	MDE (2000)	MDE (2014)
Comprimento do rio principal (Km)	86,03	85,15
Perímetro (km)	247,07	251,34
Área (km ²)	940,00	955,00
Densidade de drenagem (Dd) (km/km ²)	1,98	1,86
Fator de Forma (Kf)	0,13	0,33
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,26	2,28
Ordem da Bacia	7,00	7,00
Índice de circularidade	0,19	0,19
Altitude Mínima (m)	25,00	27,20
Altitude Máxima (m)	1034,00	1037,20

Fonte: Produzido pelos autores (2023).

De acordo com os resultados obtidos com o processamento dos modelos no ano de 2000 e o de 2014, verifica-se o valor de densidade de drenagem, seguindo a classificação proposta por Beltrame (1994), como mediana, pois nos dados obtidos em ambos os anos se manteve entre 0,50 e 2,00 Km/Km².

O Coeficiente de Compacidade (Kc) encontrado no ano de 2000 foi de 2,26, e para o ano de 2014, foi de 2,28. Segundo Cardoso et al. (2006), o coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo e constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Para Oliveira et al. (2010), bacias hidrográficas cuja forma se aproxima da de um círculo tendem a proporcionar a conversão do escoamento superficial para um trecho pequeno do rio principal; assim, quanto mais próximo de 1 for este índice, maior a potencialidade de picos de enchentes na bacia hidrográfica. Neste contexto, mediante aos resultados obtidos para esse parâmetro, assegura-se que a bacia é bastante irregular e possui pouca similaridade com um círculo. Os valores encontrados indicam que a bacia é pouco propensa a enchentes em condições normais de precipitação.

Em relação ao parâmetro do índice de circularidade (Ic), a relação existente entre o perímetro e a área da bacia pode variar de 0 a 1, sendo que valores para esse parâmetro muito próximos de 1 indicam que a bacia é similar a um círculo. Segundo Schumm (1956), a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (picos de cheias) quando os valores para esses parâmetros são superiores a 0,51, e valores inferiores a 0,51 sugerem que a bacia

tende a ser mais alongada, contribuindo para o processo de escoamento. Para o estudo, constatou-se em ambos os anos um valor de 0,19, indicando que a bacia não possui forma circular e pouco propensa aos processos de inundação. Mostra-se ainda, em condições normais de precipitação, o baixo risco de ocorrerem grandes enchentes, pois o resultado do Fator Forma (kf) apresenta 0,13 para o ano de 2000 e 0,33 para o ano de 2014.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados encontrados da rede hidrográfica da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, com base no processamento dos dados oriundos do MDE do ano de 2000. Segundo Villela e Mattos (1975), o ordenamento dos rios é uma determinação que representa o nível de ramificação dentro de uma bacia. Com base no exposto, considera-se de primeira ordem os pequenos cursos d'água que não possuam tributários, e quando dois cursos d'água se encontram, é denominado como segunda ordem.

Quando ocorre a união entre dois rios de segunda ordem, é formado um curso d'água de terceira ordem, e assim, sucessivamente. Assim, pode classificar essa bacia como de 7ª ordem, com cerca de 4319 canais.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das rede hidrográfica da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, ES, com base no processamento dos dados oriundos do MDE do ano de 2014. Verifica-se também a classificação da bacia como de 7ª ordem, possuindo 3868 canais percorrendo por uma distância de aproximadamente 85,15 km em seu rio principal.

Tabela 3. Dados da análise da rede hidrográfica da bacia do rio Santa Maria do Doce, ES, referente ao ano de 2000.

Ordenamento dos canais	Número de canais por ordem (NU)	Comprimento total (LU)	Comprimento médio (LMI)
1ª ordem	2175	913,95	0,420
2ª ordem	1061	473,72	0,446
3ª ordem	536	244,32	0,455
4ª ordem	270	118,77	0,439
5ª ordem	139	56,12	0,403
6ª ordem	77	30,75	0,399
7ª ordem	61	22,34	0,366

Fonte: Produzido pelos autores (2023).

O mapa da hierarquia fluvial da bacia, referente ao ano de 2000, pode ser melhor analisado de acordo com a Figura 2.



Figura 2. Mapa de Hierarquia Fluvial – rio Santa Maria do Doce – ES, referente ao ano de 2000.
Fonte: Produzido pelos autores (2023).

Tabela 4. Dados da análise da rede hidrográfica da bacia do rio Santa Maria do Doce, ES, referente ao ano de 2014.

Ordenamento dos canais	Número de canais por ordem (NU)	Comprimento total (LU)	Comprimento médio (LMI)
1ª ordem	1949	843,18	0,432
2ª ordem	923	465,31	0,504
3ª ordem	476	232,29	0,488
4ª ordem	242	114,39	0,474
5ª ordem	135	60,01	0,447
6ª ordem	82	35,74	0,441
7ª ordem	61	22,87	0,381

Fonte: Produzido pelos autores (2023).

O ordenamento pode ser melhor analisado de acordo com a Figura 3.

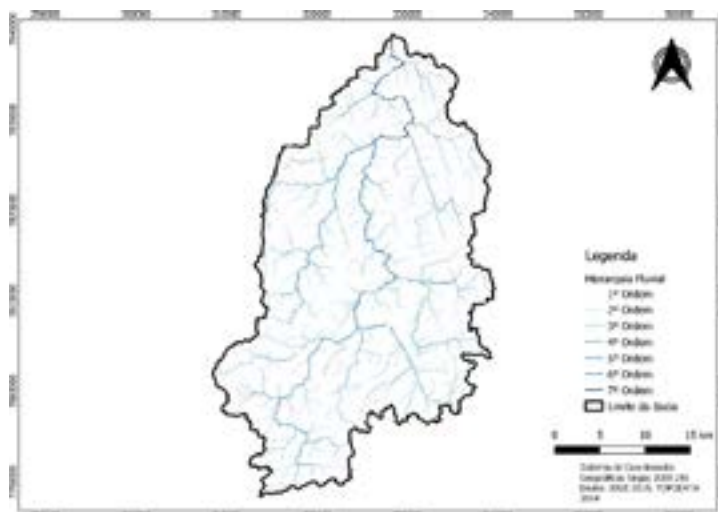


Figura 3. Mapa de Hierarquia Fluvial do rio Santa Maria do Doce, ES, 2014.
Fonte: Produzido pelos autores (2023).

Para análise de declividade na bacia do rio Santa Maria do Doce, ES, baseou-se em seis intervalos (Tabela 5), proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2009).

Tabela 5. Classificação de declividade pela Embrapa.

Declividade	Descrição
$0 \geq 3$	Plano
$3 \geq 8$	Suavemente ondulado
$8 \geq 20$	Ondulado
$20 \geq 45$	Fortemente ondulado
$45 \geq 75$	Montanhoso
> 75	Fortemente montanhoso

Fonte: Embrapa (2009).

As formas de relevo que ocorrem na bacia do rio Santa Maria do Doce no ano de 2000 são: fortemente ondulado na maior parte da área, com a presença

de algumas áreas com relevo montanhoso, suave ondulado e plano (Figura 4).

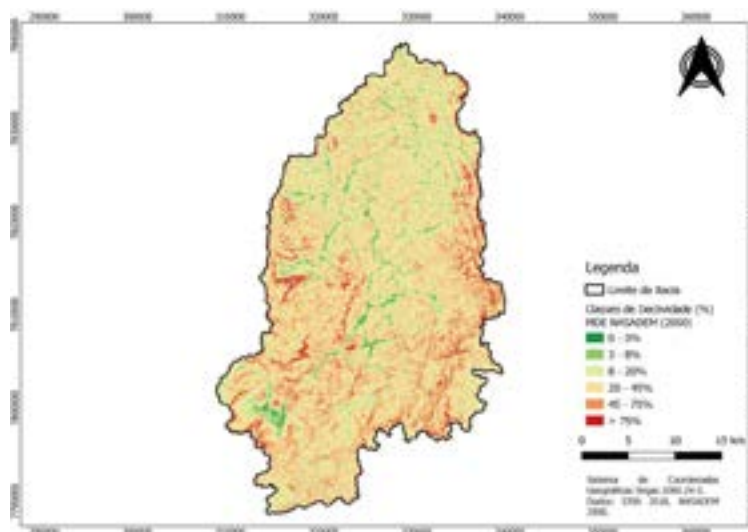


Figura 5. Mapa de declividade do Rio Santa Maria do Doce, 2014

Fonte: Produzido pelos autores (2023).

Segundo Villela e Mattos (1975), a hipsometria representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia em relação ao nível médio do mar.

Conforme apresentado na Figura 6, o mapa hipsométrico do ano de 2000 apresenta elevação mínima equivalente a 25 metros e máximo de 1034 metros.

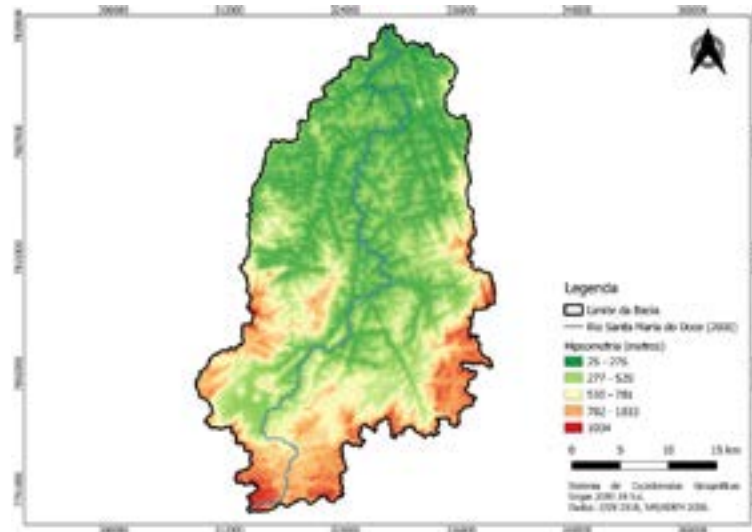


Figura 6. Mapa Hipsométrico, rio Santa Maria do Doce, ES, referente ao ano de 2000.
Fonte: Produzido pelos autores (2023).

A Figura 7 mostra o mapa hipsométrico na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, com elevação mínima equivalente a 27 metros e máxima de 1037

metros, referente ao ano de 2014. Verifica-se pouca variação quando comparado com o ano de 2000.

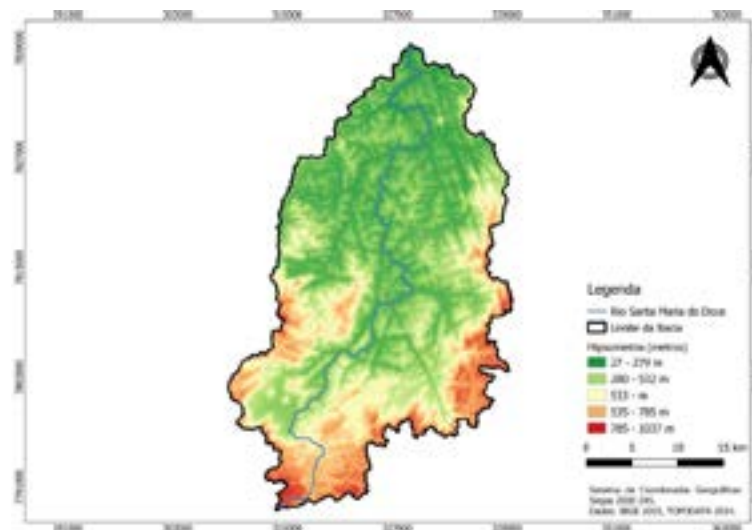


Figura 7. Mapa hipsométrico, rio Santa Maria do Doce, ES, 2014.
Fonte: Produzido pelos autores (2023).

CONCLUSÃO

Os parâmetros morfométricos obtidos durante o processo de geração dos produtos cartográficos apresentaram baixa probabilidade de áreas suscetíveis a inundação e enchentes, devido ao seu coeficiente de compacidade aliado ao fator de forma da bacia hidrográfica.

O estudo gerou subsídios para compreender o comportamento da bacia hidrográfica mediante o modelo digital de elevação utilizado. Para estudos futuros, sugere-se a utilização de dados mais recentes para análise e discussão dos resultados.

Os resultados deste trabalho reforçam a importância do estudo no meio acadêmico de preservação ambiental. De modo que a análise completa da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, poderá mostrar a degradação durante o passar de 14 anos, a partir de informações de declividade, vazão, possibilidades de cheia e características geológica da bacia.

Assim, o estudo mostra que a bacia estudada não sofreu grandes alterações. Mostra também uma mínima probabilidade de cheias, de modo que as situações como enchentes ou secas da bacia, que são uma das maiores incógnitas que influenciam nos temas abordados, não se constituem como um problema relevante neste momento.

REFERÊNCIAS

- AMBDATA. **Variáveis ambientais para modelagem de distribuição de espécies**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/declividade_gradiente.php. Acesso em: 27 out. 2022.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.
- CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M.; RECHE, A. M. **Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia Ribeirão Descalvado, Botucatu, São Paulo**. Irriga, v. 1, n. 1, p. 52, 2015.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE. São Paulo 2001. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 27 out. 2022.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan. **Revista arvore**. Nova Friburgo, RJ., v.30, n.2, p.241-248 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos, Rio de Janeiro**: Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.
- FRAGA, S. M.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Revista ambiente e água, Taubaté**: v.6, n.1, p.118-130, jan./abr. 2014.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 345 p.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Degradação ambiental**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) Geomorfologia e meio ambiente. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America Bulletin**, 56(3), 1945 (275–370).
- OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, PB: v.14, n.8, p.819–825, 2010.
- SANTOS. C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas, MG. **Revista Escola de Minas**, v.61, n.1, p.77-85, 2008.
- SCHUMM, S. A. “Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy”. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, pp. 597-646, 1956.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007.
- TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. 69p.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw –Hill do Brasil, 1975, 245p.

VASCO, A. N. et al. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do Rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista ambiente e água, Taubaté**: v.6, n.1, p.118-130, jan./abr. 2011.