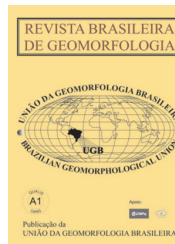


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1757>



### ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO ALTO RIO PARAÍBA, REGIÃO SEMIÁRIDA DO ESTADO DA PARAIBA

### MORPHOMETRIC ANALYSES OF HIGH PARAIBA RIVER BASIN, SEMIÁRID REGION OF PARAIBA STATE

**Patricia da Conceição Dornellas**

*Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Geografia  
PPGG - CCEN – UFPB, Cidade Universitária - João Pessoa, PB, CEP: 58051-900, Brasil  
<http://orcid.org/0000-0003-2537-7149>  
E-mail: [p.dornellas@uol.com.br](mailto:p.dornellas@uol.com.br)*

**Rafael Albuquerque Xavier**

*Departamento de Geografia da Universidade Estadual da Paraíba  
Rua Baraúnas, 351 – Bairro Universitário – Campina Grande, PB, CEP: 58429-500, Brasil  
<http://orcid.org/0000-0002-1737-7547>  
E-mail: [xavierra@uol.com.br](mailto:xavierra@uol.com.br)*

**Vinicius da Silva Seabra**

*Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro  
Rua Dr. Francisco Portela, 1470 – Patronato, São Gonçalo, RJ, CEP: 24435-005, Brasil  
<http://orcid.org/0000-0003-1294-6015>  
E-mail: [vinigeobr@yahoo.com.br](mailto:vinigeobr@yahoo.com.br)*

**Richarde Marques da Silva**

*Departamento de Geografia da Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Geografia  
PPGG - CCEN – UFPB, Cidade Universitária - João Pessoa, PB, CEP 58051-900, Brasil  
<http://orcid.org/0000-0001-6601-5174>  
E-mail: [richarde@geociencias.ufpb.br](mailto:richarde@geociencias.ufpb.br)*

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
27/12/2019  
Aceito (Accepted):  
08/06/2020

#### Palavras-chave:

Geoprocessamento; Geomorfologia Fluvial; Rios de Terras Secas.

#### Keywords:

Geoprocessing; Fluvial Geomorphology; Dryland Rivers

#### Resumo:

A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba é de grande importância para o uso e gestão dos recursos hídricos no Estado da Paraíba. Em seu alto curso, desde 2017, são lançadas águas do Rio São Francisco, com o objetivo de perenizar seu curso principal e garantir segurança hídrica para os reservatórios. Com o objetivo de analisar e interpretar as características morfométricas da bacia do Alto Rio Paraíba, foram aplicados diversos índices morfométricos para a maior compreensão da morfodinâmica fluvial na esculturação do relevo da bacia. Para tanto, os dados foram processados utilizando o Modelo Digital de Elevação do SRTM, com resolução espacial de 30 metros e a rede de drenagem foi obtida na escala 1:100.000. Os parâmetros morfométricos utilizados foram: ordem hierárquica do canal ( $U$ ), número de canais ( $N_u$ ), comprimento dos canais ( $L_u$ ), comprimento da bacia ( $L_b$ ), razão de bifurcação ( $R_b$ ), área ( $A$ ), perímetro ( $P$ ), densidade de drenagem ( $D_d$ ), densidade de rios ( $D_r$ ), textura da drenagem ( $T$ ),

Relação de alongamento ( $R_c$ ), índice de circularidade ( $I_c$ ), Fator de forma ( $F_p$ ), altitude máxima ( $H_{max}$ ), altitude mínima ( $H_{min}$ ), amplitude da bacia ( $B_h$ ), índice de rugosidade ( $I_r$ ) e tempo de concentração ( $T_c$ ). Os resultados apontaram que a bacia do Alto Rio Paraíba é de 7ª ordem hierárquica. As sub-bacias dos Rios Sucuru e Umbuzeiro são de 6ª ordem, enquanto a do Rio Monteiro é de 5ª ordem. A densidade de drenagem e a densidade de rios são baixas. Quanto à forma, todas as bacias são alongadas, sendo a sub-bacia do Rio Monteiro a mais alongada dentre todas. O relevo é de grande amplitude altimétrica (>800 metros), o que confere alto potencial energético para os fluxos hídricos. Conclui-se que a rede de drenagem é extensa e complexa, de 7ª ordem hierárquica e com forte controle estrutural. Os níveis mais altos do relevo estão associados aos granitoides no município de São João do Tigre. Tanto pela hierarquia fluvial quanto pela amplitude do relevo, o Rio do Umbuzeiro é, do ponto de vista da morfometria, o mais importante da bacia.

### Abstract:

The Paraíba basin is important for the use and management of water resources in the State of Paraíba. Waters of the São Francisco River have been launched in the Paraíba basin since 2017. The objective of transposition is to perpetuate Paraíba River and ensuring water security for the reservoirs. Several morphometric index were applied to better understand the fluvial morphodynamics in the relief genesis of the Upper Paraíba River basin. Digital Elevation Model was obtained from SRTM, with spatial resolution of 30 m and the drainage network was obtained in the scale 1:100,000. The morphometric parameters used were: hierarchical order of the channel (U), number of channels (Nu), length of channels (Lu), length of the basin (Lb), bifurcation ratio (Rb), area (A), perimeter (P), drainage density (Dd), river density (Dr), drainage texture (T), elongation ratio (Re), circularity index (Ic), form factor (Ff), maximum altitude (Hmax), minimum altitude (Hmin), basin amplitude (Bh), roughness index (Ir) and concentration time (Tc). The results showed that the Upper Paraíba River basin is classified as 7th hierarchical order; the sub-basins of the Sucuru and Umbuzeiro Rivers are 6ª order, whereas the one of Monteiro River is classified as 5ª order. Drainage density and river density are low. All the basins are elongated, being the Monteiro River sub-basin the most elongated of all. The altimetric amplitude is high (> 800 m) and it yields high energetic potential for water flows. Drainage network is extensive and complex, 7th hierarchical order and with strong structural control. The highest relief levels are associated with granitoids in the municipality of São João do Tigre. As much for the river hierarchy as for the amplitude of the relief, the Umbuzeiro River is, from the point of view of morphometry, the most important of the basin.

### Introdução

Rios de terras secas (*dryland rivers*) são caracterizados, principalmente, por uma extrema variabilidade de vazão, apresentando longos períodos de baixa ou nenhuma vazão, intercalados por inundações ocasionais, por vezes grandes ou extremas (TOOTH e NANSON, 2000). Em função dos regimes irregulares e baixos de precipitação e às contribuições pouco significativas das águas subterrâneas, muitos rios de terras secas são efêmeros, com os seus canais secos na maior parte do tempo e ocasionalmente preenchidos por água (TOOTH, 2000).

Sobre o comportamento dos rios de terras secas, Wohll (2007, p. 35) ressaltou que:

*rios de regiões áridas e semiáridas são distinguidos por valores geralmente baixos de descarga de pico por unidade de área de drenagem porque alguma parte da bacia não contribui efetivamente com escoamento superficial durante descargas de pico. (WOHLL, 2007, página 35).*

Segundo Souza e Almeida (2015), os processos fluviais em ambientes semiáridos são diferentes em relação aos ambientes úmidos, pois a variação nos *inputs* anuais de energia no sistema, em particular a entrada de chuva, confere uma combinação própria de relações que vai resultar em diferentes formas e estruturas no sistema. Powell (2009) afirma que, devido ao regime hidrológico dos rios de terras secas, com pronunciadas descontinuidades espaciais e temporais de vazão, torna-se difícil a definição de descargas fluviais formativas e o estabelecimento das formas padrões do canal fluvial.

Segundo Sreedevi *et al.* (2013), regiões semiáridas se caracterizam pela escassez de água, e, portanto, são extremamente dependentes de chuvas. Assim, o conhecimento hidrológico de uma bacia de clima semiárido é fundamental para a gestão e gerenciamento dos recursos hídricos. Para tanto, conhecer as características da geomorfologia, drenagem, processos erosivos e os aspectos topográficos são elementos-chave para a análise integrada da bacia. Neste sentido, estudos morfométricos

usando mapas topográficos, produtos de sensoriamento remoto e técnicas de Sistemas de Informações Geográficas, são rápidas, precisas e menos dispendiosas. Para Sreedevi *et al.* (2009) a influência da morfometria da drenagem nas características do relevo pode ser bem compreendida pela análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica. Khanday e Javed (2017), ressaltaram que para compreender as características hidrológicas de uma bacia hidrográfica é necessário o uso dos parâmetros morfométricos na análise.

Sobre a importância do reconhecimento da morfometria da bacia, Leal e Tonello (2016, p. 439) ressaltam que:

*As características físicas, especialmente aquelas associadas ao relevo, à forma e à rede de drenagem, estão altamente relacionadas ao tempo e velocidade de escoamento da água, o que vai incidir em maior ou menor infiltração da água no solo. De acordo com a descrição física da bacia é possível saber qual a suscetibilidade da mesma quanto ao risco de cheia, escoamento superficial e processos erosivos, dando uma indicação de como deve ser o manejo da bacia para que ela possa proporcionar maior infiltração da água no solo. (LEAL e TONELLO, 2016, p. 439)*

Nos estudos dos aspectos hidro-geomorfológicos de bacias hidrográficas, Liébault *et al.* (2008) ressaltaram que os afluentes das bacias tributárias são importantes ligações físicas entre as encostas e o canal principal, tornando-se fundamental o conhecimento de suas propriedades físicas e da descarga de água e sedimentos.

A bacia do Rio Paraíba, também chamado de Rio Paraíba do Norte, é a maior bacia totalmente inserida no Estado da Paraíba, possuindo uma área de cerca de 20 mil km<sup>2</sup>, representando 32% da área do estado. A bacia do Alto Rio Paraíba está inserida no projeto de transposição do Rio São Francisco, sendo contemplada com o eixo-leste, que desde 2017 vem jogando água no leito do Rio Monteiro. De acordo com o projeto, a perenização do Rio Monteiro garantirá segurança hídrica para os diversos reservatórios existentes na bacia. Contudo, pouco se discute sobre os impactos hidrológicos desta perenização, em uma bacia que possui centenas de reservatórios e alto índice de desmatamento. Desta maneira, este estudo tem como o objetivo geral conhecer as características físicas da bacia a partir da análise morfométrica, comparar as características de suas 3 sub-bacias e interpretar a partir dos resultados a dinâmica dos processos geomorfológicos.

## Área de estudo

A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba está localizada entre as coordenadas 37° 20' e 36° 10' W e 7° 20' e 8° 20' S, no Planalto da Borborema, sob domínio do clima semiárido, abrangendo a Mesorregião da Borborema e as Microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental da Paraíba (Figura 1). A bacia possui aproximadamente 6.280 km<sup>2</sup> e engloba totalmente os territórios de 12 municípios, são eles: São Sebastião do Umbuzeiro, São João do Tigre, Zabelê, Monteiro, Prata, Ouro Velho, Amparo, Sumé, Camalaú, Congo, Coxixola e Caraúbas. Abrange, ainda que parcialmente, áreas dos municípios de São José dos Cordeiros, Serra Branca, São João do Cariri, Cabaceiras e Barra de São Miguel.

A bacia do Alto Rio Paraíba possui grande importância estratégica para os recursos hídricos no Estado da Paraíba, principalmente pelo fato de ser a responsável, juntamente com a bacia do Rio Taperoá, por abastecer o Açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido por Açude Boqueirão, que é o 2º maior reservatório hídrico da Paraíba. O Açude Boqueirão atualmente é responsável por abastecer 18 municípios, incluindo Campina Grande, totalizando uma população superior a 1 milhão de habitantes. Outro aspecto importante para a bacia é o fato de que desde abril de 2017 o Rio Paraíba recebe água do Rio São Francisco, através das obras da transposição. O canal da transposição interliga o Rio São Francisco com o Rio Monteiro, que é considerado, tanto no senso comum, quanto na literatura, como o principal rio da bacia (SILVA, 2003; MENINO e CAVALCANTI, 2013).

Segundo Nascimento *et al.* (2014), o clima varia de semiárido a sub-árido seco de exceção na bacia do Alto Rio Paraíba. Apresenta chuvas concentradas entre 3 e 4 meses, com médias anuais que variam de 250 a 900 mm. As médias térmicas anuais são em torno de 26°C e a insolação média anual é de 2.800 horas. A umidade relativa do ar é de 50% e as taxas médias de evaporação são em torno de 2.000 mm/ano (NASCIMENTO *et al.* 2014).

A geologia da bacia do Alto Rio Paraíba é composta por rochas cristalinas que compõe o Escudo Pré-Cambriano do Nordeste, constituído por formações oriundas do proterozóico e o arqueozóico, compostas por quartzitos, gnaisses, migmatitos, micaxistos e granitóides. As rochas metamórficas correspondem a aproximadamente 85% da área total da bacia, enquanto as rochas ígneas representam 15%. Esse percentual de exposição de rochas graníticas é semelhante ao apontado por Maia e Nascimento (2018) para todo o nordeste setentrional. Esses corpos graníticos são decorrentes da orogênese brasileira (JARDIM DE SÁ *et al.*, 2005).

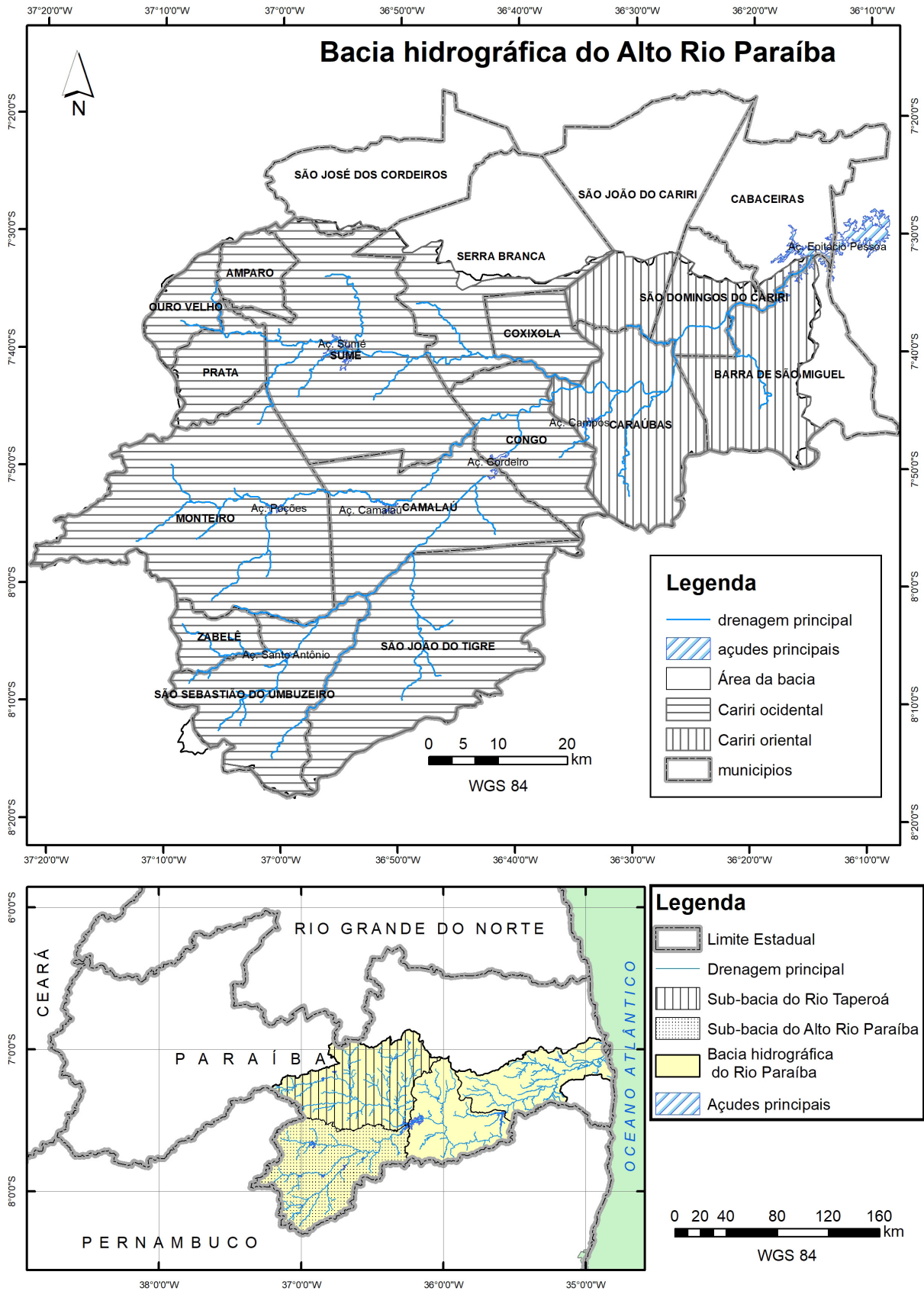


Figura 1 - Localização geográfica da bacia do Alto Rio Paraíba.

De acordo com Maia e Nascimento (2018), os relevos residuais são mantidos por intrusões graníticas que foram exumadas pela denudação diferencial de antigas áreas orogênicas. Diversos pálios de *inselbergs*, maciços e lajedos ocorrem em zonas de intrusões graníticas, expostos pela erosão diferencial (MAIA *et al.*, 2015).

A paisagem geomorfológica da bacia do Alto Rio Paraíba é marcada, predominantemente, por extensas superfícies suavizadas. As áreas de planícies fluviais somadas as superfícies de dissecação com colinas rebaixadas, de amplitude altimétrica até 60 metros, representam aproximadamente 60% da área total. Segundo Mabessone (1978, p. 5), nos sertões semiáridos do Nordeste brasileiro, “o elemento mais conspícuo dentro das formas do relevo é a extensão enorme das áreas planas ou quase planas”.

As áreas de relevo de grande amplitude, marcadas por serras estruturais, cristas simétricas e *inselbergs*, representam apenas 3,7% da área, e predominam na região de São João do Tigre. Estas serras foram denominadas por Corrêa *et al.* (2010) de Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, que seria a área mais afetada pelos arqueamentos, revelando elevadas cimeiras e os relevos mais pronunciados. De acordo com Almeida (2012), os alinhamentos de cristas residuais do Maciço da Borborema margeiam os limites da bacia sendo controlados por estruturas geológicas (falhamentos e dobramentos) que condicionam a rede de drenagem. Para Albuquerque *et al.* (2001), os maciços residuais em cristas correspondem a antigas superfícies ou pediplanos, comumente associados a rochas mais resistentes e orientadas segundo as direções preferenciais das linhas de falha.

## Materiais e métodos

Os parâmetros morfométricos são reconhecidos na literatura como importante fonte de informação para o conhecimento das características físicas das bacias, bem como para interpretação de sua dinâmica geomorfológica (KHANDAY E JAVED, 2017; LEAL E TONELLO, 2016; LIÉBAULT *et al.*, 2008; SREEDEVI *et al.* 2009 e 2013).

Para a análise morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, optou-se por avaliar toda a bacia e, também, as bacias hidrográficas dos seus principais afluentes, o Rio Umbuzeiro, o Rio Monteiro e o Rio Surocuru. As bacias foram delimitadas manualmente sobre o

Modelo Digital de Elevação (MDE) do Projeto *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM 1 arc-second (com resolução espacial de 30 m), obtido no portal da Agência Geológica Americana USGS. A rede de drenagem foi obtida automaticamente com o uso da função *hydrology* do software ArcGIS® e posterior edição vetorial. O resultado foi ajustado em relação a drenagem das cartas topográficas 1:100.000 da SUDENE e adensado com o uso de imagens de satélite de alta resolução do *basemap* do ArcGis® online. Considera-se que toda a análise de hierarquia fluvial foi na escala 1:100.000.

Os parâmetros morfométricos foram divididos em lineares, de área e de relevo. Os parâmetros utilizados foram ordem hierárquica do canal ( $U$ ), número de canais ( $N_u$ ), comprimento dos canais ( $L_u$ ), comprimento da bacia ( $L_b$ ), razão de bifurcação ( $R_b$ ), área ( $A$ ), perímetro ( $P$ ), densidade de drenagem ( $D_d$ ), densidade de rios ( $D_r$ ), textura da drenagem ( $T$ ), Relação de alongamento ( $R_e$ ), índice de circularidade ( $I_c$ ), Fator de forma ( $F_p$ ), altitude máxima ( $H_{max}$ ), altitude mínima ( $H_{min}$ ), amplitude da bacia ( $B_h$ ), índice de rugosidade ( $I_r$ ) e tempo de concentração ( $T_c$ ), através de equações matemáticas estabelecidas na literatura (Tabela 1).

Toda a análise morfométrica depende inicialmente da classificação hierárquica a ser utilizada. Os dois métodos mais usados são os de Horton (1945) e o de Strahler (1952). Neste estudo, optou-se pelo método de Strahler pelo fato de ser o mais usado nas Geociências e concordarmos com a não atribuição da ordem do rio principal em toda a sua extensão, ou seja, até sua nascente. Os princípios de hierarquização são semelhantes e por isso, independente de qual utilizar será sempre encontrado a mesma ordem hierárquica para a bacia estudada. A diferença básica entre eles é que após definir a hierarquia do rio principal, por exemplo, 4ª. Ordem, em Horton deve-se atribuir essa ordem até a sua nascente principal. No método de Strahler, o trecho do rio de 4ª. Ordem será apenas até o encontro dos dois rios de 3ª. Ordem que lhe deram origem.

Para conhecer a magnitude fluvial da rede de drenagem, foi realizada a classificação proposta por Shreve (1966), que segundo Stevaux e Latrubesse (2017), corrigiu o problema da classificação de Strahler, que não considerava o aumento da descarga oriundo da junção de canais de ordens diferentes. Assim, a proposta de Shreve considera o aumento progressivo da ordem dos canais em direção à jusante.

**Tabela 1: Parâmetros morfométricos lineares utilizados neste estudo**

Parâmetro	Fórmula	Descrição	Referência
Ordem do canal (U)	Classificação hierárquica	Toda nascente é um canal de primeira ordem. Dois canais de primeira ordem se unem para formar um canal de segunda ordem; dois canais de segunda ordem se juntam para formar uma terceira ordem e assim por diante. Os canais de ordem inferior que entram em um canal de ordem superior não alteram a sua ordem, prevalecendo a ordem superior	Strahler, 1964
Ordem do canal (S)	Classificação por magnitude	Toda nascente é um canal de primeira magnitude. A partir daí soma-se progressivamente a magnitude dos canais à medida que vão se juntando a jusante.	Shreve 1966
Número total de canais por ordem (Nu)	$(\sum Nu)$	Somatório de canais por ordem	Horton, 1945
Comprimento do canal (Lu)	$(\sum Lu)$	Somatório do comprimento dos canais	Horton, 1945
Razão de bifurcação (R <sub>b</sub> )	$R_b = \frac{Nu}{Nu + 1}$	A razão entre o número de canais de qualquer ordem dada (N <sub>u</sub> ) para o número de canais na próxima ordem superior (N <sub>u</sub> +1)	Horton, 1945
Densidade de drenagem (D <sub>d</sub> )	$D_d = \frac{Lu}{A}$	A razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia	Horton, 1945
Densidade de rios (D <sub>r</sub> )	$D_r = \frac{Nu}{A}$	A razão entre o número total de canais e a área da bacia	Horton, 1945
Textura da drenagem (T)	$T = D_d \times D_r$	É o produto entre a densidade de drenagem e a densidade de rios	Smith, 1950
Relação de alongamento (R <sub>e</sub> )	$R_e = \frac{D}{L} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$	A razão entre o diâmetro de um círculo com a mesma área da bacia (A) e o comprimento máximo (L) da bacia	Schumn, 1956
Índice de circularidade (I <sub>c</sub> )	$I_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	A relação entre a área da bacia (A <sub>u</sub> ) e a área de um círculo (A <sub>c</sub> ) com o mesmo perímetro da bacia	Strahler, 1964
Fator de forma (F <sub>f</sub> )	$F_f = \frac{A}{L^2}$	A razão entre a área da bacia e o quadrado do comprimento da bacia	Horton, 1945
Amplitude da bacia (Bh)	$Bh = H_{max} - H_{min}$	A distância vertical máxima entre os pontos mais baixo e mais alto de uma sub-bacia	Schumn, 1956
Índice de rugosidade (Ir)	$I_r = Bh \times D_d$	O produto da amplitude do relevo e a densidade de drenagem	Melton, 1957
Tempo de concentração (Tc)	$T_c = 6,95 \left( \frac{L^{1,15}}{Bh^{0,385}} \right)$	A relação entre o comprimento do canal principal e a amplitude do relevo da bacia	Verstappen, 1983

## Resultados

### Parâmetros lineares

A bacia do Alto Rio Paraíba foi classificada como de 7ª. ordem hierárquica (Strahler) (Figura 2 e Tabela 2). As sub-bacias dos Rios Sucuru e do Umbuzeiro são de 6ª. ordem enquanto a sub-bacia do Rio Monteiro é de 5ª. ordem. Diversos trabalhos e documentos governamentais apontam o Rio Monteiro como sendo a principal nascente do Rio Paraíba, contudo, de acordo com a hierarquia fluvial encontrada, os Rios Sucuru e do Um-

buzeiro são, do ponto de vista hidrológico, superiores ao Rio Monteiro, descredenciando-o como rio principal. O ordenamento fluvial por magnitude (Shreve, 1966) da bacia do Alto Rio Paraíba foi de 1836, sendo a sub-bacia do Rio Umbuzeiro 512, a do Rio Sucuru 509 e a do Rio Monteiro 369 (Figura 2). Assim como na hierarquia de Strahler a bacia do Rio Monteiro apresentou menor magnitude fluvial. Em relação a quantidade de canais, a que apresentou o maior número foi a do Rio Umbuzeiro, com 678, seguida pelo Rio Sucuru, com 655, e por último o Rio Monteiro, com 468.

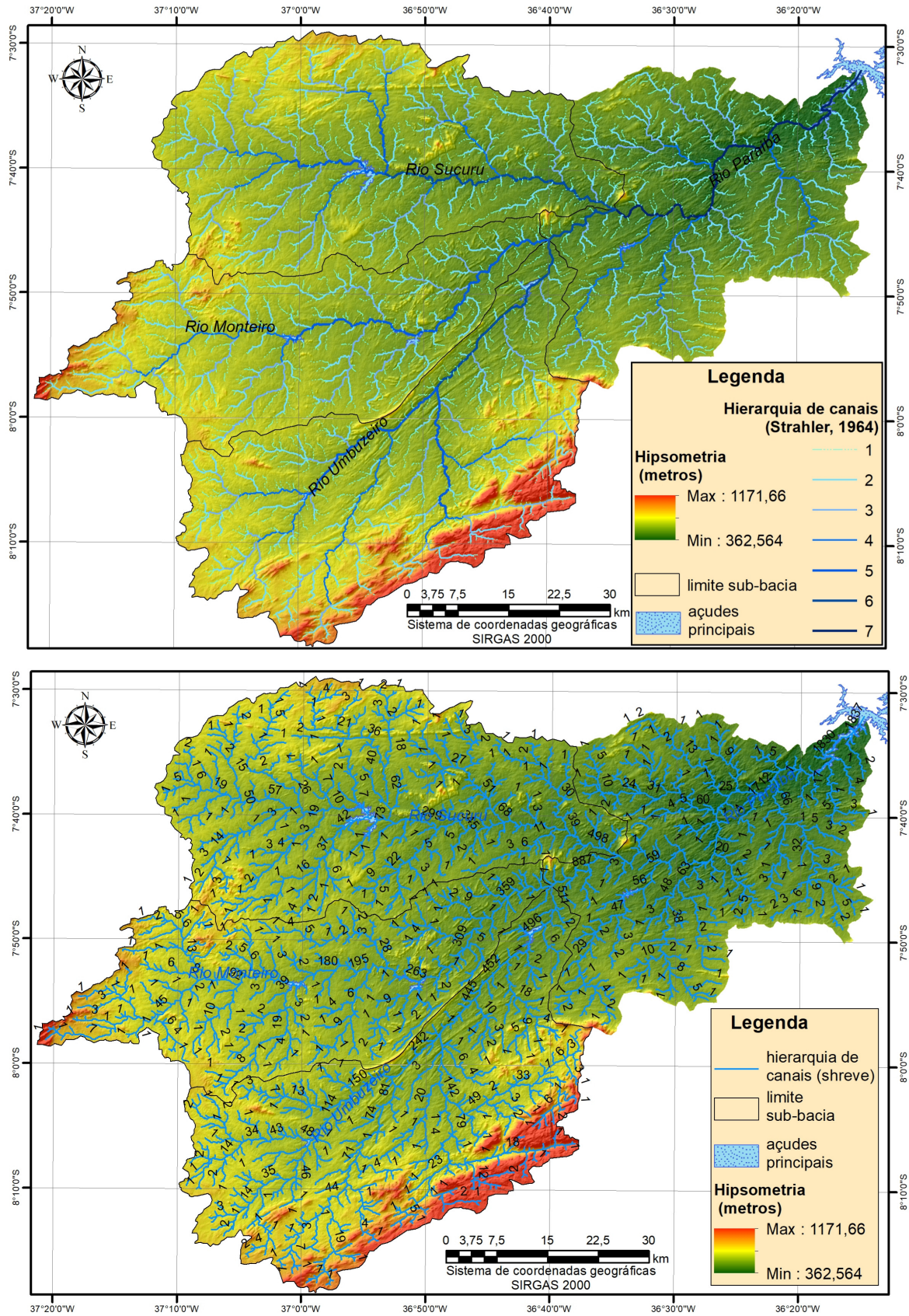


Figura 2 - Hierarquia de canais na bacia do Alto Rio Paraíba. O mapa de cima é a hierarquia segundo Strahler (1964) e o mapa de baixo segundo Shreve (1966).

A razão de bifurcação (R<sub>b</sub>) representa o número de canais de uma ordem necessários para formar um canal de ordem superior. A bacia do Alto Rio Paraíba apresentou R<sub>b</sub> médio de 3,68, variando de 2 a 4,72. Valores semelhantes foram observados nas sub-bacias dos Rios Sucuru e do Umbuzeiro, com médias de 3,63 e 3,66 respectivamente. Razões de bifurcação comumente variam entre 3,0 e 5,0 para bacias hidrográficas nas quais as estruturas geológi-

cas não exercem controle significativo sobre o padrão de drenagem (VERSTAPPEN, 1983; OZDEMIR e BIRD, 2009; SREEDEVI *et al.*, 2013; KHANDAY e JAVED, 2017). A sub-bacia do Rio Monteiro obteve maior R<sub>b</sub> entre todas, com média de 4,83, variando de 2 (R<sub>b</sub>4) a 7 (R<sub>b</sub>3), indicando que a rede de drenagem sofre alguma influência das estruturas geológicas, seja por variação litológica ou por estruturas (bandamentos, fraturamentos e/ou falhamentos).

**Tabela 2: Parâmetros lineares da bacia do Alto Rio Paraíba e respectivas sub-bacias**

Parâmetro	Sucuru	Monteiro	Umbuzeiro	Alto Paraíba
Comprimento da bacia (L) (km)	69,35	79,6	71,85	122,25
Ordem dos canais	1	512	371	1858
	2	108	80	401
	3	25	14	28
	4	7	2	6
	5	2	1	2
	6	1		1
	7			
Número total de canais	655	468	678	2371
Comprimento dos canais (km)	1	591,9	481,8	2300,14
	2	305,4	267,7	293,4
	3	185,4	124,5	158,7
	4	71,6	36,2	86,0
	5	28,4	54,3	51,9
	6	44,3		45,3
	7			
Comprimento total dos canais	1227,4	964,6	1300,7	4608,2
Razão de bifurcação (R <sub>b</sub> )	R <sub>b</sub> 1	4,74	4,63	4,43
	R <sub>b</sub> 2	4,32	5,71	4,21
	R <sub>b</sub> 3	3,57	7,0	4,66
	R <sub>b</sub> 4	3,5	2,0	3,0
	R <sub>b</sub> 5	2,0		2,0
	R <sub>b</sub> 6			
Média (R <sub>b</sub> )	3,63	4,83	3,66	3,68

As leis de composição da rede de drenagem propostas por Horton (1945) estabelecem que: o comprimento médio de uma determinada ordem de canais mantém uma relação geométrica direta com essa ordem; o número de canais de uma ordem X mantém relação geométrica inversa com essa ordem X (VESTENA *et al.*, 2006; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). A figura 3 apresenta o

resultado das leis de comprimento dos canais e do número de canais para as bacias estudadas. A lei de comprimento dos canais mostrou-se válida para todas as bacias analisadas. A lei do número de canais foi confirmada na bacia do Alto Rio Paraíba e sub-bacia do Rio Sucuru, contudo, para as sub-bacias dos Rios Monteiro e Umbuzeiro, foi observado uma anomalia positiva na 3ª ordem dos rios.



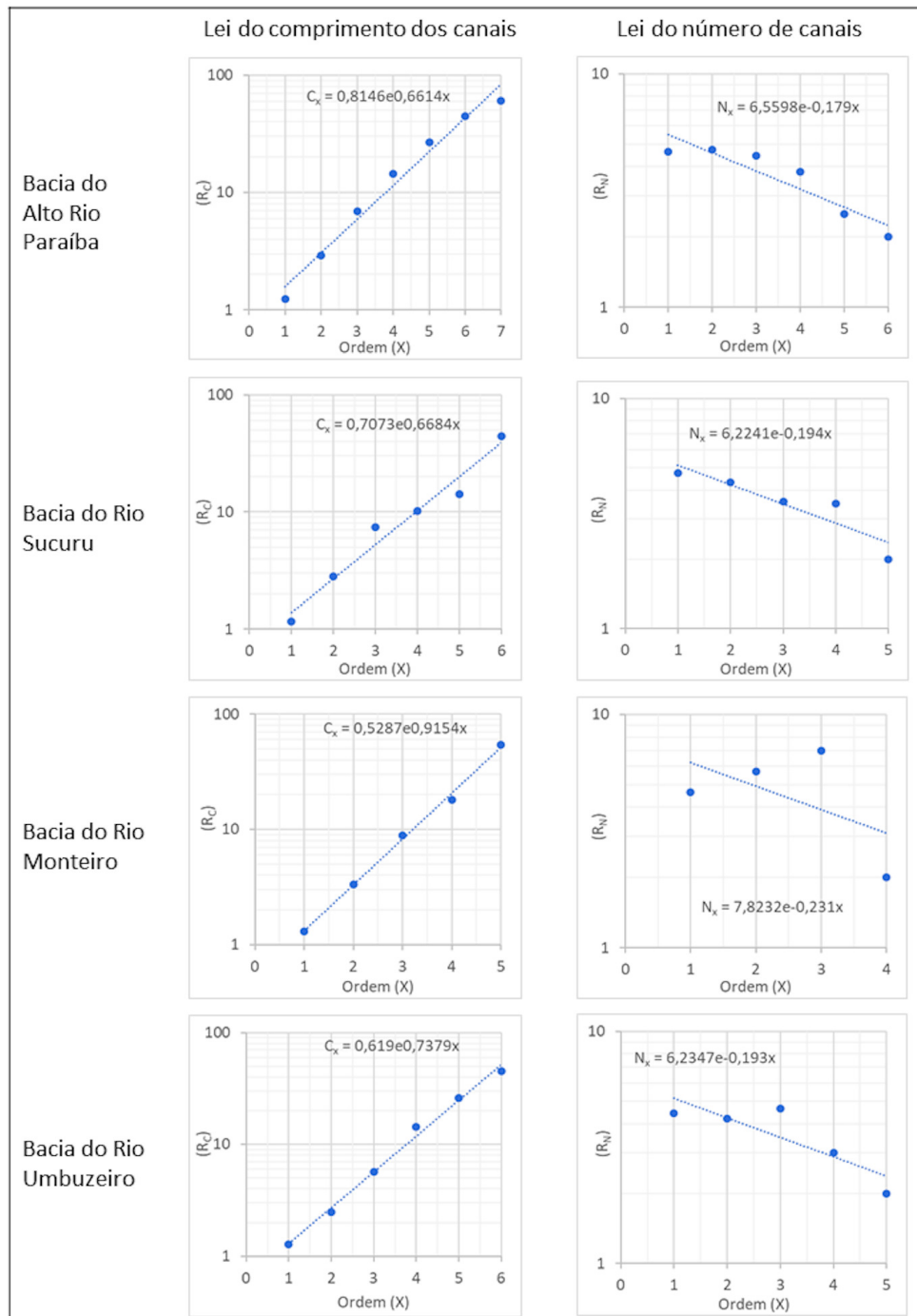


Figura 3 - Leis do comprimento e do número de canais Segundo Horton (1945).

Essa anomalia positiva indica influência tectônica e estrutural no controle da rede drenagem. Segundo Xavier *et al.* (2016) os principais lineamentos estruturais seguem as orientações preferenciais NE-SW e E-W e controlam a orientação da rede de drenagem e de diversos conjuntos de serras na bacia do Rio Paraíba. O controle lito-estrutural da rede de drenagem regional do Nordeste brasileiro também foi apontada por Bezerra *et al.* (2001) e Maia e Bezerra (2011). A figura 4 mostra a

geologia simplificada da bacia e as principais estruturas. Observa-se que a bacia do Rio Umbuzeiro possui forte assimetria e sua drenagem principal foi capturada pela zona de cisalhamento do Congo. A bacia do Rio Monteiro encontra-se entre duas zonas de cisalhamento e apresenta uma mudança de direção do rio principal, que corria no sentido E-W e sofre uma mudança para NE-SW, seguindo em paralelo as zonas de cisalhamento. A partir dessa inflexão a bacia sofre significativo

estreitamento, alongando-a sem, contudo, aumentar a densidade de drenagem. Assim, a bacia é grande em área, porém não apresenta proporcional incremento

na hierarquia fluvial, possuindo expressivo número de canais de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, e 3<sup>a</sup> ordens e apenas 2 canais de 4<sup>a</sup> ordem, o que gerou essa anomalia positiva.

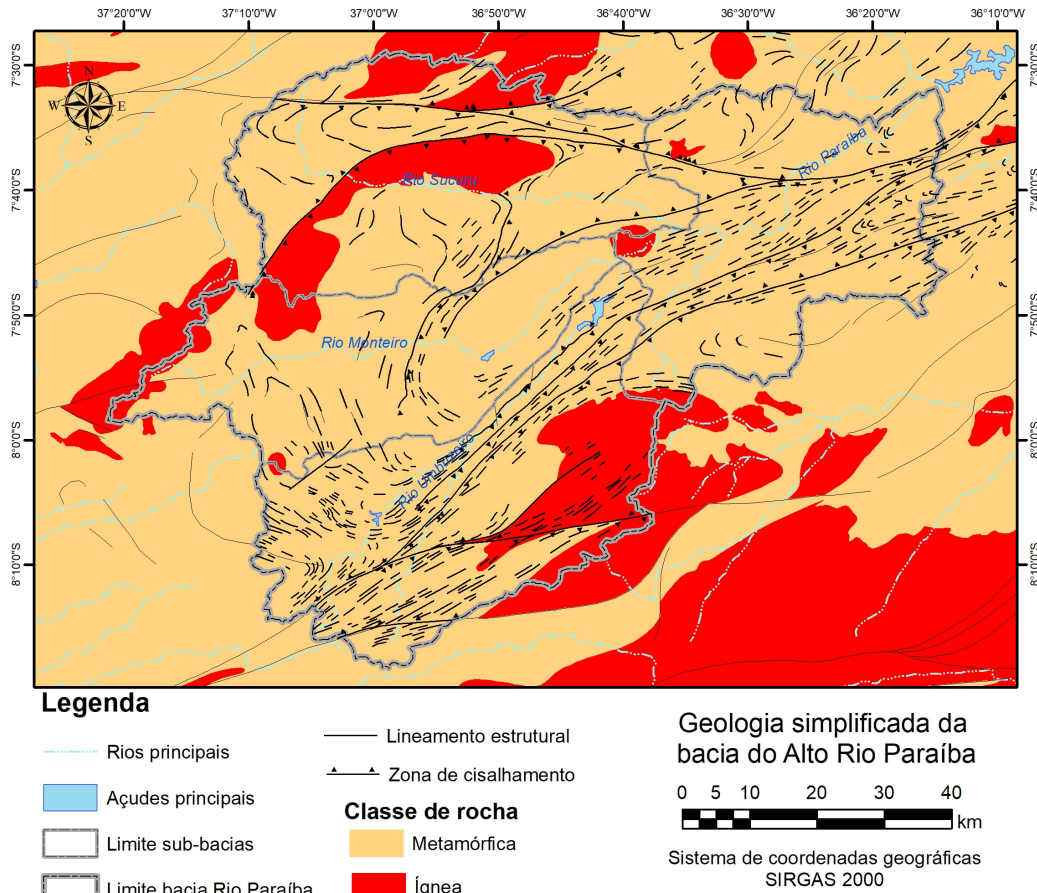


Figura 4 - Geologia simplificada da bacia do Alto Rio Paraíba. Fonte: CPRM 1:500.000.

### Parâmetros areais

A densidade de rios e a densidade de drenagem foi bastante homogênea na bacia do Alto Rio Paraíba e sub-bacias estudadas (Tabela 3). A densidade de rios é de 0,38 rios/km<sup>2</sup> na bacia principal, 0,39 nas sub-bacias dos Rios Sucuru e Umbuzeiro e 0,36 na sub-bacia do Rio Monteiro. A densidade de drenagem é de 0,74 na bacia do Alto Rio Paraíba e na sub-bacia do Rio Monteiro, 0,75 na sub-bacia do Rio Umbuzeiro e 0,73 na sub-bacia

do Rio Sucuru. Esses valores são considerados baixos, porém típicos de regiões semiáridas. Lima *et al.* (2016) estudaram a relação entre a densidade de drenagem e as superfícies de aplainamento na bacia hidrográfica do Rio Bom Sucesso, semiárido do Estado da Bahia, e encontraram valores de densidade de rios e densidade de drenagem de 0,57 e 0,92, respectivamente. Os autores ressaltam que ambas as densidades são baixas e estão de acordo com as características dos ambientes semiáridos, que refletem o baixo grau de dissecação do relevo.

Tabela 3: Parâmetros areais da bacia do Alto Rio Paraíba

Sub-bacia	A (km <sup>2</sup> )	P (km)	Dd (Km/km <sup>2</sup> )	Dr (rios/km <sup>2</sup> )	T	Re	Ic	F <sub>f</sub>
Sucuru	1688,75	213,4	0,73	0,39	0,28	0,67	0,46	0,35
Monteiro	1308,2	222,84	0,74	0,36	0,26	0,51	0,33	0,28
Umbuzeiro	1727,2	248	0,75	0,39	0,29	0,65	0,35	0,03
Alto Paraíba	6230,95	499,95	0,74	0,38	0,28	0,73	0,31	0,02

A = área; P = perímetro; T = textura da drenagem; Re = Relação de alongamento; Ic = índice de circularidade; F<sub>f</sub> = Fator de forma.

Kanhaiya *et al.* (2018) aplicando parâmetros morfométricos na bacia do Rio Khurar, na Índia Central sob clima sub-úmido, encontraram valores de densidade de drenagem na ordem de 0,38 km por km<sup>2</sup>. De acordo com Ozdemir e Bird (2009), a densidade de drenagem (Dd) mostra a dissecação da paisagem, potencial de escoamento, capacidade de infiltração da terra, condições climáticas e cobertura vegetal da bacia. Por um lado, o Dd é um resultado de fatores de interação que controlam o escoamento superficial, por outro está influenciando a produção de água e sedimentos na bacia de drenagem.

A textura da drenagem (T) encontrada foi extremamente baixa e sem variação significativa entre as sub-bacias (Tabela 3). O menor valor foi registrado na sub-bacia do Rio Monteiro (0,26) e o maior foi observado na sub-bacia do Rio Umbuzeiro (0,29), contudo todas foram classificadas como muito grosseiras. Smith (1950) *apud* Khanday e Javed (2017) classificou a textura drenagem em cinco, isto é, menos de 2 indica muito grosseira, entre 2 e 4 é grossa, entre 4 e 6 é moderada, entre 6 e 8 é fina e maior que 8 é muito fina. A textura de drenagem (T) depende de vários fatores naturais, como clima, precipitação, vegetação, tipo de rocha e solo, capacidade de infiltração, relevo e estágio de desenvolvimento (Smith, 1950). As rochas sedimentares ou fracas, desprotegidas pela vegetação produzem uma textura fina, enquanto as rochas maciças e resistentes causam textura grossa.

O parâmetro razão de alongamento (Re) é um índice que avalia a forma da bacia, ou seja, o quão alongada ela é. Schumm (1956) definiu a razão de alongamento (Re) como a razão entre o diâmetro do círculo da mesma área da bacia de drenagem (A) e o comprimento máximo da bacia (Lb). Valores de  $Re > 0,9$  indicam bacias circulares, entre 0,8 e 0,9 são bacias ovais e  $Re < 0,7$  são alongadas.

Os valores de Re para as bacias analisadas mostraram que todas possuem forma alongada, sendo a Bacia do Alto Rio Paraíba (principal) a menos alongada e a sub-bacia do Rio Monteiro a mais alongada (Tabela 3). Uma bacia circular é mais eficiente na descarga do escoamento do que uma bacia alongada porque em bacias circulares o tempo de concentração do fluxo é menor. Valores mais altos de taxa de alongamento mostram alta capacidade de infiltração e baixo escoamento, enquanto valores mais baixos de Re são caracterizados por alta suscetibilidade à erosão e à carga de sedimentos (REDDY *et al.* 2004).

Outro parâmetro de forma utilizado foi o Índice de circularidade (Ic). Os valores observados foram baixos para todas as bacias, indicando que a forma dominante é alongada, confirmando o resultado da razão de alongamento. Segundo Wani *et al.* (2018) valores próximos a 1.0 indicam bacias circulares e quanto mais próximos a 0 caracteriza o alongamento. A forma de uma bacia de drenagem controla principalmente a taxa na qual a água é fornecida ao canal principal à medida que ela escoar ao longo de seu curso da nascente até a confluência ou foz. Os valores encontrados na bacia de estudo variaram de 0,31 a 0,46, caracterizando-as como fortemente alongadas e com baixo potencial natural para picos extremos de cheias. O caráter alongado está associado ao controle estrutural da rede de drenagem principal pelos dois conjuntos de lineamentos, um no sentido leste-oeste (E-W) e outro nordeste-sudoeste (NE-SW). O Rio Sucuru drena praticamente toda sua extensão no sentido leste-oeste, o Rio Monteiro segue a orientação principal leste-oeste desde suas cabeceiras até a cidade de Camalaú, quando sofre inflexão para nordeste. O Rio do Umbuzeiro é encaixado nos lineamentos nordeste-sudoeste, paralelo a serras com cristas simétricas e com forte assimetria de vale, correndo próximo a encosta da margem esquerda. O controle estrutural, assim, favoreceu o desenvolvimento dos rios principais em detrimento dos tributários, gerando o alongamento da bacia.

O fator de forma (Ff) foi o terceiro parâmetro morfométrico utilizado que avalia a forma da bacia. Todos os valores encontrados foram muito baixos, variando de 0,02 a 0,35, confirmando a forma alongada da bacia principal e das sub-bacias. Esper Angillieri e Fernández (2017) avaliando o uso manual e automático na delimitação de bacias hidrográficas na Província de San Juan, noroeste da Argentina, encontraram valores semelhantes aos deste estudo. Os autores destacam que as bacias que têm forma mais alongada apresentam fluxos de vazão mais plano por um período mais longo e consideram que essas bacias são mais vulneráveis aos fluxos de inundação do que as áreas da bacia circular.

### **Parâmetros de relevo**

Os parâmetros morfométricos associados as características do relevo da bacia do Alto Rio Paraíba mostraram aspectos bem variados entre as sub-bacias (Tabela 4). A amplitude do relevo (Bh) na bacia do rio principal foi de 810 metros, enquanto nas sub-bacias foi de 707

metros no Rio Umbuzeiro, 611 no Rio Monteiro e 424 no Rio Sucuru. O ponto mais alto da bacia do Alto Rio Paraíba foi observado na sub-bacia do Rio Umbuzeiro

a 1.171 metros de altitude. Essa característica é mais um fator que aponta o Rio Umbuzeiro como sendo a nascente principal.

**Tabela 4: Parâmetros morfométricos do relevo**

Sub-bacia	Altitude (metros)		Amplitude do relevo na bacia ( $B_h$ )	Índice de rugosidade ( $I_r$ )	Tempo de concentração ( $T_c$ )
	Máximo	Mínimo			
Sucuru	870	446	424	309,52	117,67
Monteiro	1078	467	611	452,14	123,27
Umbuzeiro	1171	464	707	530,25	111,88
Alto Paraíba	1171	361	810	599,40	182,60

O índice de rugosidade ( $I_r$ ) é definido como o produto do relevo da bacia e sua densidade de drenagem. Segundo Altin e Altin (2011), o índice de rugosidade é um poderoso parâmetro, porque expressa a relação entre o relevo e a dissecção, de modo que bacias altamente dissecadas e de baixo relevo são tão rugosas quanto bacias moderadamente dissecadas e de alto relevo. Os resultados obtidos expressam maiores valores de  $I_r$  para a bacia principal e para a sub-bacia do Rio Umbuzeiro, valor intermediário para a sub-bacia do Rio Monteiro e baixos valores para a sub-bacia do Rio Sucuru.

De acordo com Ozdemir e Bird (2009) o índice de rugosidade indica a complexidade estrutural do terreno. Um pico de vazão maior é o resultado da eficiência da rede de canais devido a um aumento no relevo e na densidade de drenagem. Para Sreedevi *et al.* (2013) as bacias com altos valores de rugosidade são altamente suscetíveis à erosão e, portanto, suscetíveis a grandes picos de vazão.

### Considerações finais

A bacia do Alto Rio Paraíba é de 7ª ordem hierárquica, segundo a metodologia de Strahler (1952), caracterizando-se por uma extensa e complexa rede de drenagem. As sub-bacias dos Rios Sucuru e Umbuzeiro são de 6ª ordem e a partir do encontro desses rios forma-se o de 7ª ordem. Pela hierarquia de canais, o Rio Monteiro é de 5ª ordem, logo é tributário do Rio Umbuzeiro, que é de ordem superior.

A densidade de drenagem e a densidade de rios são baixas tanto na bacia principal, quanto nas sub-bacias, o que é típico de redes de drenagem em ambiente semiárido. Quanto à forma, todas as bacias são

alongadas, sendo a sub-bacia do Rio Monteiro a mais alongada dentre todas. O controle estrutural da rede de drenagem principal permitiu o seu desenvolvimento em detrimento dos canais tributários, o que promoveu o alongamento das bacias.

O relevo na bacia do Alto Rio Paraíba é de grande amplitude altimétrica, o que confere alto potencial energético para os fluxos hídricos. Dentre as sub-bacias a que possui maior amplitude de relevo é a do Rio Umbuzeiro, com um desnível de 707 metros. Outro aspecto importante sobre a altimetria reside no fato de que a sub-bacia do Rio Umbuzeiro apresenta o ponto nível mais elevado de toda a bacia do Alto Paraíba, chegando a 1171 metros de altitude. Diante das análises morfométricas da bacia, o Rio Umbuzeiro se apresenta como o principal rio da bacia do Alto Rio Paraíba.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e a FAPESQ-PB por financiarem esta pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. W., LOMBARDI NETO, F. & SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um luvisolo em Sumé (PB). **R. Bras. Ci. Solo**, 25:121-128, 2001.
- ALMEIDA, N. V. **Ordenamento territorial geoambiental da bacia Hidrográfica do rio Taperoá/semiárido paraibano**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2012.
- ALTIN, T. B. & ALTIN, B. N. Drainage morphometry and its influence on landforms in volcanic terrain, Central Anatolia,

- Turkey. **Procedia Social and Behavioral Sciences** 19 (2011) 732–740.
- BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITAFINZI, C.; SAADI, A. **Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences.* v14: 61-75, 2001
- CORREA, A.C.de B., TAVARES, B. de A. C., MONTEIRO, K. de A., CAVALCANTI, L. C. de S. e LIRA, D. R. de. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 31 (1/2), 35-52, 2010.
- ESPER ANGILLIERI, M.Y., FERNÁNDEZ, O.M., Morphometric analysis of river basins using GIS and remote sensing of an Andean section of Route 150, Argentina. A comparison between manual and automated delineation of basins: **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, v. 34, núm. 2, p. 150-156, 2017.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology: **Geological Society of America Bulletin**, 56(3), 1945 (275–370).
- JARDIM DE SÁ, E.F., SOUZA, Z.S., VASCONCELOS, P.M.P., SAADI, A., GALINDO, A.C., LIMA, M.G., OLIVEIRA, M.J.R. Marcos temporais para a evolução cenozóica do Planalto da Borborema. **X Simp. Nac. Estudos Tectônicos**, 2005.
- KANHAIYA, S.; SINGH, B. P.; SINGH, S.; PREETI MITTAL; SRIVASTAVA, V. K. Morphometric analysis, bedload sediments, and weathering intensity in the Khurar River Basin, central India. **Geological Journal**. 2018 (1–16).
- KHANDAY, M. Y. & JAVED, A. Hydrological investigations in the semi-arid Makhawan watershed, using morphometry. **Appl Water Sci**, 2017.
- LEAL, M. S. & TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de baixo, Sorocaba, SP. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 439 - 446, out. / dez. 2016.
- LIEBAULT, F.; PIÉGAY, H.; FREY, P.; LANDON, N. Tributaries and the management of main-stem geomorphology. In: Stephen P. Rice, André G. Roy and Bruce L. Rhoads. **River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network**. John Wiley & Sons, Ltd, 2008 (243-270).
- LIMA, K. C.; CUNHA, C. M. L. da & PEREZ FILHO, A. Relações entre rede de drenagem e superfícies de aplainamento semiáridas. **Mercator**, Fortaleza, v.15, n.2, p. 91-104, abr./ jun., 2016.
- MABESSONE, J. M. Panorama geomorfológico do Nordeste brasileiro. **Geomorfologia**, n.56, 1978. p.1-16.
- MAIA, R. P. e BEZERRA, F.H.R. Neotectônica, geomorfologia e sistemas fluviais: Uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 12, N. 13, p. 37-46, 2011.
- MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M.A.L.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, H.S.; MEIRELES, A.J.A.; ROTHIS, L.M. Geomorfologia do campo de inselbergues de Quixadá – NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, N16, Vol.2, 2015.
- MAIA, R. P. & NASCIMENTO, M. A. L. do. Relevos graníticos do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia** (Online), São Paulo, v.19, n.2, (Abr-Jun) p.373-389, 2018.
- MELTON, M.A. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology, **Technical Report No. 11**, Office of Naval Research Project NR 389–042, Department of Geology, Columbia University, New York, 1957.
- MENINO, I. B. e CAVALCANTI, J. A. Recursos hídricos, usos e contradições na bacia do Rio Paraíba. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.7, n.1, p.47-52, mar. 2013.
- NASCIMENTO, S.S.; LIMA, E. R. V. & LIMA, P. P. S. Uso do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. **OKARA: Geografia em debate**, v.8, n.1, p. 72-93, 2014.
- OZDEMIR, H, AND BIRD, D. Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods, **Environmental Geology**, 56, pp 1405–1415, 2009.
- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v.100, p.139-147, 2012.
- POWELL, D. M. Drylands Rivers: processes and forms. In: A.J. Parsons, A.D. Abrahams (eds.), **Geomorphology of Desert Environments**, 2nd ed., Springer Science+Business Media B.V. 2009 (333-373).
- REDDY, G. P. O., MAJI, A. K., & GAJBHIYE, K. S. Drainage morphometry and its influence on landforms characteristics in basaltic terrain, central India-a remote sensing and GIS approach. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 6, 1–16, 2004.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey: **Geological Society of**

- America Bulletin**, 67, 1956 (597–646).
- SHEREVE, R. L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, n. 74, p. 17-37, 1966.
- SILVA, L.M.T. da. Nas margens do Rio Paraíba do Norte. João Pessoa, **Cadernos do Logepa**, vol. 2, jul-dez, 2003, 74-80.
- SMITH, K. G. Standards for grading textures of erosional topography. **American Journal of Science**, 248, 655–668, 1950
- SOUZA, J. O. P. de; ALMEIDA, J. D. M. de. Processos fluviais em terras secas: uma revisão. **OKARA: Geografia em debate**, v. 9, n. 1, p. 108-122, 2015.
- SREEDEVI, P. D., SREEKANTH, P. D., KHAN, H. H., & AHMED, S. Drainage morphometry and its influence on hydrology in a semi-arid region: Using SRTM data and GIS. **Environmental Earth Science**, 70(2), 839–848, 2013.
- SREEDEVI. PD., OWAIS. S., KHAN. H., AND AHMED. S. Morphometric analysis of a watershed of south India using SRTM data and GIS, **Journal of the Geological Society of India**, 73, 2009 (543–552).
- STRAHLER, A.N. Dynamic basis of geomorphology. **Bull Geol Soc Am** 63:923–938, 1952.
- STEVAUX, J. C. & LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- TOOTH, S. AND G.C. NANSON. Equilibrium and nonequilibrium conditions in dryland rivers. **Physical Geography**, 21, 2000 (183–211).
- TOOTH, S. Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research. **Earth-Science Reviews**, v.51, p.67- 107, 2000.
- VERSTAPPEN, H. T. **Applied geomorphology-geomorphological surveys for environmental development**. New York: Elsevier, 1983 (57–83).
- VESTENA, L.R.; CHECCHIA, T. e KOBİYAMA, M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. Anais do **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Goiânia-GO, 6 a 10 de setembro, 2006.
- XAVIER, R. A.; SEABRA, V. S.; DAMASCENO, J. & DORNELLAS, P. C. da. Mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Paraíba (PB) utilizando classificação baseada em objetos. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.10, n.23, mai./ago. de 2016. p.139-152.
- WANI, M. B.; ALI, S. A.; ALI, U. Flood Assessment of Lolab Valley from Watershed Characterization Using Remote Sensing and GIS Techniques. V. P. Singh *et al.* (eds.), **Hydrologic Modeling, Water Science and Technology**, Springer Nature Singapore, 2018 (367-390).
- WOHLL, E. E. Hydrology and Discharge. In: GUPTA, A. **Large Rivers: Geomorphology and Management**, John Wiley & Sons, Ltd, 2007 (29-44).