

CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA PARA APOIO NA AVALIAÇÃO DE RISCO DE ENCHENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IMBÉ/RJ

Ronald Rocha de Jesus¹; Vicente de Paulo Santos de Oliveira²; Elias Fernandes de Sousa³; Wilmar Wan-De-Rey de Barros Júnior⁴.

Resumo – A utilização de ferramentas tecnológicas para a caracterização de bacias hidrográficas tem se mostrado uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. O desenvolvimento de atividades econômicas, o uso e a ocupação do território das bacias hidrográficas têm causado impactos significativos, tanto na dinâmica hídrica quanto na biodiversidade. Analisar as inter-relações sistêmicas, além de possibilitar maior compreensão dos fenômenos envolvidos, permite melhorar a gestão dos recursos hídricos. Neste sentido, o presente trabalho propõe a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Rio Imbé, com vistas a dar apoio ao gerenciamento dos recursos hídricos e, na medida do possível, contribuir para a predição de eventos extremos, com base na caracterização da bacia. Para o desenvolvimento dos trabalhos foram empregados os softwares OpenFlows FLOOD® e ArcGIS®. Algumas características fisiográficas foram obtidas por meio de equações obtidas na literatura.

Abstract – *The use of technological tools for the characterization of watersheds has been presented as an important tool for the management of water resources. The development of economic activities, the use and occupation of the watershed land area have caused significant impacts, both on water dynamics and on biodiversity. Analyzing systemic interrelations, in addition to providing a better understanding of the phenomena involved, allows to improve the management of water resources. In this sense, the present article proposes the physiographic characterization of river Imbé's watershed, with the aim of supporting the management of water resources and, as far as possible, contribute to the prediction of extreme events, based on the characterization of the watershed. OpenFlows FLOOD® and ArcGIS® software were employed in the development of this task. Some physiographic characteristics were inferred using equations obtained in the literature.*

Palavras-Chave – Análise fisiográfica; Lagoa de Cima; Gestão de recursos hídricos;

¹ Eng., M. Sc., Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, (22) 2737-5624, engenheiroronald@gmail.com

² Eng., D. Sc., Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, (22) 2737-5624, vicentepsoliveira@gmail.com

³ Eng., D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, (22) 2737-5624, sousa.elias.fernandes@gmail.com

⁴ Eng., M. Sc., Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, (22) 2737-5624, wilmarwjr@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A elaboração de análises integradas da paisagem permite analisar as inter-relações sistêmicas nas bacias hidrográficas, o que possibilita novas abordagens, novos diagnósticos e prognósticos para região envolvida. A utilização de ferramentas geoecológicas somadas ao estudo da geografia local pode contribuir de maneira significativa para a gestão dos recursos hídricos (LIMA *et al.*, 2017).

Santos e Mariano (2016) observaram que as atividades humanas têm impactado nas bacias hidrográficas de forma contundente. Seja nas mudanças nas condições físicas dos cursos hídricos, ao possibilitar o maior aporte de sedimentos, como na redução da biodiversidade, ao alterar o regime hidráulico e os fluxos de energia e matéria dos rios. Por isso, estudos sobre as bacias hidrográficas que buscam o entendimento da dinâmica dos elementos naturais podem favorecer a conservação da quantidade e da qualidade da água.

Diante disso, este trabalho visa contribuir com o levantamento de informações de suporte a gestão hídrica regional, determinando as principais características fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Imbé, inserido na área de abrangência do Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (CBH-BPSI), organismo colegiado, pertencente ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o qual é responsável pela gestão descentralizada da Região Hidrográfica IX do estado do Rio de Janeiro. As ações são desenvolvidas pelo GTMC - Grupo de Trabalho de Manejo de Comportas. O GTMC é composto por representantes indicados pelos entes (governamentais e não governamentais) que compõem o comitê (JESUS, OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2019).

2. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Imbé localiza-se no norte do estado do Rio de Janeiro e abrange parte dos municípios de Campos dos Goytacazes e Santa Maria Madalena. A bacia está compreendida entre as coordenadas de 21°65'00" e 22°09'00" latitude sul e 41°52'00" e 42°07'00" longitude oeste. A nascente do Rio Imbé, o qual dá seu nome à bacia, se localiza na serra do mar, dentro dos limites do município de Santa Maria Madalena. No alto curso, o Rio Imbé segue por trechos de topografia acidentada até atingir a porção baixa, onde deflui na lagoa de Cima, seu exutório. No percurso, corta regiões com vegetação remanescente da mata atlântica, especialmente na porção da serra do mar, onde parte bacia está legalmente protegida pelo Parque Estadual do Desengano – PED. Este criado pelo Decreto-lei 250/1970 (SILVA *et al.*, 2018). Com relação ao uso e ocupação do solo, destaca-se, também, a pecuária extensiva, sobretudo na região do seu baixo curso.

Da lagoa de Cima a bacia contribui, através do Rio Ururaí, para a lagoa Feia, que por sua vez escoar para o oceano atlântico através de um canal artificial (Canal da Flecha). O controle do nível é realizado por um aparato composto por 12 comportas. O estudo das condições a montante permite melhorar a previsibilidade de eventos de inundação e, conseqüentemente, auferir eficiência operacional.

Na figura 1 são apresentadas a localização e a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Imbé.

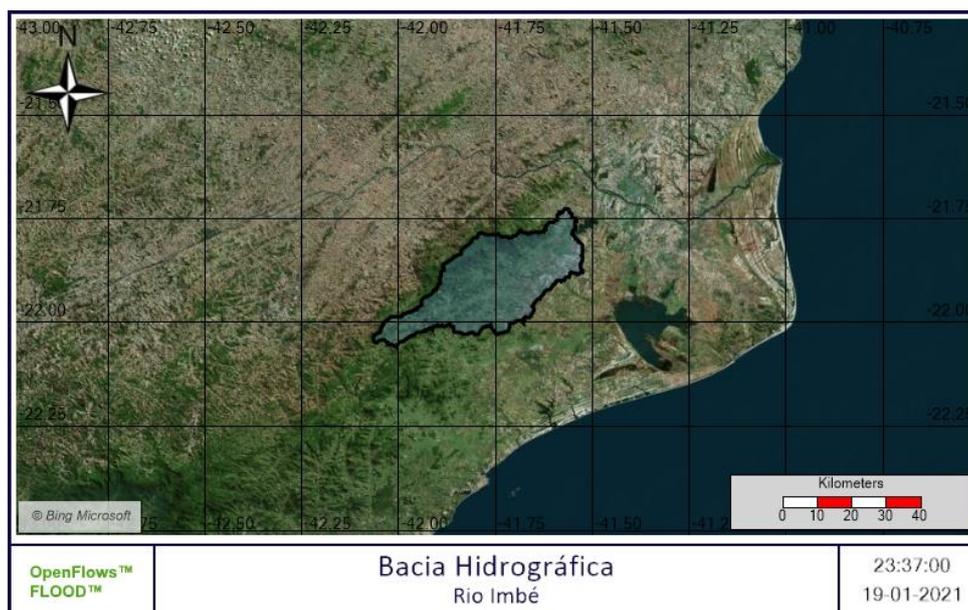


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Imbé. Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

3. METODOLOGIA

Para a caracterização fisiográfica foram empregados o *software OpenFlows FLOOD® (SOFF)*, versão 10.03.00.01 (OPENFLOWS FLOOD, 2020) e, também, o *software ArcGIS®*, versão 10.6.1 (ARCGIS DESKTOP, 2018). Baseado nos arquivos de dados, utilizou-se as ferramentas computacionais para remover eventuais erros, promover correções e ajustes necessários à modelagem dos cursos hídricos existentes, fazer a delimitação da bacia hidrográfica e determinar algumas de suas principais características.

Para subsidiar o estudo de modelagem do terreno foi utilizado o Modelo Digital de Elevação, disponibilizado no sítio eletrônico do projeto Topodata - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BRASIL, 2021). Após o *download*, foram feitos alguns ajustes e os arquivos foram convertidos para a formatação utilizada no SOFF (extensão .xyz). Em seguida, foi realizada a delimitação da área a ser trabalhada por meio da elaboração de GRID utilizando a ferramenta *Constant Spaced Grid*, adotando-se $dX = 0.0025$ e $dY = 0.0025$ para células do GRID. As cotas foram interpoladas por meio da ferramenta *Create Grid Data from XYZ points*. Foi realizado um processo de suavização entre as células por meio da ferramenta *Smooth*. Dando continuidade à preparação do arquivo, foi empregada a ferramenta *MOHID Land, Remove Depressions*. Estando o modelo de acordo com as especificações indicadas foi gerado o modelo digital da bacia hidrográfica por meio da ferramenta *MOHID Land, Delineate watershed*. Por fim, foi indicado o exutório da bacia hidrográfica, como ponto de apoio para o *software* gerar a delimitação da bacia hidrográfica.

Alguns procedimentos não puderam ser realizados no SOFF, tendo em vista que sua principal função é modelar a dinâmica hídrica e não necessariamente, determinar aspectos fisiográficos. Portanto, para prosseguir na caracterização, os arquivos foram convertidos para formatos *shapefile*, e exportados para o programa ArcGIS, seguindo a sequência *File Conversion/Geometry to ESRI Shapefile*.

No *software ArcGIS* foi realizado o cálculo do comprimento total de cursos hídricos da bacia: *Drainage Network/Open Attribute Table/Table Options/ Add Field/Comp (campo criado)/Calculate Geometry/Statistics*. Foi criado o campo COMP para o cálculo do comprimento dos cursos d'água em metros. O mesmo procedimento foi realizado para a determinação do perímetro da bacia.

Para a determinação do fator de forma de bacia (K_f), coeficiente de compacidade (K_c), densidade de drenagem (D_d) e declividade média do talvegue (l_{mt}), foram utilizadas equações recomendadas na literatura.

A partir do mapa georeferenciado da área de estudo (Figura 2) e o MDE (Modelo Digital de Elevação), com as correções e ajustes realizados, chegou-se à determinação de algumas características da bacia.

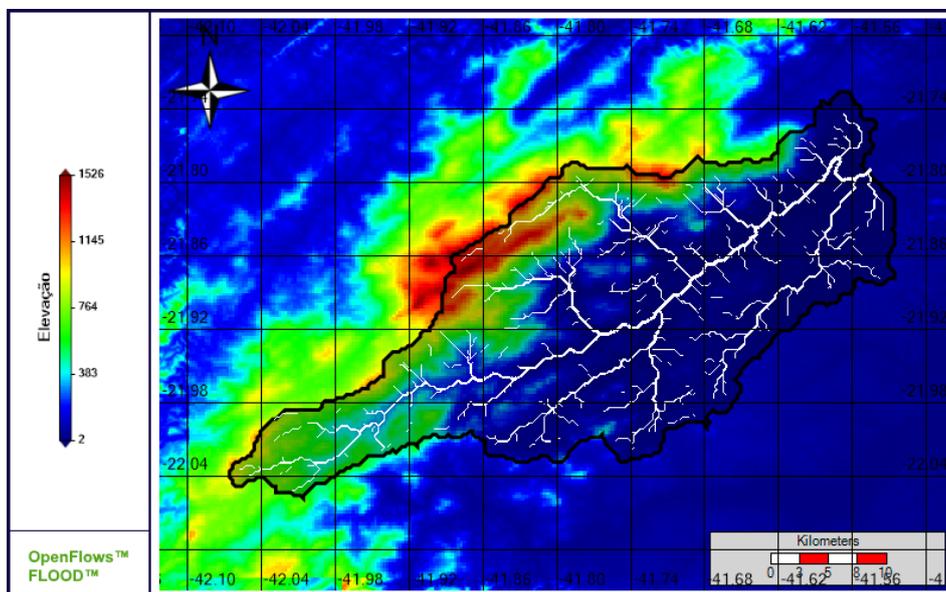


Figura 2. MDE com correções e interpolações realizadas no SOFF. Bacia Hidrográfica Rio Imbé, Rio de Janeiro, Brasil.

A figura 3 apresenta a bacia hidrográfica com todos os cursos hídricos identificados pelo SOFF, desenvolvida a partir da metodologia anteriormente descrita.

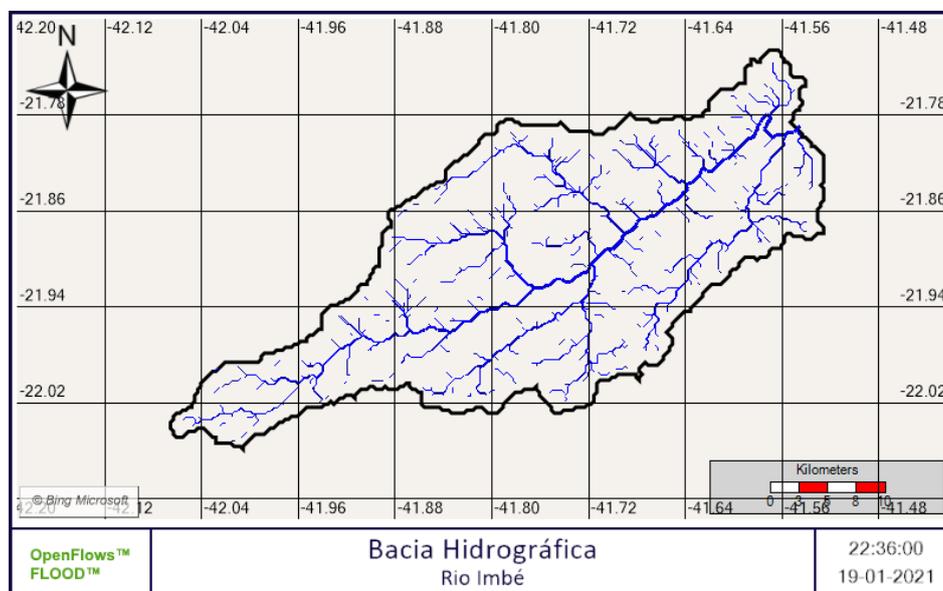


Figura 3. Bacia hidrográfica do Rio Imbé. Rio de Janeiro, Brasil.

3.1 Fator de Forma da Bacia

O fator de forma (K_f) é definido pela razão entre largura média e o comprimento entre o exutório e o ponto mais longínquo do talvegue. Quanto mais alto o fator de forma maior a suscetibilidade de ocorrências de enchentes na bacia (GARCEZ & ALVAREZ, 1998). Para a obtenção do fator de forma foi utilizada a equação 1:

$$K_f = \frac{A}{L_{axial}^2} \quad (1)$$

Sendo,

K_f = Fator de Forma, adimensional;

A = Área, km^2 ; e

L_{axial} = Comprimento axial da bacia, km.

3.2 Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) corresponde a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de mesma área da bacia estudada. Portanto, varia de acordo com a forma da bacia e o resultado obtido é adimensional. Quanto mais próximo de um, mais circular a bacia. Resultados superiores a 1,0 indicam bacias alongadas. Quanto mais o coeficiente de compacidade estiver próximo de um, maior será a suscetibilidade de enchentes na bacia hidrográfica (VILLELA & MATTOS, 1975). Para calcular o K_c foi empregada a seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde,

K_c = Coeficiente de Compacidade, adimensional;

P = Perímetro da bacia hidrográfica, km; e

A = Área da bacia hidrográfica, km^2 .

3.3 Densidade de Drenagem

De acordo com Faria *et al.* (2018), a densidade de drenagem (D_d) indica a velocidade em que a água deixa a bacia hidrográfica, ou seja, é considerada como um índice que indica o grau de evolução do sistema de drenagem. O índice D_d é obtido pela relação entre o somatório do comprimento de todos os canais da rede hidrográfica e a área total da bacia e a unidade utilizada é $km\ km^{-2}$. Para a determinação da densidade de drenagem (D_d) foi utilizada a equação 3:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

Onde,

D_d = densidade de drenagem, $km \ km^{-2}$;

L_t = Comprimento total dos cursos d'água da bacia, km; e

A = Área da bacia hidrográfica, km^2 .

3.4 Declividade média do Talvegue

A declividade média do talvegue corresponde à razão entre as diferenças de cotas do ponto mais alto (nascente) e o ponto mais baixo (exutório) e o comprimento do talvegue, conforme demonstrado na equação abaixo.

$$I_{mt} = \frac{C_n - C_e}{L_{tv}} \quad (4)$$

I_{mt} = Declividade média do talvegue, $m \ km^{-1}$;

C_n = Cota da nascente, m;

C_e = Cota do exutório, m; e

L_{tv} = comprimento do talvegue, km.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados disponíveis e após a utilização das ferramentas computacionais indicadas, e aplicando as equações descritas na literatura, como resultado foram determinadas as características da bacia hidrográficas relacionadas. O resultados estão apresentados na Quadro 1.

Quadro 1 – Valores dos parâmetros da Bacia Hidrográfica do Rio Imbé, obtidos com a utilização dos aplicativos SOFF e ArGis.

Parâmetro	Descrição	Software Utilizado
Área da Bacia (A)	889,5 km ²	SOFF
Comprimento Total de cursos d'água (Lt)	604,8 km	ArcGIS
Comprimento do Talvegue (Ltv)	73,8 km	ArcGIS
Comprimento axial da bacia (Laxial)	63,35 km	ArcGIS
Perímetro da bacia (P)	180,2 km	ArcGIS
Ordem de <i>Strahler</i> (adimensional)	5	SOFF
Fator de forma de bacia (Kt)	0,222	-
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,690	-
Densidade de Drenagem (Dd)	0,680 km.km ⁻²	-
Declividade média do talvegue (Imt)	11,705 m.km ⁻¹	-

Por se tratar de um rio de quinta ordem e, considerando-se a área e o perímetro da bacia do Rio Imbé, pode-se considerar como uma bacia relativamente de dimensões relevantes. Os valores obtidos para o coeficiente de compacidade ($K_c = 1,690$) e o fator de forma ($K_t = 0,222$) refletem a forma alongada da bacia hidrográfica do Rio Imbé. Estes resultados, portanto, indicam que esta bacia apresenta baixa suscetibilidade a ocorrência de eventos de inundação.

Por outro lado, a densidade de drenagem de uma bacia hidrográfica, segundo Villela e Mattos (1975), varia entre $0,5 \text{ km.km}^{-2}$ a $3,5 \text{ km.km}^{-2}$. Valores próximos ao limite inferior indicam bacias com drenagem pobre, enquanto valores próximos ao limite superior apresentam boa drenagem. Com relação a este dado, é possível que a resolução utilizada para delimitação do *Grid*, no *SOFF* tenha limitado a ramificação dos canais de drenagem, interferindo na precisão do cálculo da extensão dos cursos hídricos e, por consequência, afetado o cálculo da densidade de drenagem. Isto deve ser verificado em futuros trabalhos assim que outros materiais de maior precisão estejam disponíveis para a elaboração das análises, pois o MDE disponibilizado pelo Projeto TOPODATA tem resolução de 30 metros.

De qualquer forma, a maior parte da bacia está localizada em região montanhosa, onde a declividade é mais acentuada, a cobertura vegetal é mais densa, especialmente na porção protegida pelo Parque Estadual do Desengano. Na região próxima ao exutório as condições geomorfológicas mudam consideravelmente. A declividade é bem menor e a ramificação hídrica diminui, concentrando a vazão no talvegue.

Apesar da análise fisiográfica da bacia indicar, em linhas gerais, que a bacia apresenta baixa suscetibilidade de enchentes, é preciso observar que o exutório se encontra na lagoa de Cima. Isto implica que o escoamento do Rio Imbé perde velocidade à medida que se aproxima de seu exutório, inclusive pela declividade reduzida no seu trecho final. A cota da nascente (C_n) de 866 metros contrasta com cotas menos elevadas no trecho de baixada ficando abaixo de 10 metros nas proximidades do exutório. Essa conjunção de fatores tem potencial para desencadear enchentes no entorno da lagoa de Cima, conforme tem sido observado pelo Grupo de Trabalho de Manejo de Comportas do CBH-BPSI. Por isso, é necessário que outros estudos avaliem a capacidade de drenagem a jusante da lagoa, de forma a determinar melhor a dimensão dos alagamentos e a repercussão na bacia hidrográfica como um todo, o que certamente contribuirá para o aprimoramento da gestão do sistema de comportas da lagoa Feia e de todo aparato utilizado para gerenciar o escoamento das águas em grande parte da Baixada Campista.

A região do entorno da lagoa de Cima apresenta histórico de alagamentos, os quais podem ser explicados, em grande parte, pelas características fisiográficas anteriormente descritas. A bacia hidrográfica do Rio Imbé é uma sub-bacia da lagoa Feia e seu monitoramento é fundamental para a gestão ótima do sistema hídrico regional, composto por uma rica rede de canais, rios e lagoas.

Posto isso, um dos grandes desafios tem sido a gestão do nível da lagoa Feia, a qual é realizada por meio de sistema de comportas. Atualmente, o monitoramento da dinâmica hídrica local vem sendo conduzido pelo CBH-BPSI.

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos no presente estudo é possível concluir que, quanto à caracterização morfométrica, a bacia hidrográfica do Rio Imbé apresenta forma alongada, isto evidenciado pelo fator de forma ($K_t = 0,222$) e pelo coeficiente de compacidade ($K_c = 1,690$). Pela classificação de Strahler (1957) pode-se verificar uma rica rede de drenagem, ordem 5, contudo de densidade relativamente baixa $0,680 \text{ km.km}^{-2}$.

Apesar da declividade média do talvegue ser pouco acentuada, ocorre uma abrupta mudança na porção de transição da Serra do Mar para a baixada Campista (região do baixo curso). Essa variação, certamente, se reflete na redução da velocidade de escoamento, o que se intensifica no sentido do exutório, considerando-se o tempo de residência na lagoa de Cima. Esses aspectos fisiográficos e hidrológicos implicam diretamente nas dimensões da planície de inundação e explicam, ao menos em parte, a recorrência de enchentes no entorno da lagoa de Cima.

Como este trabalho se ateu ao trecho circunscrito na bacia hidrográfica do Rio Imbé, futuros estudos devem analisar como a fisiografia da porção a jusante da lagoa de Cima repercute no escoamento superficial. Isto permitirá a compreensão mais ampla do fisiografia regional e suas implicações na dinâmica hídrica. Ademais, é importante realizar a modelagem hidrológica da bacia, especialmente considerando cenários de precipitações intensas e o impacto no entorno do seu exutório, a Lagoa de Cima. Ferramentas computacionais de modelagem hidrológica e de uso e ocupação do solo (*softwares* de Sistema de Informações Geográficas e geoprocessamento) podem ser utilizadas para elevar a previsibilidade dos eventos extremos e mitigar os danos ambientais e econômicos.

Por fim, vale destacar que a caracterização fisiográfica apresentada neste estudo, foi realizada a partir das bases de dados oficiais, utilizando os *softwares* anteriormente informados. Portanto, apesar de haver um prévio conhecimento da área de estudo, é necessário realizar atividades de campo para validação dos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (código de financiamento 001), do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, da FAPERJ, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) e do programa de Pós-graduação em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos do Instituto Federal Fluminense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCGIS DESKTOP: ArcMap. Version: 10.6.1. USA: Environmental Systems Research Institute. 2018.

BRASIL. Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto Topodata. 2021. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

FARIA, M. M.; BARROS, K. O.; BRITO, C. R. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres, Guiricema, MG. 2018. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0246.pdf>>. Acesso em: 12/01/2021.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ G. A. Hidrologia. 2^a.ed. revista e atualizada. São Paulo: Editora Edgard Blucher.1998.

JESUS, R. R.; OLIVEIRA, V.P.S; OLIVEIRA, M.M. Intervenções antrópicas em uma bacia hidrográfica e conflitos pelo uso da água: o caso da lagoa Feia. Holos, Natal, v. 5, n. 35, p. 1-16, jun. 2019.

LIMA, V. S.; ALVES, L. A.; MIRO, J. M. R.; COELHO, A. L.N. Avaliação da Fragilidade Emergente na Bacia da Lagoa Feia - RJ. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, v. 18, n. 1, p. 134-141, 2017.

OPENFLOWS FLOOD: Integrated Flood Modeling Software.Version:10.03.00.01. USA: Bentley Systems. 2020.

SANTOS, I. O. MARIANO, G. Sistema de informação geográfica e caracterização fisiográfica automática da bacia hidrográfica do rio Tatuoca. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 10, n. 3, p. 866-879, nov. 2016.

SILVA, F. F.; LUMBRERAS, M. J.; MACHADO, S. H. M.; ALMEIDA, A. P. M.; MATIAS I. O.; HORA H. R. M.; ERTHAL JR, M. Mapeamento das Unidades de Conservação das Regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Revista Cadernos do Desenvolvimento Fluminense, [S. l], v. 15, n. 14, p. 35-56, jan. 2018.

STRAHLER, A.N. (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, 1957. v.38. p. 913-920.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975). Hidrologia aplicada. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo: 245.