

# Bacia hidrográfica do rio balsas: diagnóstico físico e avaliação qualitativa de áreas suscetíveis à erosão

*Balsas river basin: physical diagnosis and qualitative  
presentation of erosion-susceptible areas*

Ana Paula de Melo e Silva Vaz<sup>1\*</sup> , Sandra Martins Ramos<sup>2</sup> , Sandro José Froehner<sup>3</sup> 

## RESUMO

Conhecer o comportamento geomorfológico de bacias hidrográficas é fundamental para a elaboração de políticas públicas de conservação dos recursos naturais, para subsidiar a ocupação humana de forma que os processos erosivos sejam minimizados. Considerando-se as escassas informações sobre a bacia hidrográfica do Rio das Balsas, no sul do estado do Maranhão, este estudo teve como objetivos realizar o diagnóstico físico e apresentar as áreas suscetíveis à erosão por meio de classificação qualitativa. Para tanto, utilizaram-se informações das bases de dados da Agência Nacional de Águas, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e United States Geological Survey (modelo digital de elevação, hidrografia, solos e geologia). Por rotinas de geoprocessamento, foram delimitadas a bacia e as sub-bacias e obtidos os dados para o cálculo dos índices morfométricos. Além disso, foi feita a reclassificação das áreas suscetíveis a erosão, baseada no *curve number*, método que avalia o potencial de escoamento superficial por tipo de solo e respectivo uso. A reclassificação em quatro classes de suscetibilidade possibilitou elaborar o mapa de áreas suscetíveis à erosão. As características morfogenéticas encontradas na área mostram que são necessárias ações de manejo adequado, já que alguns tipos de solos combinados com 45% de declividade (44% da área) são as áreas mais vulneráveis aos processos erosivos. Com isso, conclui-se que o planejamento do uso e ocupação da bacia são extremamente importantes para que as características físicas da região não interfiram de maneira negativa no futuro da sua expansão, no que concerne tanto às atividades agrícolas quanto às urbanas.

**Palavras-chave:** análise morfométrica; comportamento hidrológico dos solos; suscetibilidade à erosão.

## ABSTRACT

Knowledge of the geomorphological behavior of watersheds is fundamental for the elaboration of public policies for the conservation of natural resources, to subsidize human occupation in a way that minimizes erosion processes. Considering the lack of information about the Balsas river basin, located in the south of the state of Maranhão, Brazil, this study aimed to make a physical diagnosis and indicate areas susceptible to erosion through qualitative classification. To that end, it drew on information from National Water Agency (ANA), the Geological Survey of Brazil (CPRM) and the United States Geological Survey (USGS) databases (digital elevation model, hydrography, soils and geology). Through geoprocessing routines, the basin and sub-basins were mapped and data was obtained for the calculation of morphometric indices. In addition, the areas susceptible to erosion were reclassified based on the curve number method, which assesses surface runoff potential by soil type and use. Reclassification into four susceptibility classes made it possible to map erosion susceptible areas. The morphogenetic characteristics found in the area show the need for appropriate management actions, since some types of soils, combined with 45% slope (about 44% of the area), are the most vulnerable to erosive processes. The conclusion reached was that planning of the use and occupation of the basin is extremely important to prevent the physical characteristics of the basin interfering negatively in the future of the region, as its agricultural as well as urban activities expand.

**Keywords:** morphometric analysis; hydrological soil behavior; erosion susceptibility.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão – Balsas (MA), Brasil.

<sup>2</sup>Instituto de Tecnológico de Transportes e Infraestrutura – Curitiba (PR), Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná – Curitiba (PR), Brasil.

\***Autora correspondente:** ana.vaz@ufma.br

**Conflitos de interesse:** os autores declaram não haver conflito de interesses.

**Financiamento:** nenhum.

**Recebido:** 23/08/2019 – **Aceito:** 02/04/2020 – **Reg. ABES:** 20190257

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas têm sido utilizadas como unidades de estudo e planejamento, e a configuração e os arranjos espaciais dos corpos hídricos são reflexos da evolução morfofenética influenciada pela estrutura geológica da região. Logo, o diagnóstico da dinâmica ambiental é fundamental para a proposição de mecanismos de planejamento e gestão que adequem as necessidades humanas de uso do solo às características físicas deste (TORRES; MACHADO, 2012; CARVALHO, 2014; CHEREM *et al.*, 2018).

Por meio do exame das características físicas, o planejamento baseado na análise morfométrica pode direcionar a implantação de atividades econômicas mais adequadas às características ambientais. Soares *et al.* (2017) destacam que o estabelecimento de políticas de gestão para uma bacia é resultado da evolução da ocupação da sua superfície, que busca também a preservação. O zoneamento ambiental é apontado por Martins (2013) e Carvalho (2014) como uma das principais ferramentas de ordenamento territorial, que possibilita a ocupação e evita a degradação do solo por processos erosivos.

A erosão é consequência, também, da modificação da paisagem quando não são consideradas as especificidades locais. Araújo, Almeida e Guerra (2014), alertam que o risco de erosão depende de condições naturais e de atividades de uso da terra que exigem a retirada da vegetação, além das características climáticas e físicas do local, que podem potencializar a propensão da área a sofrer com processos erosivos. Assim, apenas medidas de conservação e restauração em áreas de preservação permanente não são suficientes para evitar a ocorrência de processos erosivos. Martins (2013) recomenda a utilização racional do solo.

O diagnóstico para o planejamento de uso e ocupação avalia o comportamento dos solos com relação às modificações e suas consequências. Um dos fatores a ser avaliado é o potencial de erosividade dos solos. Entre as técnicas, o *curve number* (CN) é o método desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos para determinar o escoamento superficial, baseado especificamente naquele que é deflagrado pela precipitação. Assim, são combinadas informações do grupo de solos e tipo de cobertura, que resultam em um complexo hidrológico de cobertura do solo. Cada complexo hidrológico recebe um número para a curva de escoamento.

Os valores do CN representam a condição mediana do complexo hidrológico quando ocorre a maior cheia anual. Esta é uma condição suposta, que resulta de uma medida de conservação do solo. Os números de CN devem ser usados como modelos de inundação única e não como modelo hidrológico contínuo (USDA, 1989). Para a sua aplicação, o método CN, segundo Tucci *et al.* (2015), divide-se nas seguintes etapas: determinação do grupo hidrológico do solo; escolha das condições de saturação do solo; determinação dos valores de CN para a condição desejada de umidade do solo; e determinação do escoamento superficial.

A bacia hidrográfica do Rio das Balsas (BHRDB) é uma região pouco estudada. Entre as poucas pesquisas encontradas a respeito da área, citam-se Freitas *et al.* (2000), que realizaram a caracterização das águas desse rio por meio de análises físico-químicas. Farinasso *et al.* (2006) descreveram a análise do potencial de erosão da bacia hidrográfica do Alto Parnaíba, que inclui a BHRDB, em estudo realizado com resolução espacial de 100 m e que chegou a valores relativos à perda de solo em toneladas por ano, mostrando que a suscetibilidade à erosão está fortemente associada à geomorfologia da região. Alves (2009) realizou modelagens matemáticas para determinar o impacto ambiental no Rio das Balsas e Barreto *et al.* (2010) apresentaram uma metodologia de análise para o

planejamento de uso e ocupação do solo e a preservação de áreas de vegetação remanescentes, por meio da análise de imagens de satélite.

No entanto, nenhuma das pesquisas trata das características morfométricas da BHRDB. Diante da necessidade de informação sistematizada sobre a BHRDB, o presente estudo tem como objetivo realizar a caracterização morfométrica da bacia, por meio da utilização do QGIS, além de apresentar os resultados do CN de acordo com a análise baseada nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), com a apresentação qualitativa de áreas suscetíveis à erosão, pela atribuição de faixas de valores para quatro níveis de suscetibilidade.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio das Balsas (BHRDB), região sul do estado do Maranhão, tem a nascente localizada no município de Balsas e a foz no município de Benedito Leite, quando deságua no rio Paranaíba (limite entre os estados do Maranhão e Piauí), do qual é um dos principais tributários, conforme Farinasso *et al.* (2006). A Figura 1 mostra a BHRDB.

A BHRDB possui área total de 25.481,42 km<sup>2</sup> e perímetro de 3.055,95 km, sendo o Rio das Balsas o curso principal, com 533,48 km de extensão. Na área de drenagem da BHRDB, encontram-se nove municípios. A Tabela 1 mostra esses municípios, suas populações, área territorial e área inserida na BHRDB.

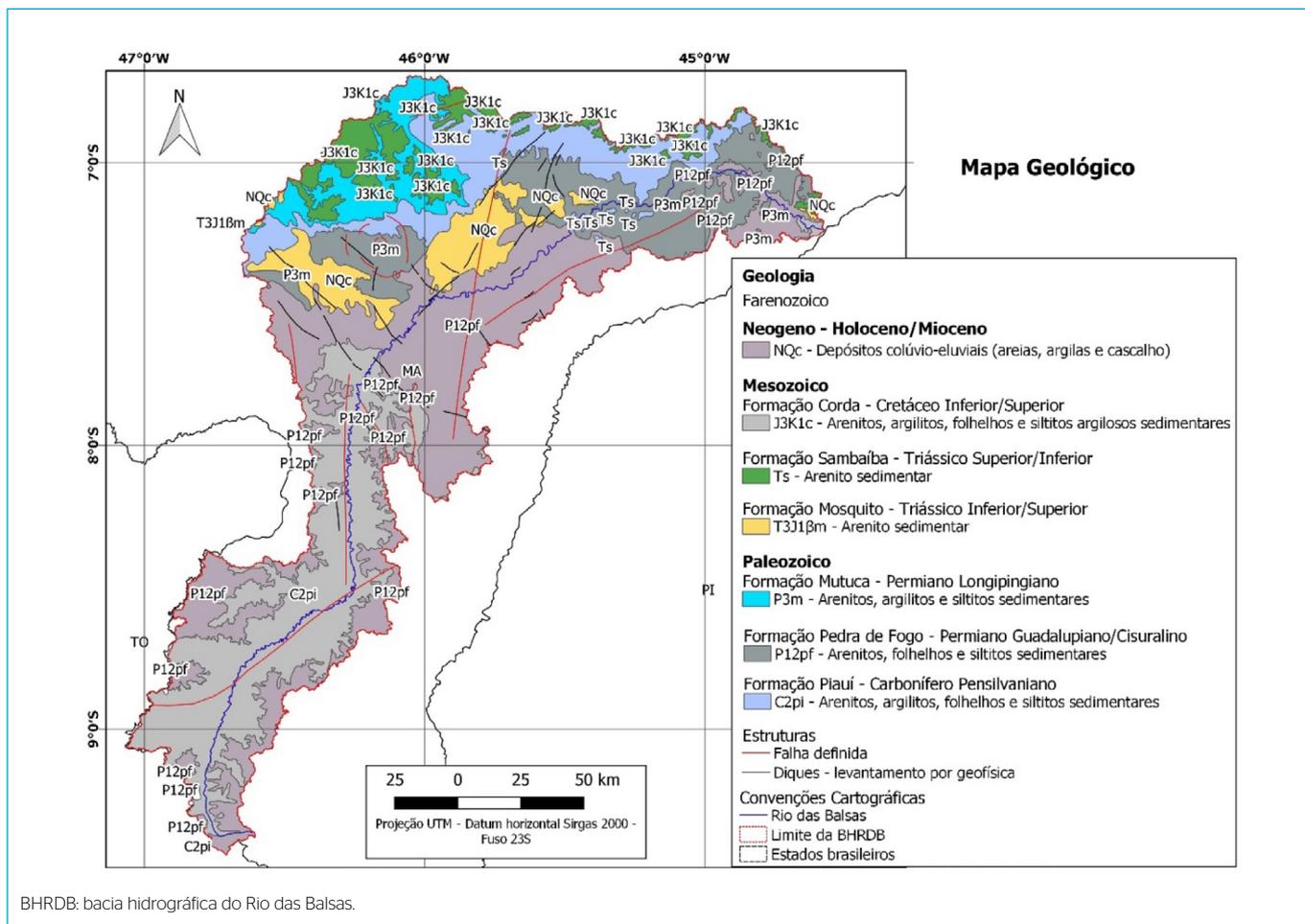
A população total da área é de 178.776 habitantes, dos quais 52,48% vivem na principal cidade, Balsas, com 77,75% da população vivendo na área urbana. De acordo com Correia Filho, Gomes Filho e Nunes (2011), o clima do município é tropical com inverno seco (AW') conforme a classificação de Köppen, com dois períodos bem definidos: período chuvoso de janeiro a junho, com médias mensais superiores a 132,6 mm, e período de estiagem entre julho e dezembro, com pico entre os meses de maio a julho, quando a precipitação varia de 3,4 a 159,8 mm. A precipitação total anual é, em média, de 1.216,3 mm e a temperatura média mensal é de 26°C. A vegetação varia de acordo com as características do relevo, proximidade dos cursos de água e grau de interferência antrópica. A vegetação predominante é do tipo cerrado, comum no alto das chapadas e nas áreas planas mais baixas. Ainda de acordo com Correia Filho, Gomes Filho e Nunes (2011, p. 27), "a região localiza-se na área transicional entre a Amazônia e a Região Nordeste Ocidental e apresenta feições topográficas amazônicas na porção ocidental, feições aplainadas, sertanejas, no setor leste-sudeste, além de relevo subtabular que constitui as *cuestas* da porção central da bacia".

## Geologia

Bandeira (2013) descreveu a bacia do Parnaíba, na qual encontra-se a área de estudo, como tendo

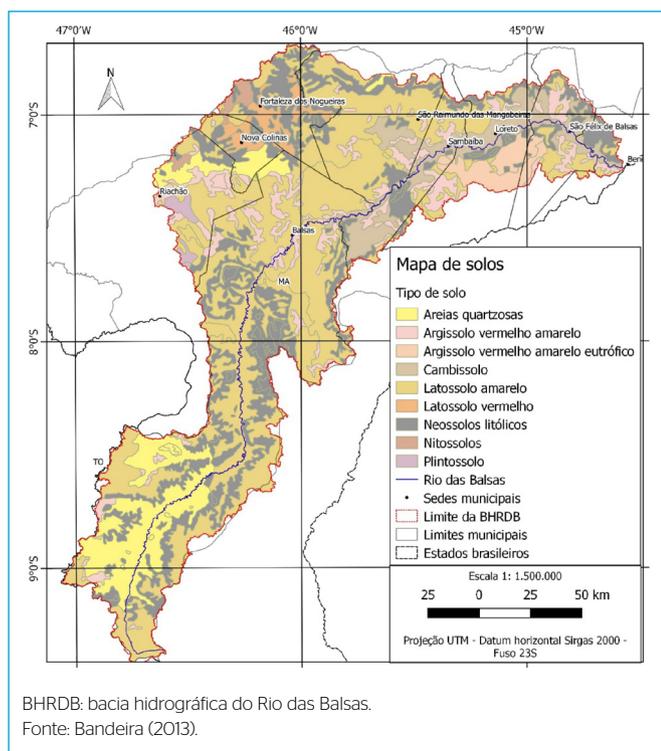
certa peculiaridade na sedimentação de seus litotipos. Uma parte foi depositada na era paleozoica (grupos Serra Grande, Canindé e Balsas), durante a junção/formação do grande continente Pangeia. Após a fragmentação dessa grande massa continental, na era mesozoica, evoluindo para formar o atual oceano Atlântico, depositaram-se rochas das formações Mosquito, Pastos Bons, Corda, Grajaú, Codó, Itapecuru, Ipixuna e Sedimentos Cenozoicos até os dias atuais, inclusive a formação das bacias costeiras brasileiras, onde se extrai petróleo e gás natural (BANDEIRA, 2013, p. 23).





BHRDB: bacia hidrográfica do Rio das Balsas.

Figura 2 - Mapa geológico.



BHRDB: bacia hidrográfica do Rio das Balsas.  
Fonte: Bandeira (2013).

Figura 3 - Mapa de solos.

A Depressão Interplanáltica de Balsas configura-se como uma das áreas mais representativas do firme avanço da fronteira agrícola no sul do estado do Maranhão nos últimos 20 anos, condicionado pela colonização agrícola. Tal avanço processa-se, especialmente, sobre os topos dos baixos platôs constituídos por solos mecanizáveis, muito profundos, bem drenados, que, apesar de pobres, respondem bem à aplicação de corretivos e fertilizantes (Latossolos), e sobre as manchas de solos com boa fertilidade natural que ocorrem nas superfícies aplainadas (Luvisolos Crômicos) (BANDEIRA, 2013).

## METODOLOGIA

Para a delimitação das bacias hidrográficas, foram utilizadas ferramentas do complemento GRASS do QGIS, como o “*r.watershed*”, algoritmo que faz a delimitação automática de bacias hidrográficas com base em arquivo *raster* MDE ASTER (USGS, 2017) e arquivo vetorial da camada hidrográfica (ANA, 2017). O tamanho de célula definido para a modelagem das bacias e sub-bacias foi de 1.000.000 pixels, o que representa aproximadamente 1% do tamanho total (linhas × colunas) do MDE ASTER. Cada *pixel* possui resolução de 30 m.

Após a delimitação da bacia e sub-bacias, foi possível realizar o cálculo dos índices morfométricos. Os dados aqui apresentados foram extraídos por rotinas de geoprocessamento naqueles obtidos nas bases da ANA, CPRM e USGS,

como MDE, rede hidrográfica, mapa de solos e geológico, todos com escala de 1:250.000. Todo o processamento foi realizado no QGIS. Para a caracterização morfométrica, foram empregados os cálculos descritos em Tonello *et al.* (2006), Teodoro *et al.* (2007), Oliveira *et al.* (2010), Torres e Machado (2012), Calil *et al.* (2012) e Ferrari *et al.* (2013). De acordo com Tonello *et al.* (2006), as características morfométricas podem ser divididas em geométricas, do relevo e da rede de drenagem.

A caracterização geométrica consistiu na determinação de: área, perímetro, coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), índice de circularidade ( $I_c$ ), fator de forma ( $F$ ), equidistância das curvas de nível ( $\Delta h$ ) e comprimento total das curvas de nível ( $L_n$ ). Já a caracterização do relevo considerou: altitudes mínima, média e máxima, amplitude altimétrica, relação do relevo ( $R_r$ ), índice de rugosidade ( $I_r$ ), coeficiente de rugosidade ( $CR$ ) e declividade média ( $D_m$ ). Para caracterizar a rede de drenagem, calcularam-se: comprimento axial, comprimento do curso principal, comprimento de todos os cursos d'água, densidade de drenagem ( $D_d$ ), índice de sinuosidade do rio principal ( $I_s$ ) e coeficiente de manutenção ( $C_m$ ). Para determinar a declividade da área da BHRDB, foi utilizado o MDE ASTER reclassificado para apenas seis classes, conforme descrito por Oliveira (2007): plano (< 3% de declividade), suave ondulado (3–8%); ondulado (8–20%), forte ondulado (20–45%), montanhoso (45–75%) e escarpado (> 75%).

Para a proposta de apresentação qualitativa dos valores do CN, foi adotada a base de dados da ANA (2018), com escala 1:250.000 para o estado do Maranhão. De acordo com a Nota Técnica 46/2018/SPR, os processos que influenciam de maneira direta e são importantes para a obtenção do CN são: relevo, cobertura vegetal, modificações artificiais nos rios, distribuição, duração e intensidade da precipitação e tipo de solo. De acordo com a metodologia descrita na Nota Técnica, o uso e ocupação solo foram divididos em: área artificial, área agrícola, pastagem com manejo, mosaico de área agrícola com remanescentes florestais, silvicultura, vegetação florestal, mosaico de vegetação florestal com atividade agrícola, vegetação campestre, área úmida, pastagem natural, mosaico de área agrícola com remanescentes, corpo d'água continental, corpo d'água costeiro e área descoberta. As áreas e respectivos valores de CN para cada unidade hidrológica poderão apresentar valores mínimos, médios e máximos. No presente estudo, para a proposta de apresentação qualitativa do CN, empregaram-se os valores médios de CN para a BHRDB, considerando-se que o CN varia de 0 a 100, os valores foram divididos em quatro faixas: baixa suscetibilidade (0–25), moderada suscetibilidade (25–50), alta suscetibilidade (50–75) e muito alta suscetibilidade (75–100).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a delimitação das sub-bacias, foi necessário realizar alguns ajustes manuais em dois pontos. Para isso, utilizaram-se as curvas de nível como referência para que a nascente e o restante do corpo hídrico pertencessem à mesma área. Ainda assim, o resultado final obtido pelo algoritmo é bastante vantajoso, tendo em vista que, se a delimitação das bacias não for automática, deve ser feita manualmente. A Figura 4 mostra a BHRDB e as sub-bacias.

Em alguns casos a delimitação manual não é um problema, quando se trata de sub-bacias pequenas, mas nesta pesquisa a delimitação manual seria um fator limitante, tendo em vista a extensão total da área de estudo.

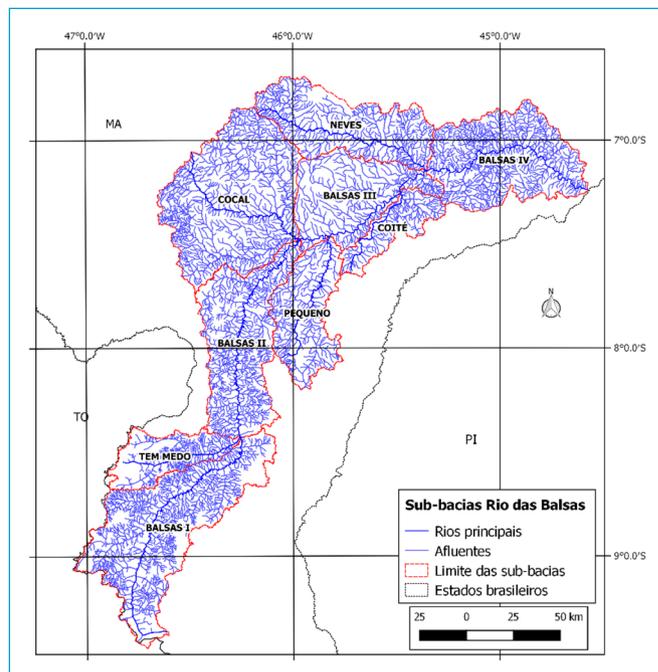


Figura 4 – Sub-bacias do Rio das Balsas.

## Características geométricas

Após as etapas de geoprocessamento, foi possível extrair as informações necessárias a respeito das características geométricas da BRHDB, como área e perímetro, além do cálculo dos índices, como mostra a Tabela 2.

Observando as áreas das sub-bacias, percebe-se que a Cocal é a que possui maior área e corresponde a 40,78% da área total da BHRDB. Com relação ao  $K_c$ , todas as sub-bacias apresentam valores similares, sendo o menor o de 2,35 para a sub-bacia do Rio Cocal e o maior, de 3,44, para a sub-bacia Balsas I. Teodoro *et al.* (2007) explicam que o índice é adimensional, mas que as bacias que possuem valores próximos de 1 tendem a ter formato circular, enquanto as que apresentam valores maiores possuem forma mais alongada. Aqui todas as sub-bacias são superiores a 1, de modo que foram classificadas como alongadas.

Outro parâmetro morfométrico é o  $I_c$ , que também relaciona a forma da bacia à forma do círculo. De acordo com Antoneli e Thomaz (2007), valores de  $I_c$  menores que 0,51 indicam forma mais alongada, que favorece o escoamento da água e, como consequência, há baixa propensão à ocorrência de inundações. Com os valores encontrados neste estudo, pode-se afirmar que as sub-bacias estudadas têm formas mais alongadas, o que favorece o escoamento na área, já que todos os valores encontrados variam de 0,08 a 0,18.

As características geométricas também podem ser definidas segundo o valor de  $F$ , o qual indica a propensão de bacias hidrográficas às inundações. As sub-bacias possuem valores que variam de 0,21 a 0,64. A literatura tem demonstrado que valores elevados correspondem a áreas que tendem a sofrer com inundações deflagradas por cheias rápidas, como Teodoro *et al.* (2007), que encontraram  $F$  igual a 1,07. Contudo, valores baixos, como os encontrados na área de estudo, mostram que as bacias não são propensas às inundações, como afirmam, por exemplo, Cardoso *et al.* (2006), que encontraram  $F$  igual a 0,3285. As bacias não são propensas a cheias rápidas por apresentarem tempo de concentração

**Tabela 2** – Características geométricas da bacia hidrográfica do Rio das Balsas.

Sub-bacia	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Perímetro total (km)	Kc	IC	F	Δh	Ln (km)
Balsas I	4.503,622	824,456	3,44	0,08	0,21	20 m	33.822,70
Balsas II	3.263,867	632,140	3,10	0,10	0,24		29.983,30
Balsas III	2.497,181	461,115	2,58	0,15	0,60		14.689,20
Balsas IV	3.361,791	527,931	2,55	0,15	0,32		24.386,10
Cocal	4.870,879	586,892	2,35	0,18	0,64		33.754,20
Coité	973,504	370,343	3,32	0,09	0,27		6.285,64
Neves	2.739,256	494,468	2,65	0,14	0,23		22.085,50
Pequeno	1.981,098	466,440	2,94	0,11	0,32		13.289,90
Tem medo	1.290,263	394,505	3,08	0,10	0,29		9.216,01

Kc: coeficiente de compacidade; IC: índice de circularidade; F: fator de forma; Δh: equidistância das curvas de nível; Ln: comprimento total das curvas de nível.

de médio a alto. Quanto maior o tempo de concentração, menor será a vazão máxima de enchente; isso, se outras características como solo, vegetação, geologia e hidrologia se mantiverem constantes.

### Características do relevo

Conhecer as características do relevo auxilia no entendimento de como a geomorfologia atua na área, além de facilitar o planejamento para o uso e a ocupação do solo (FARINASSO *et al.*, 2006; CHEREM *et al.*, 2018). A Tabela 3 apresenta as características do relevo da BHRDB.

A Dm das sub-bacias varia de 11,76 a 18,37%. Tonello *et al.* (2006) afirmam que a declividade média de uma bacia hidrográfica é relevante no planejamento, tanto para o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio, além de possuir importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo. Torres e Machado (2012) explicam que, quanto menor é a energia do relevo, menor é a velocidade do escoamento hídrico em função da gravidade. E, para determinar a interferência da declividade nessa energia, usa-se a declividade média (Dm ou H). A declividade é um dos fatores utilizados como parâmetro para definir o uso e ocupação do solo, conforme a Lei Federal nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981) ou, ainda, o Código Florestal (Lei 12.651/2012 — BRASIL, 2012) que determina a não ocupação em áreas com declividade superior a 45°, já que são áreas de preservação permanente.

A declividade da BHRDB foi extraída do MDE ASTER reclassificado conforme os perfis de declividade indicados por Oliveira (2007), e então foram calculadas as áreas correspondentes a cada classe de declividade por meio do algoritmo “*r.report*”. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que o perfil de classificação da declividade, conforme descrito em Oliveira (2007), apresenta a maior parte das áreas classificadas como: suave ondulado (8–20% de declividade), com percentual da área de variando de 31,99% (Neves) a 41,02% (Balsas III); e ondulado em 42,13% da área da sub-bacia do Balsas II e 49,19% da área da sub-bacia do Coité. Já as classes de declividade que apresentam menor percentual são montanhoso (45–75%) e escarpado (> 75%), que representam 13,4 e 30,8%, respectivamente, da área total da BHRDB. Nas três maiores classes de declividade encontradas há predominância de relevo plano, suave ondulado e ondulado em 96,73% da área total da BHRDB.

Cardoso *et al.* (2006) afirmam que a declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio, sobretudo em razão do aumento da velocidade

de escoamento superficial e consequente predisposição a processos erosivos. Torres e Machado (2012) ressaltam que comparações entre bacias hidrográficas da mesma região podem demonstrar que as que apresentam valores mais altos serão as bacias com maior vulnerabilidade à erosão por escoamento superficial, justamente em função da declividade. Com relação à altimetria, a altitude máxima é de 493 m e está na sub-bacia do rio Tem Medo. Já a altitude mínima está na sub-bacia Balsas IV, com 131 m. Entre as sub-bacias, a maior amplitude altimétrica é encontrada na do rio Neves, com 475 m de desnível, enquanto a menor está na do rio Coité, com 263 m entre o ponto mais elevado e o exutório.

### Características da rede de drenagem

Avaliar índices da rede de drenagem pode indicar se a área é mais ou menos propensa a sofrer com eventos de estresse hídrico, como secas prolongadas ou cheias rápidas (TEODORO *et al.*, 2007). A Tabela 5 mostra as características da rede de drenagem da BHRDB.

A densidade de drenagem (Dd) refere-se à capacidade da bacia hidrográfica de escoar a água que recebe da precipitação. Valores mais altos indicam a propensão da bacia a apresentar elevado escoamento superficial. Os valores encontrados para as sub-bacias da BHRDB variam entre 0,54 e 0,80 km/km<sup>2</sup>, o que, de acordo com a classificação de Hiruma e Ponçano (1994), são valores anômalos inferiores (Dd < 1,25 km/km<sup>2</sup>). Como não há indicação de os corpos hídricos da base de dados referirem-se a cursos perenes e/ou intermitentes, há a possibilidade de a Dd variar para a faixa mais baixa da classificação na época de estiagens da região, especialmente entre junho e agosto, quando a precipitação chega a 2,3 mm no mês de julho, de acordo com os dados da normal climatológica para a região. A série refere-se os anos entre 1981 e 2010 (INMET, 2018).

Torres e Machado (2012) indicam que a Dd é um reflexo da permeabilidade e da porosidade do solo, e os terrenos sedimentares característicos de rochas areníticas tendem a valores menores, resultado da permeabilidade desse tipo de solo. Os valores baixos podem indicar também propensão à escassez hídrica. Além das características da Dd, outro parâmetro que pode indicar as sub-bacias que terão maior propensão a diminuir a quantidade de água em seus cursos é o Cm, que indica a área mínima necessária para manter o fluxo de água nos rios. No caso das sub-bacias, todas possuem valores acima de 1.000 m<sup>2</sup> para cada metro de escoamento no canal. O Cm representa a área mínima (m<sup>2</sup>) necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento, e a área aumenta

**Tabela 3 - Características do relevo da bacia hidrográfica do Rio das Balsas.**

Relevo	Sub-bacias								
	Balsas I	Balsas II	Balsas III	Balsas IV	Cocal	Coité	Neves	Pequeno	Tem medo
Altitude mínima <sup>1</sup>	318	211	162	131	218	171	177	208	324
Altitude média <sup>1</sup>	479,5	439,5	381,5	330,5	434,5	302,5	414,5	386	493
Altitude máxima <sup>1</sup>	641	668	601	530	651	434	652	564	662
Amplitude altimétrica <sup>1</sup>	323	457	439	399	433	263	475	356	338
Rr	0,1	0,19	0,32	0,15	0,13	0,42	0,26	0,31	0,41
Ir	223,5	332	239	317,8	290,5	170,3	312,6	208	217,4
CR	10,4	13,3	6,4	11,6	9,3	8,36	10,6	7,9	9,2
Dm (%)	15,02	18,4	11,8	14,5	13,9	12,9	16,1	13,5	14,3

<sup>1</sup>Altitudes em metros; Rr: relação do relevo; Ir: coeficiente de rugosidade; CR: coeficiente de rugosidade; Dm: declividade média.

**Tabela 4 - Declividade das sub-bacias.**

Sub-bacia	Classes de Declividade						
	Área e percentual	Plano (< 3%)	Suave ondulado (3-8%)	Ondulado (8-20%)	Forte ondulado (20-45%)	Montanhoso (45-75%)	Escarpado (> 75%)
Balsas I	Área (km <sup>2</sup> )	303,91	1556,0	2013,09	523,83	80,64	6,84
	(%)	6,78	34,7	44,89	11,68	1,8	0,15
Balsas II	Área (km <sup>2</sup> )	203,62	1044,1	1371,5	403,34	165,23	67,95
	(%)	6,25	32,07	42,13	12,39	5,08	2,09
Balsas III	Área (km <sup>2</sup> )	202,04	1024,32	1157,59	109,4	3,55	0,3
	(%)	8,09	41,02	46,36	4,38	0,14	0,01
Balsas IV	Área (km <sup>2</sup> )	216,02	1142,69	1578,07	363,35	43,64	4,88
	(%)	6,45	34,12	47,13	10,85	1,3	0,15
Cocal	Área (km <sup>2</sup> )	339,53	1768,04	2316,17	405,03	31,67	1,51
	(%)	6,98	36,36	47,64	8,33	0,65	0,03
Coité	Área (km <sup>2</sup> )	71,39	370,24	475,93	49,65	0,31	0,05
	(%)	7,38	38,26	49,19	5,13	0,03	0,01
Neves	Área (km <sup>2</sup> )	162,52	873,93	1259,93	353,91	70,14	11,38
	(%)	5,95	31,99	46,12	12,96	2,57	0,42
Pequeno	Área (km <sup>2</sup> )	150,3	747,57	904,82	150,93	16,29	3,45
	(%)	7,62	37,88	45,85	7,65	0,83	0,17
Tem Medo	Área (km <sup>2</sup> )	87,78	454,70	604,36	123,96	12,97	0,73
	(%)	6,83	35,4	47,05	9,65	1,01	0,06

**Tabela 5 - Características da rede de drenagem.**

Sub-bacia	Comp. axial (km)	Comp. do curso d'água principal (km)	Comp. de todos os cursos d'água (km)	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Índice de sinuosidade do rio principal	Coefficiente de manutenção
Balsas I	145,32	200,52	3116,12	0,69	1,30	1,445,27
Balsas II	115,96	182,13	2.371,34	0,73	1,06	1.376,38
Balsas III	64,34	106,06	1.359,57	0,54	1,04	1.836,74
Balsas IV	102,27	126,34	2.677,89	0,80	1,17	1.255,39

Continua...

**Tabela 5 - Continuação.**

Sub-bacia	Comp. axial (km)	Comp. do curso d'água principal (km)	Comp. de todos os cursos d'água (km)	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Índice de sinuosidade do rio principal	Coefficiente de manutenção
Cocal	8730	123,14	3.268,25	0,67	1,18	1.490,36
Coité	59,56	73,90	630,37	0,65	1,20	1.544,33
Neves	108,16	144,65	1.802,73	0,66	1,13	1.519,50
Pequeno	78,42	116	1.152,30	0,58	1,12	1.711,44
Tem medo	66,54	78,71	829,817	0,64	1,03	1.554,88

**Tabela 6 - Solos e classes hidrológicas.**

Grupo Hidrológico - Características (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005)	Tipo de solo	Taxa mínima de infiltração	% de área ocupada
B - Solos profundos (100 a 200 cm); moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância à erosão; porosos, com gradiente textural variando entre 1,2 e 1,5; solos de textura argilosa ou muito argilosa, desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; solos com argila de baixa atividade (Tb), minerais de argila 1:1; a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.	Areias Quartzosas	> 7,62 mm/h	8,95
	Latosolo Amarelo		46,44
	Latosolo Vermelho		2,21
	Neossolo Litótico		23,13
	Nitossolo		0,67
C - Profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 10 cm); solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; gradiente textural maior que 1,5 e comumente apresentam mudança textural abrupta; solos associados à argila de atividade baixa (Tb); a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa, apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.	Argissolo Vermelho-Amarelo	1,27-3,81 mm/h	8,71
D - Taxa de infiltração muito baixa, oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão; rasos (prof. < 50 cm) ou pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; solos argilosos associados à argila ou solos orgânicos.	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	< 1,27 mm/h	2,61
	Cambissolo		6,47
	Plintossolo		0,8

Fonte: adaptado de Santos *et al.* (2013), Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005) e ANA (2018).

à medida que o relevo se torna mais plano. Os valores de Cm para a BHRDB variam de 1.255,39 m<sup>2</sup>/m na sub-bacia do Balsas IV (exutório da BHRDB) até 1.711,44 m<sup>2</sup>/m na sub-bacia do rio Pequeno.

Na BHRDB, o valor de Is para as sub-bacias está próximo de 1, o que, de acordo com Calil *et al.* (2012), indica que os canais tendem a ser retilíneos e possuem menor tempo de concentração, sugerindo o potencial de transporte de sedimentos. Teodoro *et al.* (2007) ressaltam que a ocorrência de chuvas de grande intensidade forma fluxos preferenciais que geram canais preferenciais. No relevo acidentado o escoamento superficial segue a declividade do terreno e escava o solo nos pontos de menor resistência.

### Suscetibilidade à erosão

A metodologia de avaliação do escoamento superficial, CN, depende diretamente do tipo de solo e das características de uso e ocupação. Os solos da BHRDB foram enquadrados em classes, conforme descrito pela ANA (2018). Com base no mapa de solos (Figura 3) e sua respectiva classe hidrológica, foi possível obter os percentuais ocupados por cada uma das classes hidrológicas. Esses dados são mostrados na Tabela 6, que apresenta também as características de cada grupo hidrológico, conforme foram descritas em Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), e as taxas mínimas de infiltração utilizadas para determinar o CN.

Os solos do grupo hidrológico B ocupam 81,41% da BHRDB; já os do grupo C estão em 8,71% e os do grupo D em 9,88% do total da área da bacia. Com base nos dados disponibilizados pela ANA (2018), foi possível mapear a área conforme o CN (escala 1:250.000). Com o recorte para a área da BHRDB e a reclassificação do CN em quatro níveis de suscetibilidade (baixa, moderada, alta e muito alta), obteve-se o mapa de suscetibilidade à erosão (Figura 5).

De acordo com a classificação qualitativa do CN médio para a área, percebe-se que todas as áreas possuem de moderada a muito alta suscetibilidade. Não foram registradas áreas de baixa suscetibilidade, o que demonstra a necessidade de planejamento para o uso e ocupação do solo na área. Para tanto, o conhecimento da extensão de cada uma das áreas é apenas o diagnóstico inicial para auxiliar a tomada de decisão a respeito de como devem ser ocupadas as áreas mais suscetíveis.

Por meio da apresentação qualitativa do CN médio, foi possível determinar as áreas ocupadas por cada uma das classes de suscetibilidade na BHRDB, como mostra a Tabela 7.

Da área total da BHRDB, apenas 25,24% foi classificada como de moderada suscetibilidade à erosão. O maior percentual é da classe alta, que ocupa 70,79% da área. Já as áreas classificadas como de muito alta suscetibilidade representam 3,97% da BHRDB. Essas informações são indicativas relevantes com relação à

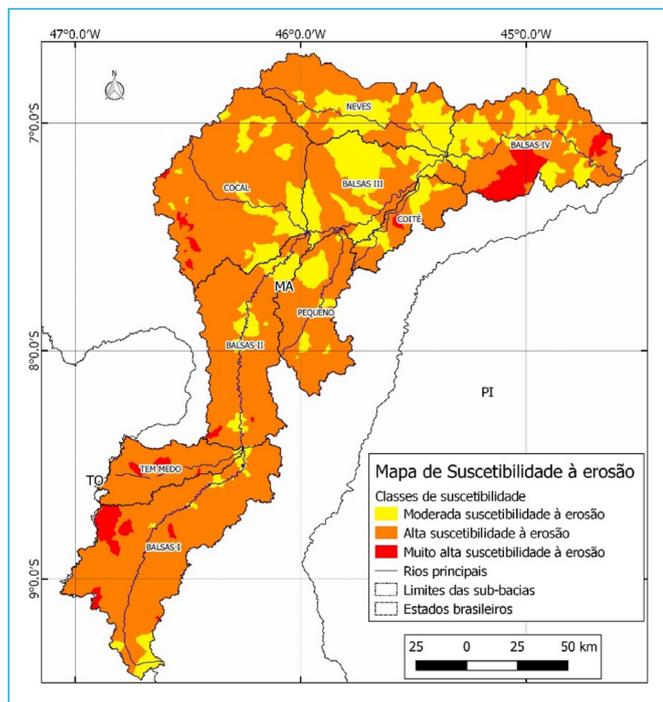


Figura 5 - Mapa de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Rio das Balsas.

Tabela 7 - Suscetibilidade à erosão.

Sub-bacia	Classe de suscetibilidade (% da área)			
	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Balsas I	-	5,38	88,07	6,56
Balsas II	-	12,46	86,72	0,82
Balsas III	-	42,9	57,1	-
Balsas IV	-	27,1	57,51	15,39
Cocal	-	39,17	59,25	1,58
Coité	-	26,07	71,47	2,45
Neves	-	38,65	61,35	-
Pequeno	-	14,37	83,86	1,77
Tem Medo	-	1,29	92,15	6,57
Total	-	25,24	70,79	3,97

necessidade de ações de conservação de políticas públicas que busquem meios de uso e ocupação dos solos que considerem as características físicas e as aptidões e fragilidades da área.

Farinasso *et al.* (2006) avaliaram o potencial de erosão laminar na bacia do alto Parnaíba, que inclui a BHRDB, e relataram que:

Os solos com maior capacidade de sofrer erosão laminar encontram-se na parte sul da área de estudo e correspondem principalmente às areias quartzosas (Neossolos). Em contraposição, as áreas com menor erodibilidade encontram-se em sua maioria nos planaltos e platôs e correspondem aos Nitossolos Vermelho Eutrófico e aos Latossolos (FARINASSO *et al.*, 2006, p. 80).

Na área de estudo, os solos descritos como mais suscetíveis a processos erosivos (Areias Quartzosas e Neossolos) ocupam 32,08% da área, enquanto os menos propensos (Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho e Nitossolos) abrangem 49,32%. Os autores pontuam que a suscetibilidade à erosão está fortemente associada à geomorfologia da região, e os valores de perda de solo estimados apresentam alguns locais com mais de 11 ton/ha/ano.

Mantovani *et al.* (2015) usaram o CN para avaliar o padrão do potencial de escoamento superficial na bacia hidrográfica do córrego Guanandy (MS) e, em suas considerações, apontam a necessidade do levantamento das características e do comportamento do meio físico para o planejamento da conservação do solo. Nesse sentido, Morgan (2009) destaca que o objetivo da conservação do solo deve ser reduzir a erosão, de modo que a ocupação para a produção agrícola, pastoreio ou outra atividade possa ser realizada com o máximo de sustentabilidade, buscando respeitar a tolerância do solo às perdas relacionadas aos processos erosivos que, por serem naturais e não poderem ser evitados, só podem ser minimizados. Santos e Lollo (2016) estimaram o potencial do escoamento superficial utilizando o CN para a bacia hidrográfica do Córrego Caçula, no município de Ilha Solteira (SP), e concluíram que o método mostra resultados favoráveis. Para os autores, o emprego das classes de solo no modelo permitiu inferir possíveis mudanças de uso e suas consequências para o escoamento superficial e consequente erosão. Eles recomendam que a ocupação da área seja realizada conforme a característica física do local para minimizar a erosão e o transporte de sedimentos para os cursos hídricos.

## CONCLUSÕES

O estudo das características morfométricas de bacias hidrográficas pode auxiliar na elaboração de planos de uso e ocupação do solo, de modo que as áreas sejam mais bem aproveitadas de acordo com sua aptidão. Avaliar áreas com relação ao escoamento superficial e sua influência na ocorrência de processos erosivos auxilia no entendimento do aporte de sedimentos aos cursos de água, além de indicar medidas de conservação necessárias que influenciarão diretamente na disponibilidade e na qualidade das águas superficiais. A maioria dos estudos apresenta dados numéricos e/ou muito técnicos que nem sempre são compreensíveis para os gestores públicos, responsáveis pela tomada de decisão com relação à legislação e aos programas de conservação. Por esse motivo, o presente estudo propõe a apresentação qualitativa do mapeamento resultante do CN, buscando o melhor uso dos dados, especialmente com relação às áreas suscetíveis a processos erosivos na BHRDB.

Espera-se que este estudo estimule a realização de outros posteriores sobre o comportamento do solo, em escala que permita maior detalhamento de áreas críticas, além da estimativa de transporte e produção de sedimentos. Com isso, será possível embasar a tomada de decisão dos entes públicos responsáveis por ordenar o uso e ocupação do solo.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Vaz, A. P. M. S.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Metodologia, Validação, Escrita – Primeira Redação; Escrita – Revisão e Edição. Ramos, S. M.: Análise Formal, Escrita – Revisão e Edição. Froehner, S. J.: Supervisão, Validação, Escrita – Revisão e Edição.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *GeoNetwork Opensource*. Agência Nacional de Águas, 2017. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Nota Técnica nº 46/2018/SPR*. Apresenta a metodologia aplicada para a produção da base vetorial com o Curve Number (CN) para a Base Hidrográfica Ottocodificada de 2014, de escala 1:250.000. Agência Nacional de Águas, 2018. Disponível em: [http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=580&fname=NOTA\\_TECNICA\\_46\\_2018\\_SPR.pdf&access=private](http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=580&fname=NOTA_TECNICA_46_2018_SPR.pdf&access=private). Acesso em: 8 fev. 2018.
- ALVES, L.F.B. *Modelagens matemáticas para simulações computacionais de impacto ambiental no Rio Balsas*. 60f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/307283>. Acesso em: 5 fev. 2018.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do arroio Boa Vista-Guaramiranga (PR). *Caminhos de Geografia*, v. 8, n. 21, 2007.
- ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. *Gestão ambiental de áreas degradadas*. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- BANDEIRA, I.C.N. (org.). *Geodiversidade do estado do Maranhão*. Teresina: CPRM, 2013.
- BARRETO, L. *et al.* Exploring effective conservation networks based on multi-scale planning unit analysis. A case study of the Balsas sub-basin, Maranhão State, Brazil. *Ecological Indicators*, v. 10, n. 5, p. 1055-1063, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.03.001>
- BRASIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasil, 1981.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial da União*, 2012.
- CALIL, P.M. *et al.* Caracterização geomorfológica e uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 433-442, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400014>
- CARDOSO, C.A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>.
- CARVALHO, R.G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.
- CHEREM, L.F.S. *et al.* Controle Litoestrutural Na morfologia holocênica de planície e canal no alto curso do Rio Meia Ponte (Goiás). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 4, p. 837-847, 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1456>
- CORREIA FILHO, F.L.; GOMES, E.R.; NUNES, O.O. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de São Raimundo das Mangabeiras*. CPRM, 2011.
- DANTAS, M.E. *et al.* Compartimentação geomorfológica. In: BANDEIRA, I.C.N. (org.). *Geodiversidade do estado do Maranhão*. Teresina: CPRM, 2013. p. 31-62.
- FARINASSO, M. *et al.* Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.80>
- FERRARI, J.L. *et al.* Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 8, n. 2, p. 181-188, 2013. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119027922016>. Acesso em: 18 jan. 2018.
- Freitas, M.I. *et al.* Caracterização das águas do Rio Balsas. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2000.
- GRASS DEVELOPMENT TEAM. *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2*. Open Source Geospatial Foundation, 2017. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>. Acesso em: 9 jan. 2017.
- HIRUMA, S.T.; PONÇANO, W.L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. *Revista do Instituto Geológico*, v. 15, n. 1-2, p. 49-57, 1994. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.19940005>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades*. IBGE, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 mar. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010*. INMET, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- MANTOVANI, J.R.A. *et al.* Análise do comportamento do escoamento superficial através do método *curve number* na bacia hidrográfica do córrego Guanandy-MS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015. Anais [...]. João Pessoa, 2015. p. 5590-5597.
- MARTINS, S.V. *Recuperação de áreas degradadas: como recuperar áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e áreas de mineração*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013.
- MONTES, M.L. *et al.* *Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão: diretrizes gerais para a ordenação territorial*. Salvador: Ministério de Planejamento, Orçamento e Coordenação/IBGE, 1997.
- MORGAN, R.P.C. *Soil erosion and conservation*. Oxford: John Wiley & Sons, 2009.
- OLIVEIRA, P.T.S. *et al.* Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.8, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662010000800005&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000800005&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 3 nov. 2018. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800005>
- OLIVEIRA, V.A. *Manual técnico de pedologia*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

- QGIS DEVELOPMENT TEAM. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation, 2017. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 9 jan. 2017.
- SANTOS, F.M.; LOLLO, J.A. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 663-675, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016130053>
- SANTOS, H.G. *et al.* *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa, 2013.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>
- SOARES, M.R.G.D.J. *et al.* Eficiência do método *curve number* de retenção de águas pluviais. *Mercator*, Fortaleza, v. 16, e16001, 2017. <https://doi.org/10.4215/rm2017e16001>
- TEODORO, V. *et al.* O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007v11i1.236>
- Tonello, K.C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. *Revista Árvore*, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>
- TORRES, F.T.P.; MACHADO, P.J.O. *Introdução à hidrogeografia*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015. 943 p.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Hydrology Training Series. *Module 103 - Runoff Concepts Study Guide*. USDA, 1989. Disponível em <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/quality/?cid=stelprdb1044570>. Acesso em: 2 abr. 2019.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Earth Explorer. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: fev. 2017.

