

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION AND HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF THE RIO PARDO HYDROGRAPHIC BASIN

¹ Getúlio Fonseca Domingues

² Rodolfo Alves Barbosa

³ Caio César Silva Alvarenga Corrêa

⁴ Claudinei Martins Guimarães

⁵ Lucas Jesus da Silveira

⁶ Herly Carlos Teixeira Dias

¹Instituto da Mata Atlântica. E-mail: getulio.floresta@gmail.com

²Universidade Federal de Viçosa. E-mail: rodolfo.barbosa@ufv.br

³Universidade Federal de Viçosa. Email: caio_ufv@yahoo.com.br

⁴Universidade Estadual Norte Fluminense. neuifv@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Viçosa. Email: lucas.jesus@ufv.br

⁶Universidade Federal de Viçosa. Email: herlycarlostdias@gmail.com

Artigo submetido em 31/05/2019, aceito em 05/02/2020 e publicado em 28/08/2020.

Resumo: A morfometria das bacias hidrográficas representa quantitativamente fatores determinantes no comportamento do escoamento superficial, vazões e seus tempos de concentração. O conhecimento dos fatores que influenciam a hidrologia da região fundamenta o planejamento e a gestão dos recursos hídricos e subsidia as ações mitigadoras de diversos problemas frequentemente observados como a escassez hídrica, chuvas concentradas e inundações. Este trabalho visa interpretar a morfometria da bacia do Rio Pardo, gerando informações para o auxílio e apoio das atividades de manejo, por intermédio da caracterização morfométrica e associação dos parâmetros ao comportamento hidrológico na região, utilizando dados da estação fluviométrica e sistema de informações geográficas (SIG). Os parâmetros morfométricos analisados neste estudo contemplam aqueles referentes à caracterização da conformação da bacia hidrográfica, da topografia e da rede de drenagem. As vazões do rio Pardo analisadas referem-se ao período de 1954 a 2011, por meio do estudo das vazões máximas, média de longa duração, específica e de permanência (Q95, Q90, Q7,10). A bacia de contribuição do Rio Pardo possui área de 433,65 km², fator de forma com valor 0,97, formato ovalado e montanhoso, com elevada amplitude altimétrica de 901 m, características que favorecem a ocorrência de inundações na bacia. Além disso, a proximidade da Serra do Caparaó e sua influência orográfica aumentam os riscos de períodos mais chuvosos e intensos, ocasionando vazões máximas elevadas, 108,06 m³s⁻¹, e aumentando o risco de inundações.

Palavras-chave: Análise morfométrica; bacias hidrográficas; hidrologia.

Abstract: The morphometry of the watersheds represents quantitatively determinant factors in the runoff behavior, flow rates and concentration times. Knowing the factors that influence the hydrology

of the region underpins the planning and management of water resources and supports the mitigating actions of several frequently observed problems such as water scarcity, concentrated rainfall, and flooding. This paper aims to interpret the morphology of the Rio Pardo basin, generating information to aid and support management activities through morphometric characterization and association of parameters with hydrological behavior in the region, using data from the river station and geographic information system (GIS). The morphometric parameters analyzed in this study include those referring to the characterization of the watershed conformation, topography, and drainage network. The flows of the Pardo River were analyzed between 1954 and 2011 through the study of the maximum, long-term, specific and permanence maximum flows (Q95, Q90, Q7,10). The Rio Pardo's contribution basin has an area of 433.65 km², a form factor with a value of 0.97, oval and mountainous shape, with a high altitude of 901 m, characteristics that favor the occurrence of flooding in the basin. Besides that, the proximity to Serra do Caparaó and its orographic influence increases the risks of rainier and more intense periods, causing high maximum flows, 108.06 m³s⁻¹, and increasing the risk of flooding.

Keywords: Morphometric analysis, hydrographic basins, hydrology.

1 INTRODUÇÃO

A morfometria é uma ferramenta precisa na compreensão das características geomorfológicas e hidrológicas de bacias hidrográficas (ANGILLIERI, 2012; KABITE e GESSESSE, 2018; TEWARI; MISRA; SHARMA, 2019), compreendendo medições e análises matemáticas simples que clareiam as investigações acerca da drenagem, formação do relevo, das características da erosão e do escoamento superficial, por exemplo (ADINARAYANA; KRISHNA; RAO., 1995; AMERI; POURGHASEMI; CERDA, 2018). Esses comportamentos hidrológicos correlacionam com o tamanho, a forma e declividade da bacia, com a rede de drenagem, o tamanho e comprimento dos tributários, dentre outros (MAGESH; CHANDRASEKAR; KALIRAJ, 2012).

As informações quantitativas acerca das características físicas da bacia hidrográfica auxiliam na gestão e implantação de medidas de conservação de água (WENZEL *et al.*, 2017; CHOUDHARI *et al.*, 2018; JAVARAYIGOWA; BASAVARAJU; JAYARAM, 2018).

O sensoriamento remoto (SR) e sistema de informações geográficas (SIG), com o avanço da tecnologia, têm sido amplamente utilizados na morfometria para selecionar bacias prioritárias ao manejo, avaliar características hidrológicas,

geológicas e topográficas, adotar medidas de conservação dos recursos ambientais, dentre outros (ASFAW e WORKINEH, 2019; NITHESHNIRMAL *et al.*, 2019; VENKATESH e ANSHUMALI, 2019), uma vez que fornecem flexibilidade e precisão na determinação, interpretação e análise das informações geoespaciais (KUMAR *et al.*, 2018).

Dessa forma, estudos morfométricos são fundamentais na caracterização de bacias hidrográficas, na elaboração de modelos e estudos de vazão, bem como na determinação de suas limitações e potencialidades quanto ao uso da terra, buscando favorecer o planejamento adequado das atividades no local (ABDUKKAREEM *et al.*, 2018; MORJADIN *et al.*, 2018; ASFAW e WORKINEH, 2019).

Somando a questão climatológica às características geomorfológicas, a bacia hidrográfica do Rio Pardo, objeto do presente estudo, localizada próxima à região do Caparaó, sofre influência da orografia, fenômeno que provoca o aumento na frequência das precipitações quando as gotas das nuvens preexistentes lavam as gotículas das nuvens formadas pela subida de frente de ar pela serra (NIMER, 1972; EGGER e HOINKA, 1992; JUNQUAS *et al.*, 2016).

Este trabalho visa interpretar a morfometria da bacia do Rio Pardo, gerando informações para o auxílio e apoio das atividades de manejo, por meio da caracterização morfométrica e da associação dos parâmetros ao comportamento hidrológico na região, utilizando dados da estação fluviométrica e do sistema de informações geográficas (SIG).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado na região de cabeceira da bacia hidrográfica do Rio Pardo, a montante da estação fluviométrica Iúna, que registra a vazão ocorrente no rio ($20^{\circ}21'08''$ S, $41^{\circ}31'58''$ W). A área de contribuição da bacia do Rio Pardo do presente estudo está localizada nos estados do Espírito Santo (ES) e de Minas Gerais (MG), Região Sudeste do Brasil, abrangendo os municípios de Irupi, Iúna e Ibatiba, no ES e uma pequena parte, 7,13% no município de Lajinha, em MG (Figura 1).

A vazão média de longa duração é de $7,65 \text{ m}^3/\text{s}$ e seu comprimento total é de 55 km, desde sua nascente até sua foz, localizada no município de Muniz Freire (ES), desaguando no rio Norte. Os principais afluentes do rio Pardo são: Ribeirão São José, Ribeirão São José do Sauí, Ribeirão Vista Alegre, córrego da Neblina e córrego do Perdido.

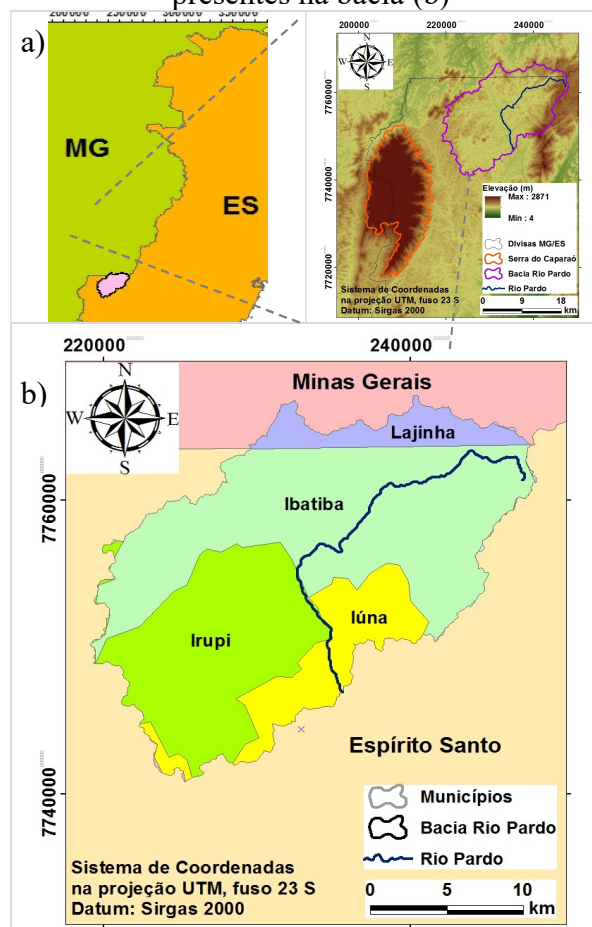
A bacia hidrográfica do Pardo margeia o Parque Nacional do Caparaó a oeste, uma importante área de preservação do bioma Mata Atlântica é um importante divisor de bacias, onde as nascentes contribuem para o rio Itabapoana, rio Doce e rio Itapemirim, abrangendo os estados do Rio de Janeiro (RJ), MG e ES (FERREIRA *et al.*, 2015).

Segundo a classificação de Köppen (1918), o clima da região é classificado como Cwb, tendo clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado; a

precipitação média é de $1.334 \text{ mm ano}^{-1}$, apresentando 85% do total precipitado no período de outubro a abril (ALVARES *et al.*, 2013) (Figura 2).

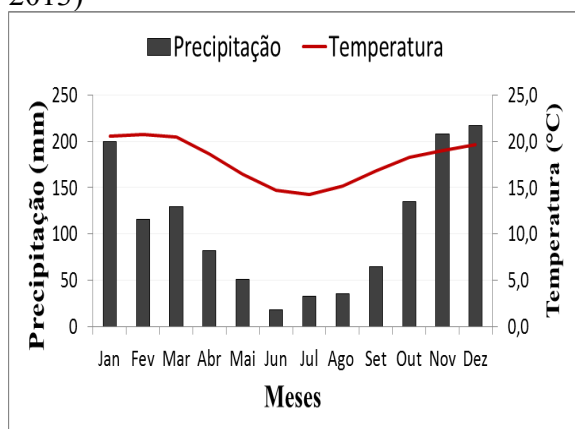
Foi adquirido um mosaico Aster/DEM com 30 m de resolução espacial <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Depressões espúrias que podem interromper o fluxo e demais processos para a delimitação das sub-bacias, extração da rede hidrográfica e reprojeção foi realizada em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), no software ArcGIS 10.2.2. Foi utilizada a extensão Spatial Analyst Tools. Com a delimitação da bacia, foram analisadas as características morfométricas, divididas em três categorias: geométricos, de rede de drenagem e de relevo.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Pardo, próxima ao Parque Nacional do Caparaó (a), divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e municípios presentes na bacia (b)



Fonte: Os autores

Figura 2: Distribuição temporal da precipitação média e da temperatura média para o município de Iúna (ALVARES *et al.*, 2013)



Fonte: Adaptado de Alvares et al., 2013

Os dados fluviométricos da estação Iúna foram extraídos do Sistema de Informações Hidrológicas HIDROWEB (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>), disponível pela Agência Nacional de Águas (ANA), e suas especificações estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Metadados da estação Fluviométrica IÚNA fornecido pela ANA

Código	57360000
Nome	IÚNA
Bacia	Atlântico, Trecho Leste (S)
Sub-bacia	Rio Itapemirim, Itabopoana E.(57)
Rio	Rio Pardo
Estado	Espírito Santo
Município	Iúna
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	- 20°21' 08"
Longitude	- 41° 31' 58"

Fonte: Hidroweb

A partir da delimitação da bacia, foi realizada a caracterização morfométrica, dividida em três categorias: Parâmetros geométricos, parâmetros da rede de drenagem, e parâmetros de relevo (Tabela 1).

Análise de Vazões

Vazão específica (q) - É caracterizada pela relação entre a vazão média de longo prazo e a área de contribuição da estação de estudo. Esse parâmetro representa a capacidade que há na bacia em produzir escoamento superficial, além de ser utilizado como elemento de comparação entre bacias.

$$q = \frac{\bar{Q}_{LD}}{A} \quad \text{equação 1}$$

Em que:

q – vazão específica ($m^3 s^{-1} km^{-2}$)

\bar{Q}_{LD} – vazão média de longa duração ($m^3 s^{-1}$)

A – Área da Bacia Hidrográfica (km^2)

Fonte: Tucci, 2001

Vazões Máxima, Média de longa duração e Mínimas.

O banco de dados da série histórica de vazões (1953 – 2011) para a estação Iúna (Iúna - ES) foi obtido do Sistema de Informações Hidrológicas HIDROWEB, disponível no site da Agência Nacional de Águas ANA e, utilizando o programa computacional SisCAH 1.0, foi possível a determinação das vazões máximas para cada ano de toda a série de dados obtidos (Tabela 2).

A $Q_{7,10}$ é a vazão mínima com sete dias de duração, associada a um período de retorno de 10 anos. Contudo, no presente estudo foi determinada a Q_7 de todo o banco de dados obtido no HIDROWEB, e realizado procedimentos relacionando o período de retorno desejado e a frequência.

Primeiro foram selecionadas as Q_7 de cada ano da série histórica, utilizando o SisCAH 1.0. Posteriormente, foi determinada a Q_7 associada a um período de retorno de dez anos pelo método da análise de frequência. Essa metodologia baseia-se na relação existente entre o período de retorno e a frequência.

$$T = \frac{1}{F}; F = \frac{m}{n+1}; T = \frac{n+1}{m} \quad \text{equação 2}$$

Em que:

T – Período de retorno (anos)

F – Frequência

n – número de termos (número de anos da série)

m – posição da vazão na série ordenada

Fonte: Tucci, 2001

Para obtenção da Q7,10 pelo método da análise de frequência, inicialmente os valores das Q7 anuais são colocados em ordem crescente. Em seguida, obtêm-se o valor da posição (m) para a série ordenada, de acordo com a equação 2. A Q7,10 é então definida pela Q7, ocupante da posição m na série ordenada.

As vazões Q90 e Q95 foram obtidas por meio da curva de permanência, utilizando o software SisCAH 1.0, e também, pelo uso do software Excel®. Essa curva é o resultado da plotagem de toda a série de vazões, em ordem decrescente, no eixo das abscissas e a frequência acumulada das vazões, no eixo das ordenadas.

A vazão média de longa duração é obtida por meio da média aritmética de todas as vazões diárias da série histórica.

Tabela 1: Parâmetros morfométricos analisados na bacia do Rio Pardo, Sudeste

	Parâmetros morfométricos	Métodos	Referências
Geométricos	Comprimento do eixo (Lb) (Km)		Horton (1945)
	Perímetro (P) (Km)	#	#
	Área (A) (Km ²)	#	#
	Fator de forma (Ff)	$Ff = A / Lb^2$	Horton (1932)
	Índice de circularidade (Rc)	$Rc = 4\pi A / P^2$	Miller (1953)
	Coefficiente de compacidade (Cc)	$Cc = P / 2(\pi A)^{0,5}$	Grevelius (1941)
Rede de Drenagem	Ordem dos canais (U)	Ordem hierárquica	Strahler (1964)
	Número de canais (Nu)	$Nu = N1 + N2 + \dots + Nn$	Horton (1945)
	Comprimento dos canais (Lu) (Km)	$Lu = L1 + L2 + \dots + Ln$	Horton (1945)
	Razão de bifurcação (Rb)	$Rb = Nu / Nu + 1$	Horton (1945)
	Razão de bifurcação média (Rbm)	$Rbm = \sum Rb / n$	Schumm (1956)
	Frequência dos canais (Fs)	$Fs = Nu / A$	Horton (1945)
	Densidade de drenagem (Dd) (km/km ²)	$Dd = Lu / A$	Horton (1932)
Relevo	Elevação na foz (emin) (m)	#	#
	Elevação máxima (emax) (m)	#	#
	Amplitude altimétrica (H)	$H = emax - emin$	Strahler (1952)
	Orientação	Face de apresentação da foz a uma das direções cardiais	Tonello (2006)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características morfométricas do Rio Pardo foram avaliadas e divididas quanto aos parâmetros geométricos, da rede de drenagem e das características do relevo (Tabela 2).

A bacia do Rio Pardo possui área de 433,65 km² e perímetro de 117,44 km até a foz, montante a estação fluviométrica. A área da bacia está diretamente relacionada com a produção hídrica e o tempo de

concentração da água de vazão (FARIAS *et al.*, 2015).

Tabela 2: Parâmetros morfométricos analisados na bacia do Rio Pardo, Sudeste

Parâmetros morfométricos	Resultados
Geometria	
Comprimento do eixo (Lb)	21,06 km
Perímetro (P)	117,44 km
Área (A)	433,65 km ²
Fator de forma (Ff)	0,97
Índice de circularidade (Rc)	0,39
Coefficiente de compacidade (Cc)	1,57
Rede de Drenagem	
Ordem dos canais (U)	5 ^a
Comprimento dos canais (Lu)	1189,44 km
Razão de bifurcação média (Rbm)	3,46
Densidade de drenagem (Dd)	2,74 km/km ²
Relevo	
Elevação na foz (emin)	640 m
Elevação máxima (emax)	1541 m
Amplitude altimétrica (H)	901 m
Orientação	Sudoeste

O fator de forma (Ff) relaciona a forma da bacia com a de um quadrado, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, da foz ao ponto mais longínquo do espigão, com a área de um quadrado, onde o valor se aproximando da unidade indica uma bacia de formato mais uniforme e quanto mais distante desse valor indica uma bacia de formato mais alongado (HORTON, 1932).

O Ff foi 0,97, indicando uma bacia mais concêntrica, comparativamente, bacias de fator de forma de maior valor têm maiores chances de sofrerem inundações (menor tempo de concentração) do que bacias de fator de forma menor (ALI *et al.*, 2017). Almeida *et al.*, (2017) verificaram valores distintos para o fator de forma na bacia do Rio Sapucaí-MG, onde a bacia, com forma mais próxima de um quadrado, apresentou fator de forma 0,80, sendo considerada prioritária para práticas de

manejo, devido ao menor tempo de concentração da vazão.

O índice de circularidade (Rc) para a bacia do Rio Pardo foi de 0,39. Este parâmetro compara a área da bacia a de um círculo de igual perímetro e os valores próximos a unidade sugere um formato circular (MILLER, 1953). Entretanto, o Rc da bacia do Rio Pardo apresentou valor distante da unidade, indicando menor suscetibilidade para menor tempo de concentração da vazão. Farias *et al.*, observaram baixos valores de índice de circularidade para a bacia do Arroio Candiota, RS, onde em 26 sub-bacias apresentaram variação de 0,35 a 0,80, sendo os valores mais elevados mais frequentes nas menores.

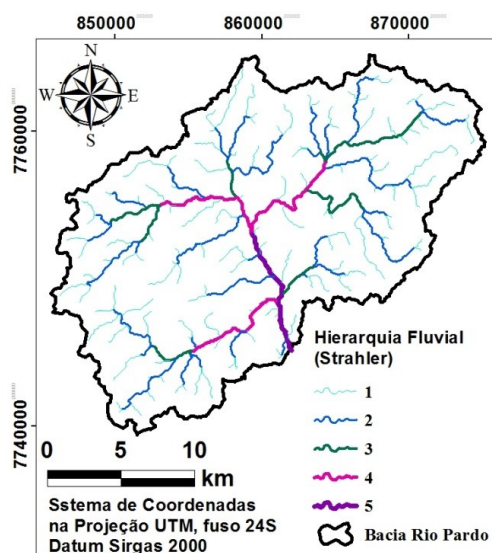
O coeficiente de compacidade (Cc) foi 1,55. Valores de Cc próximos a unidade indicam que a bacia apresenta forma compacta, enquanto valores mais distantes e maiores indicam forma menos compacta. Isso ocorre porque o parâmetro compara o perímetro da bacia com o de um círculo de área igual (GREVELIUS, 1941). Coeficiente de compacidade igual a 1,36 foi verificado na bacia do Ribeirão Descalvado, indicando uma bacia ovalada (CAMPOS *et al.*, 2015).

A bacia do Rio Pardo possui elevado Ff, e se esse parâmetro fosse analisado de forma isolada, seria inferido a essa bacia um formato concentrado próximo ao de um quadrado. Entretanto, analisando integralmente os parâmetros geométricos, a bacia apresenta formato ovalado. A forma oblonga/ovalada foi conferida à bacia do Córrego Ipaneminha de Baixo que apresentou coeficiente de compacidade igual a 1,25, índice de circularidade igual a 0,63 e fator de forma igual a 0,34 (LEAL e TONELLO, 2016).

Informações acerca do estágio do ciclo de erosão e da capacidade do deflúvio da bacia hidrográfica podem ser apontados pelos parâmetros da rede de drenagem (JAVARAYIGOWDA; BASAVARAJU; JAYARAM, 2018). A bacia do Rio Pardo,

na estação fluviométrica Iúna, possui 5ª ordem (Figura 3). A ordem da bacia aponta o grau de ramificação ou bifurcação dentro da bacia, onde os canais primários (nascentes) são denominados de 1º ordem, a junção de dois canais primários forma um de 2º ordem e assim por diante, exceto quando ocorre a junção de um canal de ordem inferior a outro de ordem superior, mantendo esta maior ordem (STRAHLER, 1957). A bacia do presente, dada sua 5ª ordem, é indicada como sendo uma bacia de tamanho médio, intermediária (CALIJURI e BUBEL, 2006).

Figura 3: Hierarquia fluvial (STRAHLER, 1964), da bacia de contribuição do Rio Pardo, Sudeste



Fonte: Os autores

A razão de bifurcação média (Rbm) para a bacia do Rio Pardo foi 3,46, indicando que em média são necessários 3,46 canais de uma ordem para formar um canal de ordem superior (Tabela 3). A Rbm sinaliza o grau de permeabilidade da bacia e a susceptibilidade à erosão, em que altos valores do parâmetro revelam vazão de pico prematura com potencial inundação, encaminhando para alta degradação do solo (HOWARD, 1990). Ameri; Pourghasemi; Cerda (2018) estudaram 36 sub-bacias da Bacia de Ghaemshahr (Iran) e comparam os

valores da Rbm. A sub-bacia 1 apresentou a menor Rbm igual a 3,13, enquanto a sub-bacia 30 apresentou a maior Rbm igual a 24,40, indicando alta susceptibilidade à erosão nesta última.

Tabela 3: Aspectos da rede de drenagem da bacia de contribuição do Rio Pardo, Sudeste

Hierarquia (Strahler, 1964)	Número de Canais	Razão de Bifurcação	Razão de Bifurcação média
1º ordem	134	-	
2º ordem	32	4,18	
3º ordem	8	4	3,46
4º ordem	3	2,66	
5º ordem	1	3	

Fonte: Os autores

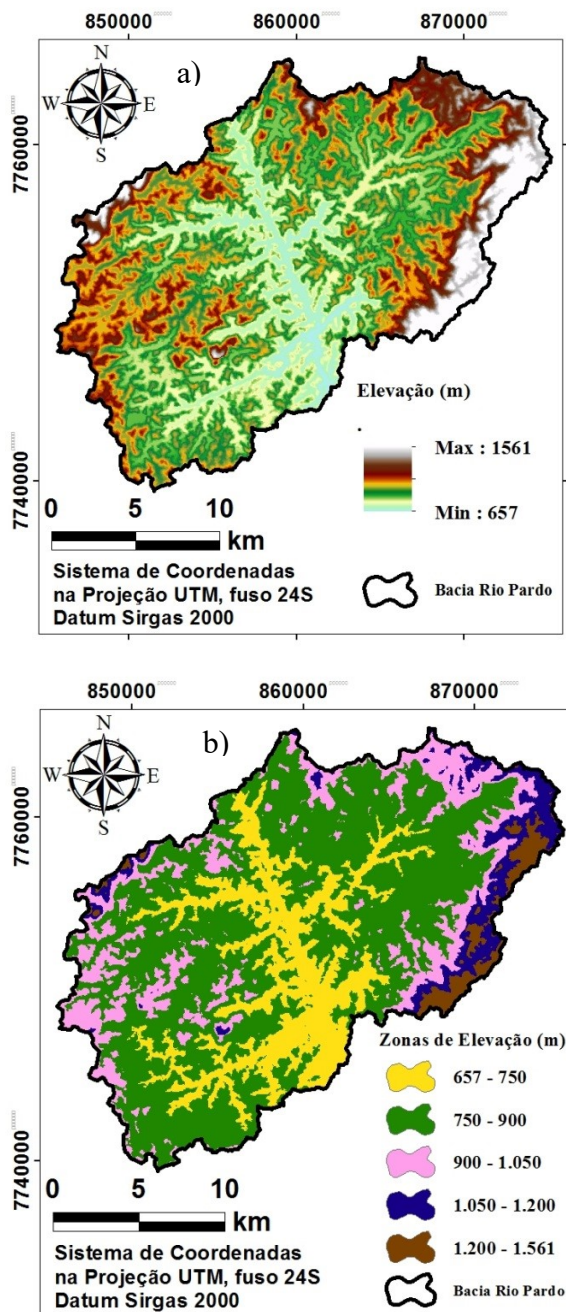
A densidade de drenagem (Dd), proposta por Horton (1932) correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem foi 2,74 km/km², valor elevado, indicando uma bacia bem drenada e ramificada. A densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km² para bacia de baixa drenagem, a 3,5 km/km² ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILELLA, MATTOS, 1975). Abdulkareem *et al.*, (2018) verificaram baixos valores para densidade de drenagem 0,07-0,24 para o Rio Kelantan, indicando elevada capacidade de permeabilidade da bacia.

A amplitude altimétrica (H) foi de 901 m na bacia do Rio Pardo (Figura 4). Existe uma correlação positiva entre a dimensão das bacias e a presença de maiores amplitudes altimétricas através do cálculo de análise de componentes principais com base em uma matriz de correlação (FARIAS *et al.*, 2015).

A bacia do Rio Pardo possui orientação sudoeste. A orientação da bacia interfere na produção de água, pois influencia na exposição solar na bacia, sendo que as bacias orientadas sentido sul e leste conservam mais umidade que aquelas

orientadas para norte e oeste, apresentando maior evapotranspiração no Hemisfério Sul (TONELLO *et al.*, 2006; LEAL e TONELLO, 2016).

Figura 4: Representação do relevo (a) e das zonas de elevação (b) da bacia de contribuição do Rio Pardo, Sudeste



Fonte: Os autores

A forma, assim como o uso do solo e a distribuição temporal das chuvas vão influenciar o regime de vazão da bacia. As tabelas 4 e 5 apresentam valores de vazões

obtidas pelo software SisCAH para a bacia de contribuição da estação Iúna.

A maior estiagem registrada foi em 1995/1996, onde foi registrado $Q_7 = 0,63$ l/s e a vazão máxima registrada foi em 2009, com vazão de 108,06 m/s (Tabela 5). A última enchente de grandes proporções na cidade foi registrada em 2009 (PORTAL TERRA, 2009). A região é uma das mais chuvosas do estado (ULIANA *et al.*, 2013; REGOTO *et al.*, 2018). Regoto *et al.*, (2018) avaliaram maior ocorrência de chuvas na região serrana do ES, como a região do Caparaó, com 1890 mm de valor máximo precipitado registrado.

No período da série histórica (1953-2011) de 58 anos e desconsiderando quatro anos com falhas (1979/1980; 1980/1981; 1990/1991; 1993/1994), têm-se $n = 54$. Dessa forma, o valor de m obtido foi igual a 6 (equação 2). Portanto, pela análise de frequência, a sexta posição na série ordenada crescentemente de valores das Q_7 anuais corresponde a $1,95$ m³ s⁻¹ (Tabela 4).

Regoto *et al.* (2018) observaram maior ocorrência de chuvas na Serra do Caparaó, atribuindo a passagem de sistemas transientes pela região, que favorece a ocorrência da precipitação, sendo mais intensas à leste da serra, pois o ar que segue em direção à montanha (barlavento) é forçado a subir e sofre condensação, podendo provocar chuvas.

Existe grande variação na vazão durante o período observado, sendo as características morfométricas fatores de grande importância nesse comportamento da água na bacia. O terreno montanhoso, elevada drenagem e o formato ovalado favorecem essa variação, pois essas características possibilitam a perda de água mais rápida da bacia, oportunizam o escoamento superficial e, conseqüentemente, reduzem o tempo de concentração da vazão.

Tabela 4 Vazões mínimas médias (Q7) e máximas obtidas pelo SisCAH para cada ano hidrológico para o Rio Pardo, Sudeste

Ano Hidrológico	Q ₇ m ³ /s	Dias válidos	Q máximas	Dias válidos
1953/1954	2,41	365	28,24	365
1954/1955	1,29	365	19,79	365
1955/1956	1,29	366	13,21	366
1956/1957	1,29	365	83,26	365
1957/1958	2,77	365	30,7	365
1958/1959	2,44	365	22,07	365
1959/1960	2,40	351	65,46	351
1960/1961	3,00	365	53,79	365
1961/1962	2,26	365	19,89	365
1962/1963	2,23	365	69,1	365
1963/1964	2,14	366	26,23	366
1964/1965	2,67	365	21,8	365
1965/1966	3,07	365	53,36	365
1966/1967	2,80	365	24,38	365
1967/1968	2,96	366	58,86	366
1968/1969	2,79	365	21,19	365
1969/1970	2,74	365	49,48	365
1970/1971	3,64	363	43,74	363
1971/1972	3,47	366	42,39	366
1972/1973	3,97	365	55,49	365
1973/1974	3,67	365	30,7	365
1974/1975	2,96	365	30,7	365
1975/1976	1,51	366	59,27	366
1976/1977	2,73	350	44,64	350
1977/1978	3,20	365	23,3	365
1978/1979	3,14	335	62,18	335
1981/1982	3,78	365	80,37	365
1982/1983	3,16	365	40,48	365
1983/1984	3,79	366	41,31	366
1984/1985	3,63	365	70,16	365
1985/1986	2,74	365	31,56	365
1986/1987	3,04	365	43,93	365
1987/1988	2,65	315	94,84	315
1988/1989	2,65	361	19,7	361
1989/1990	3,00	337	45,75	337
1991/1992	8,87	294	52,09	294
1992/1993	4,80	365	62,34	365
1994/1995	1,95	331	10,58	331
1995/1996	0,63	366	14,49	366
1996/1997	4,20	365	97,05	365
1997/1998	3,68	365	36,35	365
1998/1999	3,16	365	59,69	365
1999/2000	3,24	366	41,53	366
2000/2001	2,07	365	51,93	365
2001/2002	2,35	365	44,47	365
2002/2003	2,54	365	99,66	365
2003/2004	2,35	366	57,63	366
2004/2005	3,09	365	50,82	365
2005/2006	3,12	365	55,32	365
2006/2007	3,41	365	56,9	365
2007/2008	2,52	366	41,13	366
2008/2009	2,18	365	71,76	365
2009/2010	3,02	365	108,06	365
2010/2011	3,00	365	103,82	365

Fonte: Os autores

As vazões Q₉₀ e Q₉₅ representam, respectivamente, as vazões mínimas que possuem 90 ou 95% de permanência no tempo. Isso significa que, em 90 ou 95% do tempo, passa pelo rio uma vazão maior ou igual a essas. A bacia de contribuição do Rio Pardo apresentou valores de 2,54 m³ s⁻¹ e 3,02 m³ s⁻¹ para Q₉₅ e Q₉₀ respectivamente (Tabela 5). O conhecimento das vazões máxima, mínima e média de longa duração permite avaliar a disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica e, assim, realizar diversos estudos – a exemplo: enchentes, obras hidráulicas, abastecimento urbano, irrigação, dentre outros. Tian *et al.* (2019) verificaram que o Q₉₀ aumentou durante o período de avaliação, indicando sucesso nas medidas de conservação do solo e água para a bacia do Rio Wuding (China).

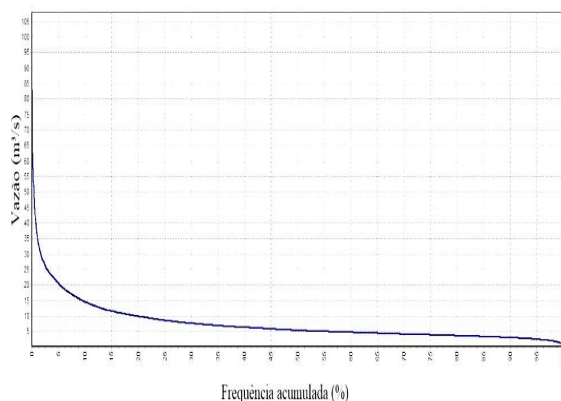
Tabela 5: Vazões obtidas pelo software SisCAH para a estação fluviométrica Iúna, bacia do Rio Pardo, Sudeste

Característica (Vazão)	Magnitude	Unidade
Q ₉₅	2,54	m ³ s ⁻¹
Q ₉₀	3,02	m ³ s ⁻¹
Q _{7,10}	1,95	m ³ s ⁻¹
Vazão Máxima	108,06	m ³ s ⁻¹
Vazão Média Longa Duração	7,63792	m ³ s ⁻¹
Vazão específica	0,01746	m ³ s ⁻¹ km ⁻²

Fonte: Os autores

A curva de permanência é um método muito utilizado em estudos hidrológicos. Ela descreve a frequência de ocorrências das vazões em um determinado curso d'água, mostrando a porcentagem de tempo que um valor de vazão é igualado ou superado durante um período de observações contido na série histórica disponível. Abaixo, na figura 5, é apresentada a curva de permanência da série histórica estudada.

Figura 5: Curva de permanência obtida no SisCAH



Fonte: Os autores

Uma limitação do uso da curva de permanência para avaliação da disponibilidade hídrica é a dependência da análise ao período disponível de dados. Portanto, para utilizar essa metodologia o ideal seria que a série histórica de dados fosse igual ou superior a vida útil do projeto.

CONCLUSÕES

As características geométricas da bacia do Rio Pardo, analisadas em conjunto, permitem indicar um formato ovalado.

As características da rede de drenagem conferem à bacia do Rio Pardo um tamanho médio, apresentando baixa susceptibilidade à erosão, boa drenagem e bem ramificada.

As características do relevo indicam menor tempo de concentração de vazão para a bacia do Rio Pardo, devido à elevada amplitude altimétrica conferida pela sua extensão e localização, próxima à Serra do Caparaó, e um potencial intermediário na produção de água, em função da sua orientação.

O efeito da orografia pode ser observado pela ampla variação temporal de vazão, apresentando $Q_{max} = 108,06 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $Q_{95} = 2,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na estação Iúna. No entanto, medidas de conservação do solo e água são sugeridas para aumentarem a vazão e aumentarem o tempo de

concentração de vazão, após eventos de precipitação, reduzindo os riscos de inundação.

AGRADECIMENTOS

À Capes pelo financiamento e ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, J. H.; PRADHAN, B.; SULAIMAN, W. N. A.; JAMIL, N. R. Quantification of runoff as influenced by morphometric characteristics in a rural complex catchment. **Earth Systems and Environment**, v. 2, n. 1, 2018, pp. 145-162. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.028> Acesso em: 10 ago. 2019.

ADINARAYANA, J.; KRISHNA, N. R.; RAO, K. G. An integrated approach for prioritisation of watersheds. **Journal of Environmental Management**, v. 44, n. 4, 1995, pp. 375-384. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(95\)90374-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(95)90374-7) Acesso em: 05 ago. 2019.

ALI, K.; BAJRACHARYA, R. M.; SITAULA, B. K.; RAUT, N.; KOIRALA, H. L. Morphometric analysis of Gilgit river basin in mountainous region of Gilgit-Baltistan Province, Northern Pakistan. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v.5, 2017, p.70-88. Disponível em: DOI: 10.4236/gep.2017.57008. Acesso em: 04 jun. 2019.

ALMEIDA, L. T.; ABREU, C.; FRAGA, M. S.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Aspectos morfométricos relacionados ao estudo de enchentes na bacia do Rio Sapucaí, Minas Gerais. **Nativa**, v.5, n.3, 2017, pp.169-174. Disponível em: DOI:

10.5935/2318-7670.v05n03a03. Acesso em: 03 jun. 2019. Acesso em: 06 jun. 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVER, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, 2013, 711–728. Disponível em: DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Acesso em: 10 jun 2019.

AMERI, A. A.; POURGHASEMI, H. R.; CERDA, A. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. **Science of the Total Environment**, v. 613, 2018, pp. 1385-1400. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.210>. Acesso em: 17 jun. 2019.

ANGILLIERI, M. Y. E. Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina. **Quaternary International**, v. 253, 2012, pp. 74-79. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.011> Acesso em: 10 maio 2019.

ASFAW, D.; WORKINEH, G. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implication for soil and water conservation. **International Soil and Water Conservation Research**, v.7, 2019, pp.150-157. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003> Acesso em: 08 abr. 2019.

CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de Microbacias. In: As Florestas Plantadas e a água- implementado o conceito e microbacias hidrográficas como unidade de planejamento, São Carlos, RiMa, 2006, 226p.

CAMPOS, S.; CARDADOR, F. A.; CAMPOS, M.; MINARELLI, R. A. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica do Ribeirão Descalvado – Botucatu (SP). **Irriga**, v.20, n.2, 2015, pp.52-65. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p52> Acesso em: 04 abr. 2019.

CHOUDHARI, P. P.; NIGAM, G. K.; SINGH, K.; THAKUR, S. Morphometric based prioritization of watershed for groundwater potential of Mula river basin, Maharashtra, India. **Geology, Ecology, and Landscapes**. 2018, pp. 256-267. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452482> Acesso em: 02 abr. 2019.

EGGER, J.; HOINKA, K. P. Fronts and orography. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 48, n. 1-4, 1992, pp. 3-36. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01029557>. Acesso em: 05 maio 2019.

FARIAS, R. N.; PEDROZO, C. S.; MACHADO, N. A. F.; RODRIGUEZ, M. R. Análise morfométrica e de uso do solo da bacia hidrográfica do Arroio Candiota, RS, Brasil. **Pesquisa e Geociências**, v. 42, n. 2, 2015, pp. 159-172. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78117> Acesso em: 10 abr. 2019.

FERREIRA, L. M.; LOPES, W. P.; BEZERRA, E. F.; CATHERINGER, L.; MONTEIRO, A. L. M.; RODRIGUES, T. F. Plano de manejo do Parque Nacional do Caparaó, Instituto Chico Mendes, pp. 537.

GRAVELIUS H (1941) Flusskunde. Goschen'sche Verlagshandlung, Berlin 176pp.

HIDROWEB. Rede Hidrometeorológica Nacional. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso: 05 jan. 2019.

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **American Geophysical Union**, v. 13, n. 1, p. 350-361, 1932. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>. Acesso em: 10 maio 2019.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2). Acesso em: 12 mar. 2019.

HOWARD, A. D. Role of hypsometry and planform in basin hydrologic response. **Hydrological Processes**, v. 4, n. 4, pp. 373-385, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360040407>. Acesso em 15 de setembro de 2018.

JAVARAYIGOWDA, N. H.; BASAVARAJU, G. K. S.; JAYARAM S. H. Morphometric analysis of Karadya micro watershed: A case study of Mandya District. **American Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 1, 2018, pp. 15-22. Disponível em: doi: 10.11648/j.ajrs.20180601.13 Acesso em: 12 mar 2019.

JUNQUAS, C.; LI, L.; VERA, C. S.; LE TREUT, H.; TAKAHASHI, K. Influence of South America orography on summertime precipitation in Southeastern South America. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11-12, 2016, pp. 3941-3963. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-016-306>. Acesso: 12 maio 2019.

KABITE, G.; GESSESSE, B. Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 2, 2018, pp. 175-183. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.02.003>
Acesso em: 10 jun. 2019.

Köppen, Wladimir. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag and Jahreslauf. Petermanns Geographische Mitteilungen. v.64. 1918 pp. 193–203.

KUMAR, B.; VENKATESH, M.; TRIPHATI, A.; ANSHUMALI. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Rihand River Basin, Central India. **Sustainable Water Resources Management**, v. 4, n. 1, 2018, p. 45-54. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0118-3> Acesso em: 23 maio 2019.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do Córrego Ipaneminha da Baixo, Sorocaba, SP. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 439-446, 2016. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v46i4.45809>. Acesso em: 12 abr. 2019.

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; KALIRAJ, S. A GIS based automated extraction tool for the analysis of basin morphometry. **Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science**, v. 2, 2012, pp. 32-35.

MILLER, V.C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Technical report (Columbia University. Deptment. Geology. Office of the Naval Research.), n. 3. New York, 1953.

MORJADIN, C. E. F.; DIAZ, J. A. M. G.; GO, J. D. A.; GUEVARRA, R. K. Prediction at Ungauged river flow as applied to Canas river basin in Cavite using morphometric analysis. **AIP Conference Proceedings**, v. 2045, n.1, 2018, pp. 020067. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.5080880>. Acesso em: 10 jun. 2019.

- NIMER, E. Climatologia da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 1, 1972, pp. 3-48.
- NITHESHNIRMAL, S.; THILAGARAJ, P.; ABDUL RAHAMAN, S.; JEGANKUMAR, R. Erosion risk assessment through morphometric indices for prioritisation of Arjuna watershed using ALOS-PALSAR DEM. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 5, n. 3, 2019, pp. 907–924. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00578-y>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- PORTAL TERRA. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/chuva-leva-17-cidades-a-decretar-emergencia-no-es,892868f40d94b310VgnCLD200000bbcecb0aRCRD.html>. Acesso em: 31 maio 2019.
- REGOTO, P.; DEREZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; SANTOS, R.; CONFALONIERI, U. Tendência de extremos de precipitação para o Estado do Espírito Santo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 1, 2018, pp. 365-381. Disponível em: DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_365_381. Acesso em: 15 jul. 2019.
- SCHUMM S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, 1956, pp. 597-646, 1956. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2). Acesso em: 26 maio 2019.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosion topography. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 63, n. 11, 1952, pp. 1117-1142, 1952. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOE]2.0.CO;2). Acesso em: 27 jun. 2019.
- STRALHER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, New Haven, v. 38, 1957, pp. 913-920, 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>. Acesso em: 28 jun. 2019.
- STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow VT (ed) **Handbook of applied hydrology**. McGraw-Hill, New York, 1964, pp. 439-476.
- TEWARI, N. K.; MISRA, A. K.; SHARMA, A. Assessment of geomorphological and hydrological variations in Bhagirathi River Drainage sub-basin with the help of morphometric studies. **Journal of Taibah University for Science**, v. 13, n. 1, 2019, pp. 1006-1013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/16583655.2019.1670888>. Acesso em: 03 jul.2019.
- TIAN, X.; ZHAO, G. MU, X. ZHANG, P.; TIAN, P.; GAO, P.; SUN, W. Hydrologic alteration and possible underlying causes in the Wuding River, China. **Science of The Total Environment**, v. 693, 2019, pp. 133556. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.362>. Acesso em: 24 nov.2019.
- 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, 2006, pp. 849-857. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-6762200600050019>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. ABRH, UFRGS, 2001, 2º ed. Porto Alegre, 943 pp.
- ULIANA, E. M.; REIS, E. F.; SILVA, J. G. F.; XAVIER, A. C. Precipitação mensal e anual provável pra o Estado do Espírito Santo. **Irriga**, v. 18, n. 1, 2013, pp. 139-147. Disponível em: DOI:

10.15809/irriga.2013v18n1p139. Acesso em: 12 mar. 2019

VENKATESH, M.; ANSHUMALI. A GIS-based assessment of recent changes in drainage and morphometry of Betwa River basin and sub-basins, Central India. **Applied Water Science**, v. 9, n. 7, 2019, pp. 157. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1033-6>. Acesso em: 27 nov. 2019.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975, 245p.

WENZEL, D. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P.; MENDES, A. S. A.; SOUZ, G. S. Características fisiográficas de sub-bacias do médio Rio Teles Pires-MG. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, 2017, pp. 123-131. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/2193/2305> Acesso em: 2 dez. 2019.