

ANÁLISE MORFOMÉTRICA E PRIORIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO

MORPHOMETRIC ANALYSIS AND PRIORITIZATION OF WATERSHEDS AS AN INTEGRATED ENVIRONMENTAL PLANNING INSTRUMENT

Leonardo Silva Soares

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
leonardo.soares@ifma.edu.br*

Wilza Gomes Reis Lopes

Universidade Federal do Piauí

Antonio Carlos Leal Castro

Universidade Federal do Maranhão

Gisele Martins Cardoso de Araujo

Universidade Federal do Maranhão

Recebido (*Received*): 24/11/2015 Aceito (*Accepted*): 03/04/2016
DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v31i0.107715>

Resumo: Este artigo tem como objetivo caracterizar e analisar a morfometria de dez sub-bacias hidrográficas (SBH) do baixo curso do rio Itapecuru, Maranhão, indicando as áreas prioritárias para implementação das ações de conservação e preservação do solo e dos recursos hídricos. Para tanto, foram calculados os parâmetros morfométricos das classes linear, zonal e hipsiométrica. Para a hierarquização e correlação de nove parâmetros morfométricos, foi utilizada a técnica denominada *Weighted Sum Analysis* (WSA). Foi constatado que as SBHs do Baixo Curso do rio Itapecuru são de pequena dimensão e na rede de drenagem predominam canais intermitentes e de primeira ordem. O escoamento dos canais fluviais apresenta baixa capacidade de transporte e, portanto, de erosão do canal fluvial, sugerindo que os mesmos são susceptíveis a processos de assoreamento, que são potencializados naqueles de menor ordem hierárquica de drenagem. Por outro lado, a baixa declividade das SBH pode atenuar o processo de erosão laminar de suas respectivas áreas de drenagem, uma vez que, o escoamento superficial será mais lento. Observou-se, ainda, que 83,3% da área estudada é zona de média e alta susceptibilidade ambiental, as quais devem ser priorizadas para implementação de ações de gerenciamento dos recursos naturais.

Palavras-chave: morfometria de bacias hidrográficas, geomorfologia, modelagem, priorização.

Abstract: *This article aims to characterize ten sub watersheds of the lower course of the Itapecuru river, Maranhão based on the morphometric analysis in order of indicating these areas of prime importance for the implementation of conservation and preservation actions of soil and water resources. For this, the morphometric parameters of the classes were calculated linear, zonal and hypsometric. For the ranking and correlation of nine morphometric parameters, the Weighted Analysis Sum (WAS) technique was used. It has been found that SWDs of the lower course of the Itapecuru river are small and in its drainage network predominates intermittent and first-order channels. The flow of the river channels presents low transport capacity and, consequently, low erosion capacity, suggesting that they are susceptible to sedimentation processes, which can be leveraged in those of lower hierarchy of drainage. The flat relief, associated with low drainage and hydrographic density indicated a trend of slow hydrological reduction, with possible flood peaks reduction. It was observed also that 83.3% of the studied area is an area of mean and high environmental susceptibility. Therefore should be of prime importance for the implementation of management actions of natural resources.*

Keywords: *morphometry watersheds, geomorphology, modeling, prioritization*

INTRODUÇÃO

O planejamento integrado de bacias hidrográficas é uma das principais estratégias de gerenciamento de determinada unidade territorial. Para tanto, sua aplicação deve ser pautada na compreensão de um conjunto de indicadores de diferentes áreas temáticas, possibilitando a avaliação sistêmica da dinâmica ambiental e territorial da sua área de abrangência. Com isso, se busca de maneira conectada e preditiva reduzir conflitos socioambientais e indicar ações de recuperação, preservação, conservação e manejo dos ecossistemas naturais, com vistas a melhoria da qualidade de vida da sociedade.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é aceita por estudiosos em diversas partes do mundo (BEHERA e PANDA, 2006; TEODORO *et al.*, 2007; QUEIROZ *et al.*, 2014; AHER *et al.*, 2014; ARAÚJO *et al.*, 2015).

A identificação das características morfométricas das bacias hidrográficas é um procedimento prioritário em análises hidrológicas ou ambientais e busca a compreensão da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO *et al.*, 2007). As informações geradas podem subsidiar o processo de planejamento integrado destas unidades de gerenciamento territorial e dos recursos hídricos.

Estudos clássicos de geomorfologia indicaram que as informações morfológicas de uma bacia hidrográfica possuem estrita relação com os padrões de paisagem da sua área de influência (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; SCHUMM, 1956). Estes autores desenvolveram metodologias para avaliação quantitativa dos padrões de relevo, forma e drenagem de tais unidades territoriais, cujas informações são de extrema relevância para subsidiar o processo de tomada de decisão para implementação de ações de gerenciamento ambiental.

Avaliações morfométricas podem ter diferentes aplicações para o gerenciamento de bacias hidrográficas, tais como: prever o comportamento hidrológico (OLSZEWSKI *et al.*, 2011), identificar alterações ambientais (ALVES e CASTRO, 2003), auxiliar o zoneamento territorial (SANTOS e SOBREIRA, 2008; SOARES e SOUZA, 2012; ABUD *et al.*, 2015), gerar bases para manejo integrado (RODRIGUES *et al.*, 2008; COUTINHO *et al.*, 2011), priorizar áreas de intervenção (AHER *et al.*, 2014; MALIK e BHAT, 2014; DIPAK *et al.*, 2015) e subsidiar o processo de gestão (ANDRADE *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2010; BERTOSSI *et al.*, 2011; MORELI *et al.*, 2014).

Marques-Neto (2008) afirma a necessidade das abordagens geomorfológicas ampliarem as perspectivas interdisciplinares, com a incorporação da abordagem sistêmica e estreitando os laços com disciplinas correlatas no âmbito das ciências ambientais em geral, utilizando as geotecnologias aplicadas ao estudo do meio físico-territorial.

Segundo Aher *et al.* (2014), o planejamento em nível de bacia hidrográfica utilizando informações morfométricas, na escala micro, é essencial para solucionar questões-chave da unidade territorial em análise, sendo possível priorizar as áreas de intervenção e indicar as medidas de conservação do solo e dos recursos hídricos.

Abordagens que integrem informações obtidas nos cálculos dos índices morfométricos são essenciais no processo de planejamento. A utilização das informações geradas pode subsidiar a delimitação de estratégias de gerenciamento ambiental, uma vez que apresentam diversas possibilidades de integração com a dinâmica de uso e cobertura do solo, qualidade de água, potencial erosivo, exploração de recursos ambientais e dinâmica socioeconômica de determinada área, oferecendo suporte ao processo de planejamento ambiental integrado das bacias hidrográficas em análise.

Desta forma, este artigo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as características morfométricas e indicar as áreas que devem ser priorizadas para implementação de ações de conservação e manejo do solo e dos recursos hídricos nas sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru, Maranhão.

A Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru

A bacia do rio Itapecuru abrange área de 53.216,84 km², que corresponde a 16% do território do Estado do Maranhão (NUGEO, 2011). Limita-se a sul e a leste com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba, por meio da serra do Itapecuru, chapada do Azeitão e outras pequenas elevações, a oeste e sudoeste com a bacia do rio Mearim e a nordeste com a bacia do rio Munim (IBGE, 1997).

A área foco da pesquisa são dez sub-bacias hidrográficas (SBHs), localizadas no Baixo Curso do rio Itapecuru (BCRI), em área de 421,6 km², que abrange os limites dos municípios de Rosário, Bacabeira e Santa Rita, no estado do Maranhão.

Geograficamente, as SBHs estão situadas na microrregião do Itapecuru Mirim, mesorregião Norte Maranhense, a cerca de 50 km de São Luís, capital do estado do Maranhão, limitada pelas seguintes coordenadas UTM 598658/574822 Leste e 9678715/9653145 Norte (**Figura 1**). Os principais acessos são as rodovias BR-135 e BR-402, que interligam os municípios citados à capital do Estado.

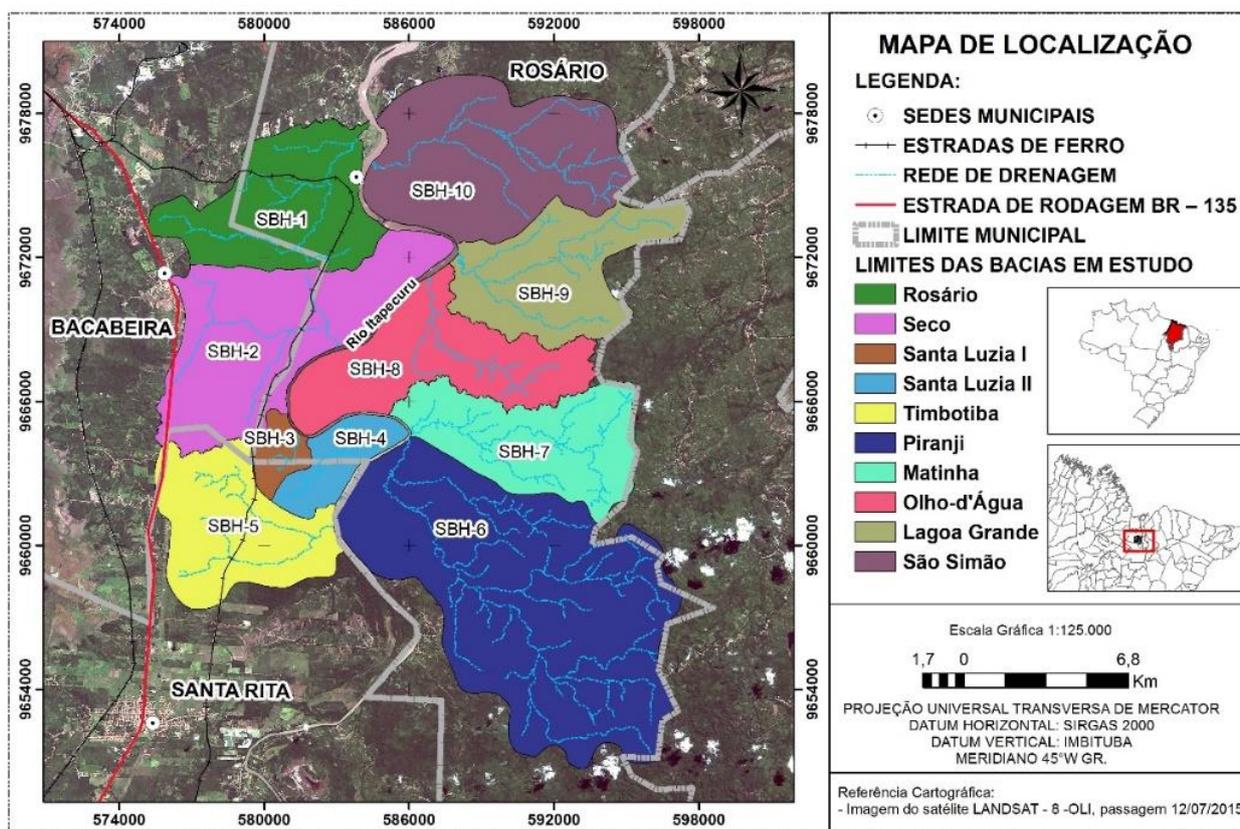


Figura 1: Mapa de localização das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru. Fonte: Autores

O padrão climático do Baixo Curso do rio Itapecuru, de acordo com o índice climático de Thornthwaite é do tipo úmido (LABGEO, 2002). Os dados climáticos da região (1975-2014) registram uma precipitação média anual de 1.998,8 mm/ano. As chuvas ocorrem em duas estações temporalmente bem delineadas: a chuvosa, que abrange os meses entre janeiro e julho, e a de estiagem, que ocorre entre agosto e dezembro (INMET, 2015).

A área pertence a província estrutural do Parnaíba, bacia intracratônica preenchida essencialmente por sedimentos terrígenos (VEIGA JR., 2000). O principal domínio geológico é a Formação Itapecuru com cobertura do tipo Laterítica Pleistocênica (IBGE, 2003).

As litologias que compõem a Formação Itapecuru foram afetadas por processos de laterização, tendo se desenvolvido um perfil pouco evoluído, com espessura de 3 a 4 m, caracterizando uma cobertura detrítico/laterítica ou pode ser capeada por sedimentos flúvio-lacustres holocênicos das amplas planícies de inundação (FSADU, 2008). As classes de solos que ocorrem na área de

abrangência das SBHs são o Plintossolo Argilúvico Distrófico, Plintossolo Pétrico Concrecionário, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Latossolo Amarelo Distrófico (IBGE, 2007).

As principais feições geomorfológicas são compostas por Baixo Platô Dissecado em Colinas e Planície Fluvial (zona de influência do rio Itapecuru). A região pode ser caracterizada por um relevo plano a suavemente ondulado correspondendo a uma superfície aplainada dissecada, onde predominam platôs, colinas baixas de topos de alguma convexidade, às vezes quase tabulares (modeladas em rochas sedimentares) e vales pouco profundos (FSADU, 2008).

METODOLOGIA

A primeira etapa iniciou-se com a aquisição dos dados cartográficos (formato digital) nos sites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que foram utilizados para a elaboração dos mapas temáticos baseados nas seguintes fontes:

- Plano de Informação (PI) contendo a Malha Viária dos municípios brasileiros, em formato *shapefile*, referente ao ano 2010 (IBGE, 2010);
- Dados do projeto Topodata que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE): folhas 02s45 e 03s45 (INPE, 2008);
- Curvas de nível com espaçamento de 1 metro, em formato *shapefile*, obtidas por aerofoto do ano de 2008 (FSADU, 2009);
- Cartas Planialtimétricas na escala 1:100.000, folhas 549 e 610 (DSG-SUDENE, 1980);
- Imagem de satélite Landsat - 5 *Thematic Mapper* (15 de agosto de 2010), com resolução espacial de 30m (INPE);
- Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING/INPE, versão 5.0.

A etapa seguinte, executada no Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING/INPE, versão 5.0, consistiu na criação e modelagem do banco de dados, ou seja, na definição de categorias (tipos de dados). Em seguida, foram definidos os limites da área de estudo, a projeção cartográfica e demais parâmetros cartográficos. Optou-se pela utilização da projeção Universal Transversa de Mercator, modelos da Terra em DATUM – SAD 69, hemisfério sul, delimitada pelas coordenadas planas: 572405,871 Leste e 9676076,746 Norte; e 583630,490 Leste e 9664072,639 Norte.

Todas as informações cartográficas foram preparadas em ambiente de geoprocessamento, com geração de um banco de dados digital no SIG Quantum GIS Desktop XX, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23S e Datum SIGA 2000, com implementação de produtos de sensoriamento remoto e mapas temáticos produzidos. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi elaborado a partir das curvas de nível com resolução espacial de 10 metros, utilizando-se a ferramenta *Topo to Raster* do programa ArcGIS 9.2TM (ESRI, 2006), que emprega método de interpolação especificamente projetado para criar modelos digitais do terreno hidrologicamente corretos.

Os limites das SBHs foram delimitados pela análise dos topos das curvas de nível. Obtiveram-se, ainda, resultados de altitude, declividade e rede de drenagem, que se constituíram como informações de base para a caracterização morfométrica das SBHs do baixo curso do rio Itapecuru.

As características morfométricas foram mensuradas com base nos estudos de Horton (1945), Smith (1950), Müller (1953), Schumm (1956), Strahler (1957) e Christofletti (1980). Para indicar a priorização das SBHs, visando o estabelecimento de ações de planejamento e gestão foi empregada a metodologia proposta por Aher *et al.* (2014), que se fundamenta na análise de *Weighted Sum Analysis* (WSA). Foram utilizados nove parâmetros morfométricos que expressam uma relação direta ou inversa com fatores de degradação da qualidade de água e do solo de uma bacia hidrográfica, sendo: densidade hidrográfica, fator de forma, relação de bifurcação, densidade de drenagem, índice de circularidade, razão de alongamento, razão de textura, coeficiente de compacidade e forma da bacia (média dos parâmetros fator de forma, índice de circularidade e razão de alongamento) (AHER *et al.*, 2014).

A primeira etapa da aplicação da metodologia corresponde ao ranqueamento das variáveis selecionadas. Para tanto, assume-se que valores dos parâmetros densidade hidrográfica, densidade de drenagem, razão de textura e relação de bifurcação são diretamente proporcionais às possibilidades de degradação do solo e da água de determinada bacia hidrográfica. Desta forma, para a hierarquização, a maior prioridade é atribuída para a SBH que possuir valor máximo de cada um dos parâmetros morfométricos utilizados. Por sua vez, a menor prioridade corresponderá a SBH que apresentar o menor valor do respectivo parâmetro.

Para os demais cinco parâmetros (índice de circularidade, fator de forma, razão de alongamento, coeficiente de compacidade e forma de bacia), assume-se que a relação com a degradação do solo e água das bacias hidrográficas é inversa. Nesse ranqueamento, atribui-se a mais alta prioridade para a bacia que apresenta o valor mínimo do parâmetro, e a menor prioridade para aquela que possui o maior valor do parâmetro morfométrico indicado.

A análise de correlação foi realizada utilizando-se o coeficiente de *Sperman*, cujos resultados subsidiaram o cálculo das constantes de cada parâmetro que integram o modelo de priorização, obtidos pela razão entre a soma de todos os coeficientes das correlações e a soma das correlações de cada parâmetro individualizado.

Considera-se que a SBH que apresentar o menor valor, após a aplicação do modelo, será a de maior prioridade. Já, o segundo valor receberá a segunda ordem de priorização e, assim, sucessivamente serão classificadas as restantes. As bacias que apresentarem menores valores estão mais propensas à ação da erosão, com conseqüente degradação dos solos e da água, devendo ser priorizadas nas ações de conservação relacionadas a estes recursos. Para a classificação das SBHs por classe de prioridade foram utilizados os intervalos apresentados na **Tabela 1**, definidos em função dos resultados obtidos com a aplicação do modelo de priorização no estudo de *AHER et al.* (2014).

Tabela 1. Classificação hierárquica para priorização de SBH por meio do método WSA.

Tipo de Prioridade	Intervalo do resultado do modelo
Muito alta	-3,107 até 2,936
Alto	2,936 até 5,957
Médio	5,957 até 8,978
Baixo	8,978 até 10,489
Muito baixo	Maior que 10,489

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físicas e morfométricas identificadas para as dez SBHs na escala 1: 5.000 estão apresentadas nas **Tabelas 2, 3 e 4**. Com relação a área de drenagem e perímetro, os maiores e menores valores mensurados foram respectivamente para a SBH-6 (110,8 km² e 49,87 km) e SBH-5 (5,49 km² e 10,81 km).

As SBHs estudadas podem ser classificadas como de pequena dimensão. Este aspecto é positivo no processo de planejamento, pois permite compreender, com mais detalhe, as relações existentes entre os componentes ambientais e as atividades antrópicas, gerando bases para identificar cenários de risco e subsidiar a formulação de políticas públicas. *Tonello et al.* (2006) afirmam que, em bacias pequenas, existem boas possibilidades de controle dos fatores hidrológicos que interferem na sua área de abrangência.

A análise da hidrografia, com base na classificação proposta por *Christofoletti* (1980), permitiu reconhecer que as SBHs do BCRI são do tipo dendrítico (**Figura 2**). Segundo *Lima* (2008), este padrão de drenagem prevalece na natureza e deriva da interação clima-geologia em regiões de litologia homogênea e são típicas de regiões onde predomina rocha de resistência uniforme.

Tabela 2. Características morfométricas das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru

Parâmetros	SBH1	SBH 2	SBH 3	SBH 4	SBH 5	SBH 6	SBH 7	SBH 8	SBH 9	SBH 10
Área de drenagem - A (km ²)	38,78	53,63	5,49	11,22	34,59	110,8	36,05	39,20	35,77	56,10
Perímetro - P (km)	31,52	42,89	10,81	15,90	31,26	49,87	35,28	47,96	35,62	32,26
Ordem	3°	2°	2°	2°	3°	4°	3°	3°	3°	3°
Altitude máxima (m)	50,00	49,00	34,00	28,00	47,00	91,20	79,60	65,33	71,80	72,97
Altitude mínima (m)	3,00	1,50	9,00	4,00	9,00	0,87	9,89	3,57	1,32	1,58
Relação de relevo - Rr	0,003	0,005	0,011	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,005	0,004
Relação de relevo relativo - Rrl	0,0015	0,0011	0,0023	0,0015	0,0012	0,0018	0,0020	0,0013	0,0020	0,0022
Índice de rugosidade - Ir	0,010	0,017	0,030	0,019	0,013	0,005	0,008	0,014	0,008	0,009
Coefficiente de compacidade - Kc	1,43	1,65	1,30	1,34	1,50	1,34	1,66	2,16	1,68	1,22
Fator de forma - Kf	0,43	0,77	0,63	0,51	0,57	0,39	0,41	0,60	0,38	0,47
Índice de circularidade - Ic	0,49	0,37	0,59	0,56	0,44	0,56	0,36	0,21	0,35	0,68
Densidade de drenagem - Dd (km/km ²)	0,79	0,37	0,68	0,75	0,61	0,97	1,04	0,53	0,94	0,72
Densidade hidrográfica - Dh (canais/ km ²)	0,258	0,093	1,093	0,357	0,347	0,523	0,777	0,434	0,447	0,303
Relação de bifurcação - Rb (Nt/km ²)	2,83	3,00	2,17	3,00	2,83	2,12	2,13	2,44	2,25	2,44
Textura da drenagem - T	0,317	0,117	0,555	0,252	0,384	1,163	0,794	0,354	0,449	0,527
Índice de sinuosidade - Is	1,75	1,43	1,38	1,33	1,37	1,60	1,54	1,62	1,55	1,66
Coefficiente de manutenção - Cm (m/m ²)	202,4	367,2	628,2	400,3	279,6	97,9	160,3	299,4	177,5	184,8
Gradiente de canais	1,54%	0,75%	1,96%	0,66%	5,16%	0,96%	0,82%	0,81%	0,91%	0,55%
Razão de alongamento - Re	0,74	0,99	0,90	0,81	0,85	0,71	0,72	0,88	0,69	0,77
Forma da bacia (Fb)	0,55	0,71	0,71	0,62	0,62	0,55	0,50	0,56	0,47	0,64

Tabela 3. Propriedades da rede de drenagem das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru.

Propriedade	SBH 1	SBH 2	SBH 3	SBH 4	SBH 5	SBH 6	SBH 7	SBH 8	SBH 9	SBH 10
Número de cursos d'água	10	5	6	4	12	58	28	17	16	17
1° ordem	7	4	4	3	9	44	22	13	11	13
2° ordem	2	1	2	1	2	10	5	3	4	3
3° ordem	1	0	0	0	1	3	1	1	1	1
4° ordem	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Comprimento do curso d'água principal (km)	9,48	8,35	2,95	4,69	7,82	16,83	9,42	8,06	9,76	10,92
Comprimento total dos cursos d'água (km)	15,63	9,81	2,19	5,60	8,15	20,31	3,45	10,75	14,13	17,61

Tabela 4. Distribuição das classes de declividade em porcentagem das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru.

Classes de declividade	Relevo	SBH 1	SBH 2	SBH 3	SBH 4	SBH 5	SBH 6	SBH 7	SBH 8	SBH 9	SBH 10
0 – 3	Plano	78,4%	85,7%	89,6%	87,43%	91,8%	61,7%	70,86%	88,1%	53,5%	81,1%
3 – 8	Suavemente ondulado	21,6%	13,8%	9,83%	12,2%	8,09%	34,2%	28,57%	11,8%	45%	18,6%
8 – 20	Ondulado		0,37%	0,54%	0,35%	0,09%	4,18%	0,555%	0,08%	1,57%	0,32%
20 – 45	Fortemente ondulado	-	-	-	-	-	0,01%	0,017%	-	-	-

Fonte: Classes de declividade baseadas na classificação da EMBRAPA (2006).

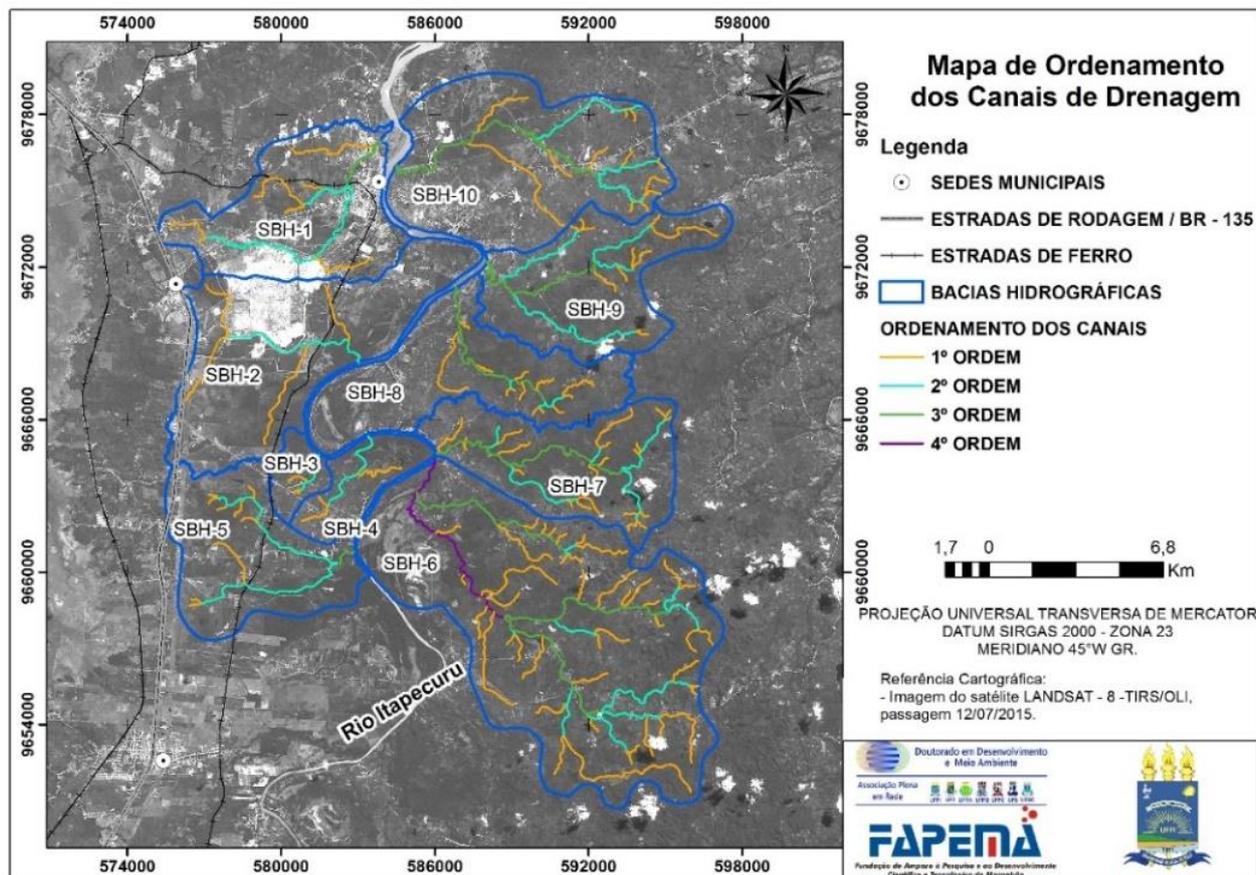


Figura 2. Rede de drenagem e ordenamentos dos canais fluviais das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru. Fonte: Autores

A rede hidrográfica das dez SBHs totalizou 173 cursos d'água, dos quais 75% são de primeira ordem, 19% de segunda ordem, 5% de terceira ordem e 1% de quarta ordem. Na área de estudo, a SBH-6 foi a única classificada como de quarta ordem, as SBHs 1, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 são de terceira ordem e as demais de segunda ordem (**Tabela 2**).

Os canais fluviais de primeira ordem das SBHs do BCRI são, em sua maioria, do tipo intermitente. Esta característica indica a necessidade de manutenção de suas nascentes e implementações de ações de proteção ambiental que evitem alteração nos seus cursos d'água, pois estes são muito susceptíveis a alterações hidrológicas provocadas por ações antrópicas, uma vez que as suas redes de drenagem são, predominantemente, de baixa hierarquia fluvial.

Como afirmam Tonello *et al.* (2006), sistemas de drenagem que apresentam ordenamento inferior ou igual a quatro são comuns em pequenas bacias hidrográficas e os efeitos do uso da terra são refletidos diretamente sobre sua qualidade ambiental. Foi constatado que o relevo predominante é o de tipologias plana e suavemente ondulada (**Tabela 4**) (**Figuras 3 e 4**).

A compreensão dos gradientes de declividade em determinada bacia hidrográfica é fundamental no processo de planejamento ambiental, pois subsidia o entendimento da interação entre os eventos de precipitação e o deflúvio (precisão de enchentes), a delimitação das áreas de preservação permanente, do potencial erosivo e de aptidão do solo. Neste contexto, Cardoso *et al.* (2006) destacam que a declividade e a cobertura vegetal são fatores importantes na tomada de decisão para o manejo adequado em bacias hidrográficas, visto que influenciam na precipitação efetiva, no escoamento superficial e no fluxo de água no solo. Segundo Felipe *et al.* (2013) o conhecimento do relevo é de fundamental importância nas ações de planejamento e gestão na preservação futura. Para Rodrigues *et al.* (2011), em áreas de maior declividade e desprotegidas de vegetação, ampliam-se as possibilidades de degradação da bacia hidrográfica.

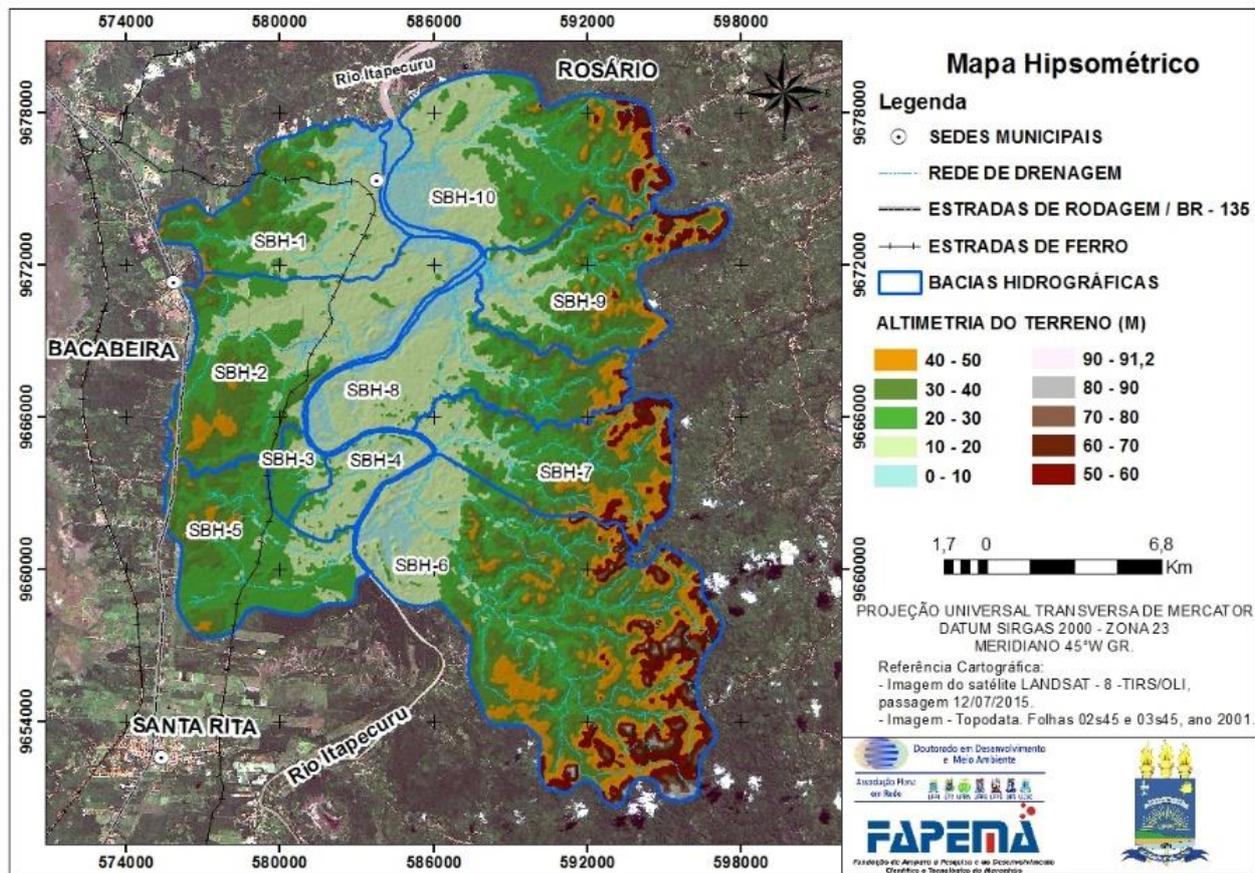


Figura 3. Mapa hipsométrico das SBHs do Baixo Curso do rio Itapecuru. Fonte: Autores

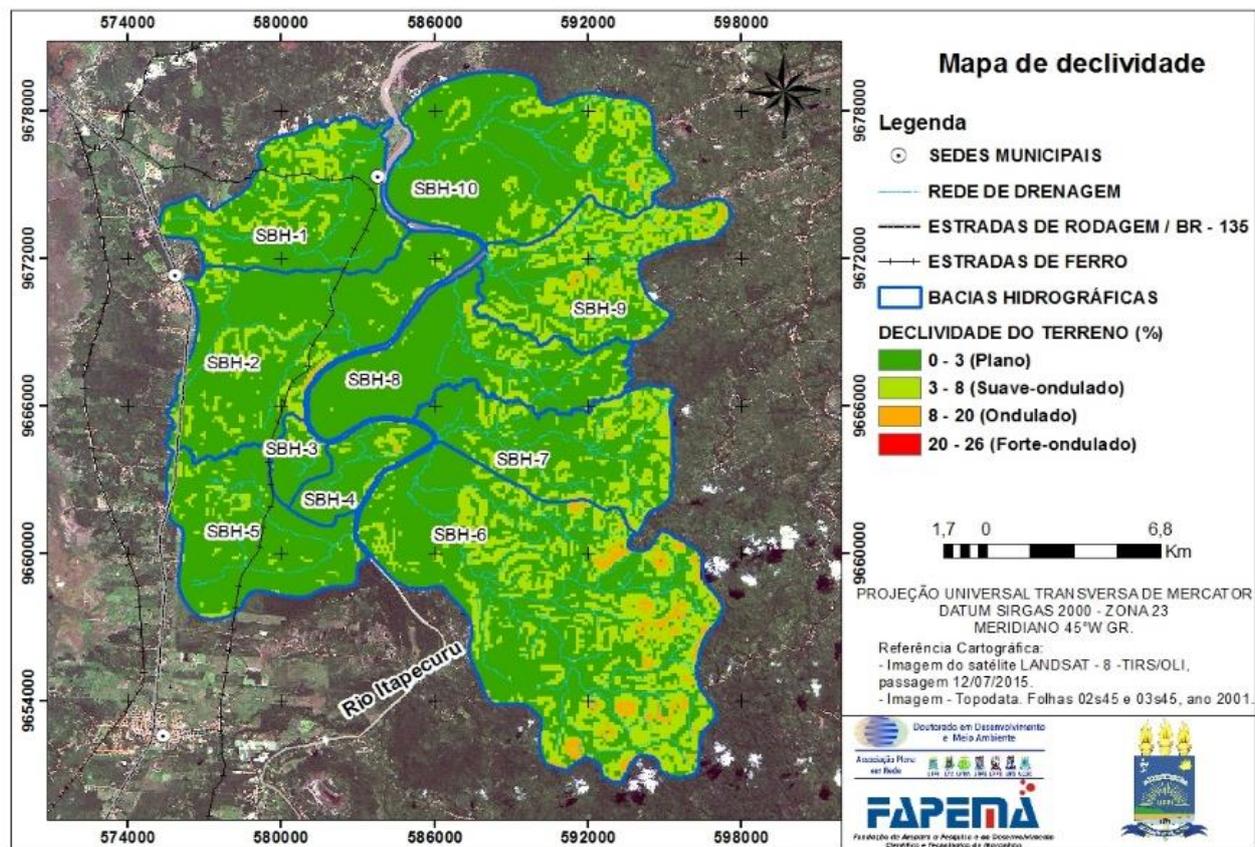


Figura 4. Mapa de declividade das SBHs do baixo curso do rio Itapecuru. Fonte: Autores

As condições topográficas podem proporcionar maior infiltração da água no lençol freático nas áreas com cobertura vegetal, pois, devido às características do relevo, o escoamento superficial torna-se mais lento. Porém, num cenário de uso e ocupação inapropriado do solo, com impermeabilização e sem sistema de drenagem eficiente, as áreas podem ser propensas a inundações e alagamentos. Neste sentido, a manutenção de áreas verdes nas SBHs é essencial para a prevenção destes eventos, pois potencializa a infiltração da água e reduz o escoamento superficial. Para Abud *et al.* (2015), a cobertura vegetal exerce papel fundamental na redução da erosão superficial, permitindo a infiltração da água. A associação de cobertura vegetal, declividade e características físicas do solo tornam-se fatores importantes na tomada de decisão em relação ao manejo adequado das sub-bacias.

Para Andrade *et al.* (2014), no processo de planejamento ambiental de bacias hidrográficas, as características hipsométricas e de declividade são fundamentais quando interpoladas com informações dos mapeamentos de uso e ocupação da terra, pois este tipo de análise integrada possibilita o delineamento de áreas de risco de inundação e o planejamento de ações corretivas e preventivas.

Outro aspecto relevante refere-se à jusante das dez SBHs, em que há predomínio de declividade plana e cotas altimétricas entre 0 e 10 metros (**Figura 3**), estas áreas são propensas a inundações e alagamentos, num cenário de enchente e conseqüente transbordamento do rio Itapecuru. Desta forma, controlar a ocupação do espaço é ação primordial no processo de planejamento territorial e ambiental destas SBHs.

Os índices morfométricos relação de relevo (Rr) e razão de relevo relativo (Rrl) apresentaram baixos valores e poucas variações entre as SBHs investigadas (**Tabela 1**). Os valores da Rr variaram de 0,003 na SBH-1 até 0,011 na SBH-3. Para Rrl a variação revelou amplitudes entre 0,0011 na SBH-2 até 0,0023 na SBH-3. As características observadas indicam que as SBHs possuem baixa relação entre seus componentes horizontais (alongamento) e verticais (baixa amplitude altimétrica). Este aspecto é corroborado com o padrão da declividade baixo das SBHs, com relevo predominantemente plano e suave.

O escoamento superficial, tende a ser lento, sugerindo que o potencial erosivo das SBHs é atenuado por esta característica. Na pesquisa de Pollo *et al.* (2012), realizada na microbacia do Ribeirão Água Lúcia em Botucatu-SP, os valores para Rr e Rrl foram baixos, proporcionando velocidade reduzida do escoamento superficial, que possibilita melhor infiltração da água no solo.

O índice de rugosidade (Ir), também, apresentou coeficientes baixos, com variações entre 0,008 (SBH-7 e SBH-8) até 0,030 (SBH-3), são reflexo da amplitude altimétrica e densidade de drenagem, indicando vertentes de baixa declividade e de pouca extensão.

Outra característica morfométrica que apresentou baixos valores em todas as SBHs investigadas foi o gradiente de canais (Gc). Para Fernandes (2014), este parâmetro influi na energia de fluxo do escoamento fluvial e na dinâmica dos processos de aporte, transporte e deposição de sedimentos. A SBH-5 foi a que apresentou maior gradiente de canais, com 5,16%, enquanto que nas demais, as relações entre as cotas altimétricas foram menores, com valores variando entre 0,556% (SBH-10), até 1,96% (SBH-3), demonstrando que os canais possuem baixa declividade. Este padrão foi observado por Soares e Souza (2012) na bacia hidrográfica do rio Pequeno-PR, em que o Gc foi equivalente a 0,53%, indicando o caimento suave e baixa declividade da bacia.

Quanto à bifurcação (Rb), as maiores relações ocorreram entre os segmentos de drenagem de primeira ordem em relação aos de segunda, devido à grande quantidade de segmentos de baixa hierarquia fluvial. Os valores médios variam entre 2,12 (SBH-6) até 3 (SBH-2 e SBH-4), corroborando a indicação de Christofolletti (1980), ao afirmar que os resultados para este índice não podem ser inferiores a 2.

Os resultados de Rb indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica, sendo que, quanto maior for o valor do índice de bifurcação, maior será o grau de dissecação (CASTRO; CARVALHO, 2009). Entre os canais de segunda e primeira ordem, valores maiores que 3 ocorreram em sete das dez SBHs (com exceção das SBH-6, 7 e 9). Este padrão indica que, apesar das SBHs apresentarem topografia suave e baixa declividade, as nascentes estão nas zonas de relevo bem dissecado. Lira *et*

al. (2012) encontraram relação de bifurcação equivalente a 2 na bacia hidrográfica do Igarapé Amaro-AC, indicando que a bacia apresenta mediano grau de dissecação do relevo.

Em relação ao coeficiente de compacidade (K_c), foram constatados resultados afastados da unidade (1), variando entre 1,22 (SBH-10) até 2,16 (SBH-8). Os valores mais elevados, obtidos nas SBHs 2, 5, 7, 8 e 9, indicam que são as menos propensas a eventos de enchentes, em condições normais de precipitações. As demais também apresentam baixo risco às enchentes, com K_c variando entre 1,22 na SBH-10 até 1,43 na SBH-1.

Estudo realizado por Bertossi *et al.* (2011), indicou que a bacia hidrográfica do Córrego Horizonte, Alegre-ES, possui baixo risco de enchente, devido ao K_c apresentar valor igual a 1,585. Essa condição também foi encontrada por Pollo *et al.* (2012) na microbacia do Ribeirão, em Botucatu-SP e por Moreli *et al.* (2014), para bacia hidrográfica do Córrego Cancã-ES. Em contraponto, Andrade *et al.* (2014) classificaram a bacia do Córrego São Pedro, Uberlândia-MG, com forte tendência de inundação, pois apresenta K_c igual a 1,12.

Quanto ao formato geométrico das SBHs, o fator de forma (K_f) e o índice de circularidade (I_c) indicam qual o padrão cada área em análise apresenta. Para Tonello *et al.* (2006) a forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída após uma precipitação.

As SBHs do BCRI apresentam valores do K_f entre 0,38 (SBH-9) e 0,77 (SBH-2). Desta forma, do conjunto em análise, a SBH-2 apresenta maior probabilidade de ocorrência de enchentes em função do K_f . As SBHs 3, 5 e 8 apresentam tendência mediana e as demais não são sujeitas a enchentes, com valores que variam entre 0,38 e 0,51.

Ressalta-se que, para a indicação mais precisa da probabilidade de ocorrência de enchentes em bacias hidrográficas, sugere-se a análise conjunta de outros indicadores, como o índice de circularidade (I_c) e coeficiente de compacidade (K_c), além do gradiente topográfico, tipologia de solos, padrões de uso e ocupação do solo e regime das precipitações pluviométricas.

Cardoso *et al.* (2006) mensuraram K_f igual a 0,328 na bacia hidrográfica do rio Debossan, em Nova Friburgo-RJ. Já Felipe *et al.* (2013) identificaram K_f igual 0,38, para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Veado em Piratninga-SP, enquanto que Abud *et al.* (2015), caracterizando quatro sub-bacias do município de Xapuri-AC, mensurou valores que variaram entre 0,11 e 0,27. Nos três estudos citados, os autores consideram a área de drenagem com baixa probabilidade de enchentes. Por sua vez, Andrade *et al.* (2014) verificaram que a bacia do córrego São Pedro, em Uberlândia-MG, com K_f igual a 1,02, denota probabilidade natural de inundação.

Pollo *et al.* (2012) afirmaram que valores de K_f próximos a 0,4 indicam tendência para conservação da bacia, enquanto que valores próximos da unidade 1, são indicativos de que a bacia estará sujeita a enchentes, possibilitando a degradação, devido principalmente a suas características físicas. Considerando este critério, no BCRI, a SBH-2 é a mais susceptível ao processo de degradação ambiental, por possuir maior fator de forma (0,77). Destaca-se que se trata da SBH mais impactada entre as analisadas, pois sofreu severas alterações ambientais, como supressão de vegetação e alterações topográficas e hidrológicas, em função das atividades de terraplanagem na fase de implantação de grande empreendimento petroquímico.

Quanto ao índice de circularidade (I_c), valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (SCHUMM, 1956). Esta tendência foi observada nas SBHs 2, 7, 8 e 9 que, além da forma alongada, apresentam K_f afastados da unidade (1), indicando que não apresentam propensão a eventos de enchentes, em condições normais de precipitação. Enquanto que as SBHs 3 e 10 são as mais circulares, com valores equivalentes a 0,59 e 0,68 para o I_c , respectivamente, além de possuírem os menores resultados de K_c (1,30 e 1,22, respectivamente), fazendo com que sejam consideradas as SBHs mais propensas a enchentes, considerando condições equivalentes de uso da terra.

Em bacias com forma circular, há maior possibilidade de ocorrerem chuvas intensas, simultaneamente, em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (cheias rápidas), o que não ocorre em bacias alongadas (CARDOSO *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2008). Por outro lado, o formato alongado denota menor possibilidade de precipitações intensas cobrirem simultaneamente toda sua extensão, reduzindo a probabilidade de grande quantidade de água vinda de diferentes tributários contribuírem, simultaneamente, à calha principal, reduzindo o risco de extravasamento da água no canal (FRAGA *et al.*, 2014). Santos *et al.* (2012) encontraram I_c igual a 0,41 e 0,45 para as SBHs dos rios Perdizes e Fojo, Campos do Jordão, SP, indicando que as sub-bacias não tendem à forma circular, ou seja, possuem forma mais alongada e, portanto, menor concentração de deflúvio.

De acordo com a proposta de Strahler (1957), que utiliza a razão de alongamento (Re), foi observado que as SBHs 2 e 3 podem ser classificadas como circulares, as SBHs 4, 5 e 8, como ovais, e as demais, com tendência alongada. Os resultados de Re diferiram na indicação do I_c para as SBHs 2 e 8. Este aspecto pode estar relacionado à baixa dimensão territorial das mesmas. No estudo realizado por Aher *et al.* (2014), em oito SBHs localizadas em Ahmednagar, na Índia, aquelas que apresentaram Re entre 0,60 e 0,79 foram classificadas como mais alongadas, em relação as que apresentaram índice maior que 0,89, que foram qualificadas como ovais.

Quanto ao sistema de drenagem, o parâmetro densidade de drenagem (Dd) é importante na indicação do grau de desenvolvimento de uma bacia, sinalizando claramente o direcionamento para o planejamento e manejo de bacias hidrográficas (CARDOSO *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2008). Dessa forma, adquire grande importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de susceptibilidade geomorfológica (SILVA *et al.*, 2009).

Os resultados para Dd , variaram de 0,37 km/km² (SBH-2) a 1,04 km/km² (SBH-7). Utilizando-se a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), as dez SBHs são enquadradas como de baixa capacidade de drenagem, devido, provavelmente, ao relevo plano e declividade suave da área, que indicam que as SBHs têm baixa capacidade de escoamento.

As SBHs que apresentam baixa Dd possuem menor capacidade de escoamento das águas de precipitações, porém, isto pode potencializar a infiltração das águas subterrâneas, ampliando a recarga do lençol freático e reduzindo os efeitos dos picos de vazão, diminuindo os riscos de extravasamento dos canais fluviais (FRAGA *et al.*, 2014). Então, valores baixos de Dd indicam a necessidade de uso e ocupação do solo de forma ordenada para garantir a devida infiltração de água subterrânea, reduzindo, assim, os riscos de inundação pelo extravasamento dos canais fluviais.

Umetsu *et al.* (2012), mensuraram Dd de 1,68 km/km² na bacia hidrográfica do rio Monte Sinai-MG. Santos e Morais (2012) calcularam valores de 1,658 km/km², para a bacia hidrográfica do rio Verde-TO, enquanto que Teodoro *et al.* (2007) identificaram Dd equivalente a 0,68 km/km² na microbacia do córrego Marivan-SP. Nestes estudos, as bacias foram classificadas como de baixa capacidade de drenagem. A baixa Dd tende a ocorrer em regiões de solo permeável ou altamente resistente, com relevo suave e com presença de cobertura vegetal densa. Isto acontece nas SBHs analisadas, devido às características de topografia do terreno e tipologias de solos. Além disso, sob condições naturais, a área potencialmente desenvolve bosques florestais de médio e grande porte (DIPAK *et al.*, 2015).

Um outro parâmetro relacionado ao sistema de drenagem foi a densidade hidrográfica (Dh). Este parâmetro indica a média da quantidade de canais por quilômetro quadrado de uma bacia, demonstrando sua capacidade hídrica e competência na formação de novos canais fluviais (SANTOS; MORAIS, 2012).

A Dh das dez SBHs do BCRI variou entre 0,092 canais/km² (SBH-2) e 1,093 canais/km² (SBH-3), considerados como valores baixos. A SBH-2 apresentou número baixo de canais em função das alterações ambientais do processo de implantação do empreendimento petroquímico, com consequentes mudanças na rede de drenagem natural.

Quanto ao coeficiente de manutenção (Cm), as SBHs necessitam de área mínima e máxima equivalente a 962, 4 m²/m (SBH-7) e 2689 m²/m (SBH-2), para a manutenção de um metro do canal

de escoamento, sugerindo que os corpos hídricos de primeira ordem das SBHs são propensos a apresentar características de intermitência. Santos e Morais (2012) constataram o mesmo padrão na bacia hidrográfica do Lago Verde-TO, em que o Cm foi equivalente a 602,96 m²/m, valor explicado devido ao alto percentual de áreas com declividade inferior a 3%, fator preponderante para o baixo escoamento fluvial e pouco entalhamento de novas drenagens. Esta característica é evidenciada nas SBHs do BCRI.

Em estudo realizado na bacia do rio Pequeno-PR, Soares e Souza (2012) calcularam o Cm equivalente a 370,37 m²/m. Ao estratificarem o Cm para os cursos alto, médio e baixo da bacia, foi possível identificar que o compartimento baixo da bacia necessita de maior área para manter os canais com qualidade, indicando que nestes trechos o uso e ocupação da bacia devem ocorrer com restrições, considerando sua fragilidade ambiental e potencial de uso do solo, para a utilização adequada dos recursos.

Outra característica do sistema de drenagem mensurada foi a razão de textura (T), que busca expressar o espaçamento entre os canais de drenagem. De acordo com a classificação de França (1968), as dez SBHs foram enquadradas como tipologia grosseira, uma vez que os resultados para o índice variaram entre 0,117 rios/km (SBH-2) até 1,16 rios/km (SBH-6). Tais resultados eram esperados para a área, pois em bacias pequenas, T tende a ser menor, ampliando-se com o aumento do ordenamento hidrográfico e da área de drenagem (FRANÇA, 1968). O padrão constatado indica que o relevo é pouco dissecado pelo sistema de drenagem. Exemplos similares de classificação foram constatados por Rodrigues *et al.* (2011), na bacia do Ribeirão Tamanduá, em Itatinga (T = 1,67) e por Nardini *et al.* (2013), na microbacia do Ribeirão Água-Fria, Bofete (T = 0,9), ambas no estado de São Paulo. Os valores baixos de T indicam que a sub-superfície é, relativamente, permeável e facilita a infiltração. A presença de vegetação reduz o valor de T e tende a aumentar a percolação das águas subterrâneas, dependendo, ainda, das características pedológicas e geológicas (DIPAK *et al.*, 2015).

Com relação ao índice de sinuosidade (Is), os canais apresentam formas transicionais entre as tipologias retilíneas (valores próximos a 1,0) e meandantes (valores superiores a 2). A SBH-4 (1,33) e SBH-5 (1,37) são as que apresentam canais com padrão retilíneo, enquanto as SBH-1 (1,75) e SBH-10 (1,66) possuem maior tendência sinuosa. Santos e Morais (2012) enquadraram os canais de drenagem da bacia hidrográfica do rio Verde-TO, como meandantes de baixa sinuosidade, com valor de Is igual a 1,3. Moreli *et al.* (2014) classificaram o Córrego Cancã-ES, como de baixa sinuosidade, com valores de Is variando entre 1,02 e 1,14. Já Pollo *et al.* (2012) classificaram a bacia do ribeirão Água da Lúcia em Botucatu-SP, como pouco sinuosa, com índice equivalente a 1,63.

Sistemas de drenagem com canais de tendência retilínea tendem a apresentar fluxo de água mais rápido (NARDINI *et al.*, 2013; MORELI *et al.*, 2014) e maior transporte de sedimentos (SANTOS; CASTRO, 2003). Nas SBHs aqui apresentadas, apesar da tendência retilínea dos canais de drenagem, a velocidade do escoamento e seu potencial erosivo são atenuados devido à baixa declividade, o que diminui a possibilidade do desencadeamento de processos erosivos.

Priorização das sub-bacias hidrográficas

Estudos de priorização de um conjunto de sub-bacias numa mesma região hidrográfica buscam indicar, por meio da integração das propriedades morfométricas, quais são as áreas mais susceptíveis à degradação do solo e dos recursos hídricos, contribuindo para o processo de planejamento ambiental das unidades geográficas.

Aher *et al.* (2014) sugerem a utilização de correlação estatística (técnica *Weighted Sum Analysis* - WSA) para atribuição do peso de cada variável selecionada e formulação de modelo que estabeleça a hierarquização das SBHs investigadas. Esse método é uma ferramenta criteriosa para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Desta forma, os resultados da ordenação dos parâmetros morfométricos e da síntese da análise de correlação para as SBHs estudadas estão apresentadas, respectivamente, na **Tabelas 5 e 6**. Como pode ser observado na **Tabela 5**, a maioria dos parâmetros utilizados apresentou correlação positiva entre si. A exceção ocorreu para a relação de bifurcação que se correlacionou de forma negativa com oito dos nove índices morfométricos

selecionados, apresentando correlação positiva apenas com o coeficiente de compacidade. A análise de correlação demonstrou que a densidade de drenagem apresentou forte correlação positiva com o fator de forma (0,903) e com a razão de alongamento (0,903).

Tabela 5. Priorização preliminar das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru com base nos indicadores morfométricos.

SBH	Dh	Rb	Dd	T	Ic	Kf	Re	Kc	Fb
SBH-1	9	4	4	8	6	4	4	5	4
SBH-2	10	1	10	10	4	10	10	7	9
SBH-3	1	3	7	3	9	9	9	2	10
SBH-4	6	2	5	9	7	6	6	4	7
SBH-5	7	5	8	6	5	7	7	6	6
SBH-6	3	10	2	1	8	2	2	3	3
SBH-7	2	9	1	2	3	3	3	8	2
SBH-8	5	6	9	7	1	8	8	10	5
SBH-9	4	8	3	5	2	1	1	9	1
SBH-10	8	7	6	4	10	5	5	1	8

Legenda: Dh – densidade hidrográfica; Rb – relação de bifurcação; Dd – densidade de drenagem; T – razão de textura; Ic – índice de circularidade; Kf – fator de forma; Re – razão de alongamento; Kc – coeficiente de compacidade; e Fb – Forma da bacia.

Tabela 6. Matriz de correlação da hierarquização das propriedades morfométricas das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru.

Parâmetros	Dh	Rb	Dd	T	Ic	Kf	Re	Kc	Fb
Dh	0	-0,490	0,478	0,757	0,006	0,284	0,284	-0,006	0,284
Rb	-0,4909	0	-0,684	-0,793	-0,115	-0,781	-0,781	0,115	-0,745
Dd	0,478	-0,684	0	0,600	-0,078	0,903	0,903	0,078	0,733
T	0,757	-0,793	0,600	0	-0,284	0,503	0,503	0,284	0,333
Ic	0,006	-0,115	-0,078	-0,284	0	0,054	0,054	-1,000	0,527
Kf	0,284	-0,781	0,903	0,503	0,054	0	1,000	-0,054	0,854
Re	0,284	-0,781	0,903	0,503	0,054	1,000	0	-0,054	0,854
Kc	-0,006	0,115	0,078	0,284	-1,000	-0,054	-0,054	0	-0,527
Fb	0,284	-0,745	0,733	0,333	0,527	0,854	0,854	-0,527	0
Soma das correlações	1,600	-4,279	2,933	1,903	-0,836	2,764	2,764	-1,164	2,315
Total geral	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Legenda: Dh – densidade hidrográfica; Rb – relação de bifurcação; Dd – densidade de drenagem; T – razão de textura; Ic – índice de circularidade; Kf – fator de forma; Re – razão de alongamento; Kc – coeficiente de compacidade; e Fb – Forma da bacia.

Por meio do método WSA, foi possível obter a importância proporcional dos parâmetros utilizados para a priorização das dez SBHs estudadas, utilizando-se o modelo 1, apresentado a seguir:

$$\text{Priorização} = (0,2xDh) - (0,535xRb) + (0,367xDd) + (0,238xT) - (0,105xIc) + (0,345xKf) + (0,345xRe) - (0,145xKc) + 0,289xFb \quad (1)$$

Em que: Dh = densidade hidrográfica; Rb = relação de bifurcação; Dd = densidade de drenagem; T = textura da drenagem; Ic = índice de circularidade; Kf = fator de forma; Re = razão de alongamento; Kc = coeficiente de compacidade; e Fb = forma da bacia.

Após a formulação do modelo de priorização, foram aplicados os resultados para as SBHs do BCRI (**Tabela 7**). A **Figura 5** apresenta o mapa indicando a priorização das dez SBHs estudadas.

Tabela 7. Priorização final das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru.

Código das bacias hidrográficas	Constante do modelo de priorização	Prioridade
SBH-1	5,593	Quinta
SBH-2	15,581	Décima
SBH-3	9,743	Nona
SBH-4	8,955	Oitava
SBH-5	8,258	Sétima
SBH-6	-2,806	Primeira
SBH-7	-2,399	Segunda
SBH-8	8,169	Sexta
SBH-9	-1,725	Terceira
SBH-10	5,576	Quarta

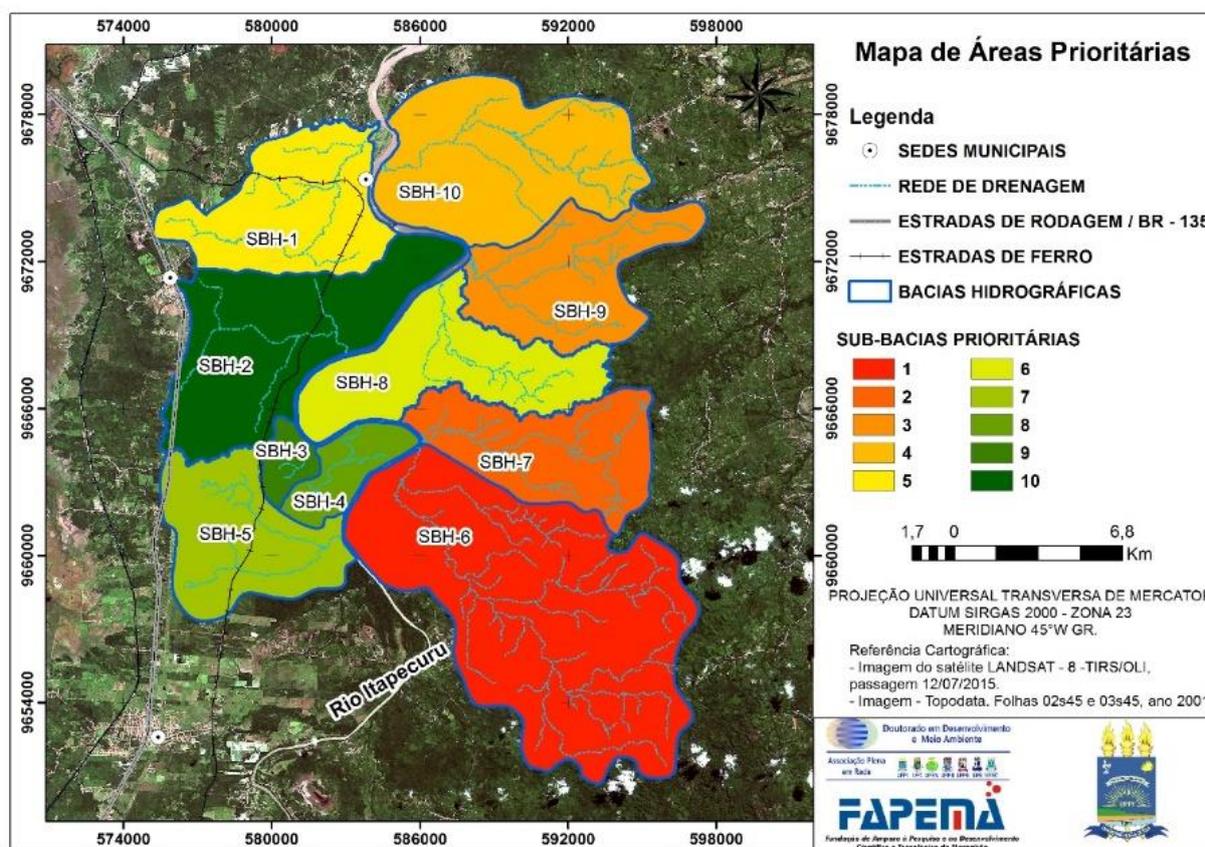


Figura 5. Priorização das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru. Fonte: Autores

Na hierarquia obtida, por meio da aplicação do modelo de priorização, a SBH-6 obteve a maior prioridade, devido apresentar o menor valor (-2,806) do conjunto das SBHs. A segunda e terceira prioridades foram atribuídas, respectivamente, para SBH-7 (-2,399) e SBH-9 (-1,725). A menor prioridade, correspondeu a SBH-2, que apresentou o maior valor, igual a 15,581 (**Tabela 7**).

Aher *et al.* (2014) aplicando o método WSA em oito SBH, em Pimpalgaon Ujjaini, na Índia, indicaram a maior e menor prioridades para SBHs com valores de -3,017 e 12,000, respectivamente. O ranqueamento mostrou-se como uma ferramenta eficiente na indicação de áreas mais vulneráveis à degradação dos solos e dos recursos hídricos.

Com base na classificação proposta por Aher *et al.* (2014), as SBHs estudadas foram enquadradas na escala de priorização como muito alta (SBHs 6, 9 e 7), média (SBHs 10, 1, 8 e 5), baixa (SBHs 4 e 3) e muito baixa (SBH-2) (**Figura 6**). Os resultados sinalizam que 83,3% da área em

estudo representam uma zona de alta e média susceptibilidade ambiental. Logo, devem ser potencialmente preferenciais para implementação de ações de preservação e conservação ambiental.

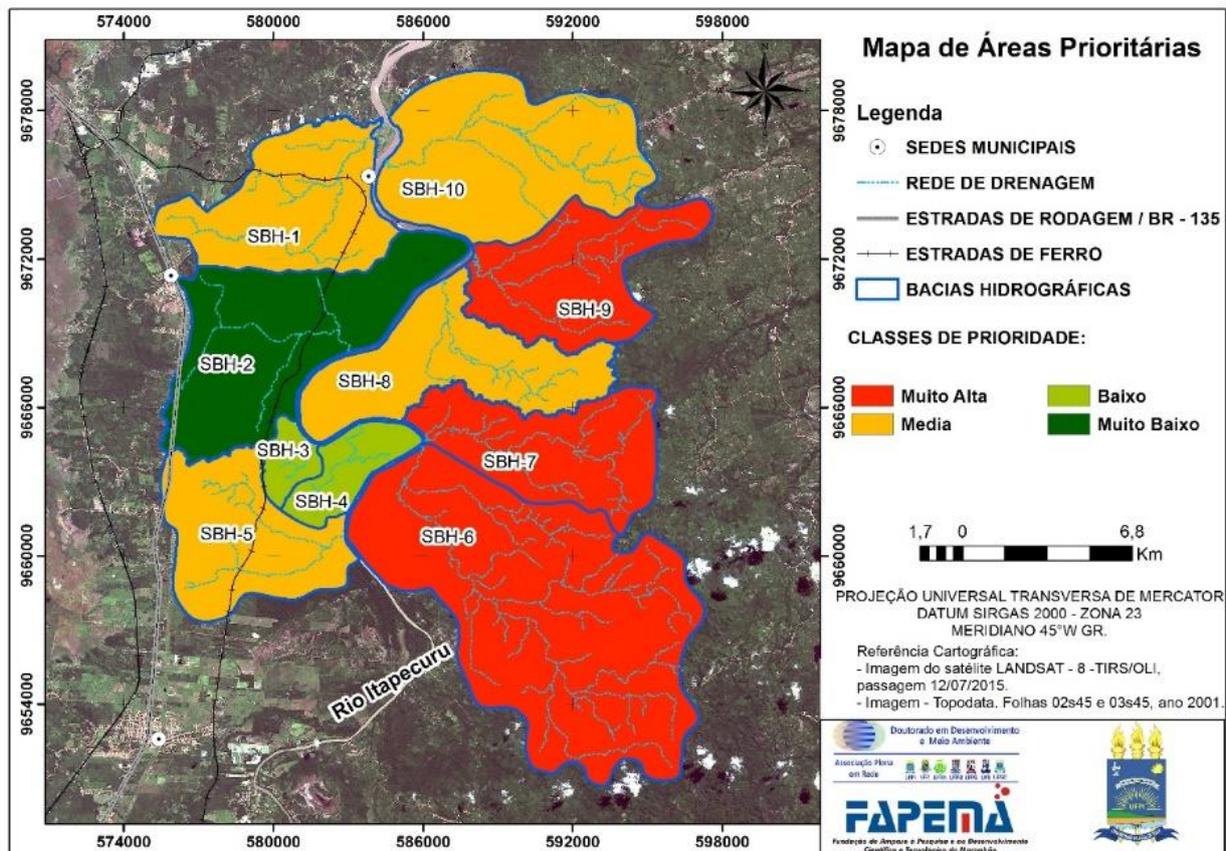


Figura 6. Classes de priorização das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru. Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As SBHs do BCRI são de pequena dimensão, com rede de drenagem onde predominam canais intermitentes e de primeira ordem. Essas características, associadas às suas condições de relevo, indicam a necessidade do planejamento integrado para sua área de abrangência, devem ser definidas e implementadas estratégias que busquem conciliar o uso e ocupação da terra com a proteção e manutenção dos ecossistemas naturais e dos recursos hídricos.

O escoamento dos canais fluviais apresenta baixa capacidade de transporte e de erosão, sugerindo que são susceptíveis a processos de assoreamento, que são potencializados naqueles de menor ordem hierárquica de drenagem. Por outro lado, a baixa declividade das SBHs pode atenuar o processo de erosão laminar de suas respectivas áreas de drenagem, uma vez que o escoamento superficial será mais lento em função desta característica.

Os resultados dos parâmetros morfométricos indicam que, sob condições naturais, as SBHs analisadas não são propensas a inundações. O relevo plano, associado à baixa densidade de drenagem e densidade hidrográfica indicaram tendência de uma resposta hidrológica lenta, com possível redução dos picos de cheia. Entretanto, o uso e ocupação desordenado e a ampliação das áreas impermeabilizadas podem elevar as áreas sujeitas a inundações e alagamento, especialmente, aquelas situadas em áreas de topografia mais rebaixadas.

Evidenciou-se a ausência de utilização de informações morfométricas no processo de planejamento ambiental na região, pois, considerando os resultados para o fator de forma, a SBH-2 não poderia sofrer intervenções topográficas e redução da cobertura vegetal em quase toda sua área de abrangência para implementação de empreendimento petroquímico. Tais mudanças alteraram o sistema de drenagem natural e potencializaram as áreas sujeitas a alagamento nesta SBH.

A síntese comparativa entre os resultados obtidos por Aher *et al.* (2014) e os descritos nesta pesquisa, demonstram que o método WSA permite proceder a priorização de sub-bacias hidrográficas em diferentes localidades e com características morfométricas distintas. As informações geradas na pesquisa podem subsidiar os tomadores de decisão na formulação de políticas públicas e indicação de ações e estratégias para a conservação dos solos e dos recursos hídricos de bacias hidrográficas. Foi constatado que 83,3% da área em estudo é uma zona de alta e média susceptibilidade ambiental.

Os resultados obtidos podem ser integrados com outros parâmetros de cunho hidrológico, uso e cobertura da terra, geologia, potencial erosivo em plataformas de sistema integrado de geoprocessamento, para mapeamento detalhado das áreas prioritárias visando a implementação de ações de conservação e recuperação dos recursos naturais, subsidiando o processo de planejamento e gestão ambiental do baixo curso do rio Itapecuru.

REFERÊNCIAS

- ABUD, E. A.; LANI, J. L.; ARAÚJO, E. A.; AMARAL, E. F.; BARDALES, N. G.; FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização morfométrica das sub-bacias no município de Xapuri: subsídios à gestão territorial na Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 2, p. 431-441, 2015.
- AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850–860, 2014.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.
- ANDRADE, N. L. R.; XAVIER, F. L.; ALVES, E. C. R. F.; SILVEIRA, A.; OLIVEIRA, C. U. R. Caracterização morfométrica e pluviométrica da Bacia do Rio Manso – MT. **Geociências**, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.
- ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 41, p. 1-16, 2014.
- ARAÚJO, R. S.; ALVES, M. G.; MELO, T. C.; CHRISPIM, Z. M. P.; MENDES, P.; SILVA JÚNIOR, G. C. Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 815–828, 2015.
- BEHERA, S.; PANDA, R. K. Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 113, p. 62–72, 2006.
- BERTOSSI, A. P. A.; KLIPPEL, V. H.; PELUZIO, T. M. O.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A. Análise morfométrica da sub-bacia do Córrego Horizonte, Alegre-ES, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG). **Revista Nucleus**, v.8, n. 2, p. 209-218, 2011.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p.241-248, 2006.
- CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, p. 1-7, 2009.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo, ES. **Irriga**, v. 16, n. 4, p. 369-381, 2011.
- DIPAK, R. S.; SHIRISH, G. S.; NAGARAJAN, R. GIS based drainage morphometry and its influence on hydrology in parts of Western Ghats region, Maharashtra, India. **Geocarto International**, v.30, n.7, p. 755-778, 2015.

- DSG-SUDENE. Divisão do Serviço Geográfico do Exército Nacional-Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Cartas Planialtimétricas na escala 1:100.000, folhas 549 e 610**. Escala: 1:100.000. DSG/SUDENE, 1980.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, version 9.2. Software. 2006.
- FELIPE, A. C.; CAMPOS, S.; PARIZOTO, N. M. S. F.; NARDINI, R. C.; TRAFICANTE, D. P. Geoprocessing applied in morphometric of the Ribeirão do Veado watershed – Piratinga (SP), seeking the conservation of the water resources. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.6, n.2, p.89- 95, 2013.
- FERNANDES, M. R. **Parâmetros básicos de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2014. 18 p.
- FRAGA, M. S.; 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. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.
- FRANÇA, G. V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba. 151p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1968.
- FSADU. Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. Estudo de Impacto Ambiental-EIA/Relatório de Impacto do Meio Ambiente-RIMA da Refinaria Premium I. **Volume 2: Meio Físico**. São Luís/MA. 2008. 440 p.
- FSADU. Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. Estudo de Impacto Ambiental-EIA/Relatório de Impacto do Meio Ambiente-RIMA da Refinaria Premium I. **Banco de Dados**. São Luís/MA. 2009.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. v. 56, v. 3, p. 275-370, 1945.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas Temáticos do IBGE: Geologia. 2003**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia>. Acesso: 10 abr. 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Infraestrutura de Transporte**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc4.shtm>. Acesso: 21 nov. 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas Temáticos do IBGE: Solos**. 2007. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/solos>. Acesso em: 10 abr. 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA**: diretrizes gerais para ordenação territorial. Salvador, 1997.188 p.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações de dados**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2008. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 10 de nov. 2015.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 18 de nov. 2015.
- LABGEO. Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Maranhão. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN. 2002. 44 p.
- LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Ciências Florestais, 2008. 253 p.
- LIRA, E. M.; NASCIMENTO, F. I. C.; ALMEIDA, G. O. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Amaro, Acre-Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.3, n. 4, p. 606-616, 2012.

- MALIK, M. I.; BHAT, M. S. Integrated Approach for Prioritizing Watersheds for Management: A Study of Lidder Catchment of Kashmir Himalayas. **Environmental Management**, v. 54, p. 1267–1287, 2014.
- MARQUES-NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia (Londrina)**, v. 17, n. 2, jul./dez, 2008.
- MIGUEL, A. E.; MEDEIROS, R. B.; DECCO, H. F.; OLIVEIRA, W. Características Morfométricas do Relevo e Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Taquaruçu/MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.4, p. 678-69, 2014.
- MORELI, A. P.; PEREIRA, D. P.; SILVA, S. F. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Córrego Cancã em Venda Nova do Imigrante – ES – BRASIL. **Nucleus**, v.11, n. 2, p. 385-396, 2014.
- MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area**. New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, 1953. 30 p.
- NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga, Botucatu**, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.
- NUGEO. Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. **Bacias Hidrográficas: Subsídios para o planejamento e a gestão territorial**. Relatório Técnico. 2011. 47 p.
- 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**, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.
- OLSZEWSKI, N.; FERNANDES-FILHO, E. I.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 485-492, 2011.
- POLLO, R. A.; BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; RODRIGUES, V. A. Caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Água da Lucia, Botucatu-SP. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 5, n. 1, p. 163-167, 2012.
- QUEIROZ, P. H. B.; SALES, M. C. L.; SILVA, J. M. O. Indicadores morfométricos como subsídio ao planejamento ambiental em um setor do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Pacoti - CE. **Revista Equador**, v. 3, n. 1, p. 3-24, 2014.
- RODRIGUES, F. M.; PISSARA, T. C. T.; CAMPOS, S. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda Gloria, município de Taquaritinga, SP. **Irriga**, v. 13, n. 3, p. 310-322, 2008.
- RODRIGUES, V. M.; FENNER, P. T.; AMARAL, L. P.; AMARAL, C. A.; BLANCO, J. I. E. O. E. Degradação ambiental da microbacia do Ribeirão Tamanduá em relação com sua morfometria. **Revista Forestal Venezolana**, v. 55, n. 1, p. 23-28, 2011.
- SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**. v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.
- SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão – TO. **Revista Geonorte**, v. 3, n.4, p. 617-629, 2012.
- 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**, v. 67, p. 597-646, 1956.
- SILVA, N. C. L.; FERNANDES, A. L. V.; IZIPPATO, F. J.; OLIVEIRA, W. Uso Do Solo No Manejo De Bacias Hidrográficas: O Caso Da Microbacia Córrego Prata, Três Lagoas/MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 2, n.1, p. 1-13, 2009.
- SMITH, K. G. Standards for grading textures of erosional topography. **American Journal of Science**, v. 248, p. 655–668, 1950.

- SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Geografia (Londrina)**, v. 21, n. 1, p. 19-36, 2012.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**. v. 38, p. 913-20, 1957.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-156, 2007.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.
- UMETSU, R. K.; PEREIRA, N.; CAMPOS, E. M. F. P. UMETSU, C. A.; MENDONÇA, R. A. M.; BERNASCONI, P.; CAMARGO, M. F. Análise morfométrica e socioambiental de uma bacia hidrográfica amazônica, Carlinda, MT. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 83-92, 2012.
- VEIGA JÚNIOR, J.P. **São Luís NE/SE, folhas SA-23-X e SA-23-Z: estados do Maranhão e Piauí**. Brasília, DF: CPRM, 2000. p. 5-23. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.