



## Caracterização de relevo por meio de indicadores morfométricos nas faces norte e sul da Chapada do Araripe – nordeste do Brasil

*Relief characterization with morphometric indexes on the north and south faces of the Chapada do Araripe - northeast Brazil*

José Guilherme de Oliveira<sup>1\*</sup> , Leonardo José Cordeiro Santos<sup>1</sup> , Lionel Siame<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

<sup>2</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRAE, Coll France, CEREGE, Aix-en-Provence, France

E-mail: santos.ufpr@gmail.com (LJCS); siame@cerege.fr (LS)

\*E-mail para correspondência: joseguilhermegeo@gmail.com

Recebido (Received): 16/09/2021

Aceito (Accepted): 18/10/2021

**Resumo:** A chapada do Araripe, localizada na divisa entre os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco marca parte do divisor hidrográfico de 3 importantes bacias hidrográficas brasileiras, a bacia do Jaguaribe, do São Francisco e do Parnaíba. Na Chapada do Araripe, as faces norte e sul possuem características de relevo distintas, enquanto a face norte possui relevo mais declivoso e movimentado, a face sul possui vertentes mais longas e menos declivosas. O presente artigo teve por objetivo ilustrar as diferenças entre as faces da Chapada do Araripe a partir da comparação entre atributos de relevo de duas bacias hidrográficas com características representativas no contexto regional. Para atingir o objetivo foram utilizadas métricas clássicas de relevo, indicadores de forma e simetria e o índice normalizado de declividade  $K_{sn}$ . A bacia do riacho Taquari está inserida na bacia do rio Jaguaribe e apresentou respostas nos índices que evidenciam relevo mais movimentado, com maior variação ao longo de toda a bacia. Em contraste, a bacia do riacho da Brígida, localizada na bacia do rio São Francisco, mostrou menores variações de relevo, com menor amplitude altimétrica e média de declividade. Nos perfis longitudinais, os valores de  $K_{sn}$  indicam uma proximidade maior do perfil de equilíbrio na bacia do riacho da Brígida quando comparada a bacia do Taquari. A aplicação de indicadores morfométricos permitiu detalhar as duas faces da chapada, contribuindo para sua caracterização morfológica.

**Palavras-chave:** Perfil longitudinal;  $K_{sn}$ ; Geomorfometria.

**Abstract:** The Chapada do Araripe, located on the border between the states of Ceará, Piauí and Pernambuco, is part of the drainage divide of 3 important Brazilian watersheds, the Jaguaribe, São Francisco and Parnaíba watersheds. In the case of the Chapada do Araripe, the north and south faces have distinctive geomorphic characteristics, while the north face has steeper relief, the south face has longer and less sloping slopes. This article aims at illustrating the differences between the faces of the Chapada do Araripe from the comparison between relief attributes of two hydrographic basins with representative characteristics in the regional context. To achieve the objective, classical relief metrics, shape and symmetry indicators and the normalized stepness index  $K_{sn}$  were used. The basin of the Taquari is inserted in the Jaguaribe drainage basin and showed responses in the indices that indicate a more active relief, with greater variation throughout the entire basin. In contrast, the basin of the Brígida, located in the São Francisco river drainage, showed smaller geomorphic variations, with less altimetric amplitude and average slope. In the longitudinal profiles, the values of  $K_{sn}$  indicate a greater proximity of the equilibrium profile in the Brígida stream basin when compared to the Taquari basin. The application of morphometric indexes allowed detailing the two faces of the chapada, contributing to the morphological characterization.

**Key words:** Longitudinal profile;  $K_{sn}$ ; Geomorphometry.

## 1. Introdução

É notável a existência de paisagens no mundo com a presença de relevos tabulares (*tablelands*), normalmente associadas a ambientes sedimentares e áridos, mas podendo ser encontradas também em outros contextos geológicos e climáticos. Essas paisagens tabulares recebem diversos nomes, como platôs, mesas, mesetas, *butte* (DUZLINSKI; MIGOÑ; STRZELECKI, 2019) e no Brasil, a denominação “chapada” é a mais comumente empregada (ARAI, 2000).

No caso dos relevos tabulares, é praticamente consenso na literatura que a sua origem se associa a erosão diferencial de substratos litológicos distintos, com as suas superfícies elevadas sustentadas por rochas mais resistentes em relação àquelas situadas no seu entorno. Em algumas paisagens, a acumulação supérgena do ferro (ferricretes) pode sustentar relevos tabulares residuais com essas mesmas características.

Uma vez instaladas, as superfícies tabulares passam a exercer controle sobre a rede de drenagem e os divisores hidrográficos. Duzlinski, Migoñ e Strzelecki (2019), em artigo de revisão sobre o recuo de escarpas em relevos tabulares, citam os três principais padrões estruturais de controle de rede de drenagem nesse tipo de ambiente: a) O relevo tabular é inclinado para alguma direção; b) nenhuma inclinação regional é presente ou significativa; (c) a elevação regional está associada a uma distorção ampla de uma antiga bacia sedimentar.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006) classifica 8 unidades de relevo como chapadas no Brasil. Essas possuem algumas características semelhantes como o topo plano e a existência de escarpas em suas bordas, se distinguem umas das outras em diversos aspectos, como clima, vegetação, embasamento litológico, altitude, extensão e gênese (MARTINS *et al.* 2015).

Dentre essas unidades, a Chapada do Araripe, localizada próxima a divisa dos estados do Ceará, Piauí e Pernambuco integra diversas características geoambientais particulares, tornando-a com enorme potencial para o desenvolvimento de pesquisas em diversos âmbitos da ciência, sobretudo em estudos paleoambientais, paleontológicos, geomorfológicos e de geoconservação. A área engloba o primeiro Geoparque criado das Américas e o único do Brasil, com reconhecimento da UNESCO e inserido na rede mundial de GEOParks. O Geoparque Araripe, cobre os municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri, todos no estado do Ceará (BETARD *et al.* 2017). Na paisagem local da chapada do Araripe, as faces norte e sul apresentam características distintas, a face sul possui relevo mais suave enquanto a face norte relevo com maiores declividades.

Para a sua caracterização morfológica foram utilizadas técnicas clássicas de análise morfométrica e métricas modernas de extração de gradientes fluviais. Os métodos quantitativos em geomorfologia são usados desde os anos 1950, tendo como base de análise principalmente o perfil longitudinal dos rios.

O fator de assimetria (AF) (HARE; GARDNER, 1985; KELLER; PINTER, 1996, 2002) e o fator de assimetria transversa (T) (COX, 1994) são índices comumente utilizados em estudos de assimetria de bacias hidrográficas. Por meio deles é possível visualizar mudanças na inclinação perpendicular à direção de um canal. Os índices de forma da bacia de drenagem (Bs) (RAMÍREZ-HERRERA, 1998; BURBANK; ANDERSON, 2001) e Indicador de Forma da Bacia (Eb) (SCHUMM, 1956; STRAHLER, 1964) são índices que mensuram a taxa de alongamento de uma bacia e a sua forma, respectivamente.

Na literatura, é comum os autores atribuírem relação entre a forma da bacia e seu estágio evolutivo, sendo consideradas como bacias jovens aquelas que apresentam uma forma alongadas (SCHUMM, 1956; STRAHLER, 1964; BULL; MCFADDEN, 1977; RAMÍREZ-HERRERA, 1998; BURBANK; ANDERSON, 2001; EL HAMDOUNI *et al.*, 2008; SANTOS; LADEIRA; BATEZELLI, 2019).

A partir dos anos 2000, o modelo de incisão fluvial *stream power* ganhou destaque na literatura internacional pela incorporação de novas métricas de extração de gradientes fluviais. Dentre essas métricas, o índice de inclinação normalizado do canal ( $K_{sn}$ ) é amplamente utilizado (KIRBY; WHIPPLE, 2012). Esse índice mensura as variações de um perfil longitudinal pela razão existente entre a declividade e a área elevada ao índice de concavidade.

O índice de inclinação normalizado do canal ( $K_{sn}$ ) (KIRBY; WHIPPLE, 2012) vem sendo amplamente utilizado no mundo para analisar perfis longitudinais se sobressaindo sobre o índice SL (HACK, 1973), que costumava ser a principal métrica de análise de perfis longitudinais (PEIFER; CREMON; ALVEZ, 2020).

Quando comparados o índice *Slope-Lenght* - SL e o  $K_{sn}$ , na literatura, autores como Wobus *et al.* (2006) citam que “se for assumido que a taxa de incisão é relacionada à descarga fluvial os índices de inclinação normalizados podem ser uma métrica mais adequada, uma vez que contribuem com a área de drenagem (e assim, a forma da bacia) é explicitamente incorporada na análise como um proxy para descarga fluvial” (WOBUS *et al.*, 2006, p. 61).

São diversas as aplicações do índice  $K_{sn}$  em estudos geomorfológicos em diferentes regiões do mundo, por exemplo, Machuca, Delgado e Velandia (2021) em artigo que objetivou avaliar a atividade tectônica recente e a propagação lateral do anticlinal Los Cobardes, na região norte dos Andes da Colômbia, identificaram maiores valores de  $K_{sn}$  em segmentos coincidentes com *knickzones* existentes na área.

Strutch *et al.* (2019) utilizaram o  $K_{sn}$  para comprovar evidências de relevo anômalo, com o objetivo de identificar estruturas tectônicas ativas e compreender os mecanismos que impulsionam a evolução da drenagem na região da província ibérica.

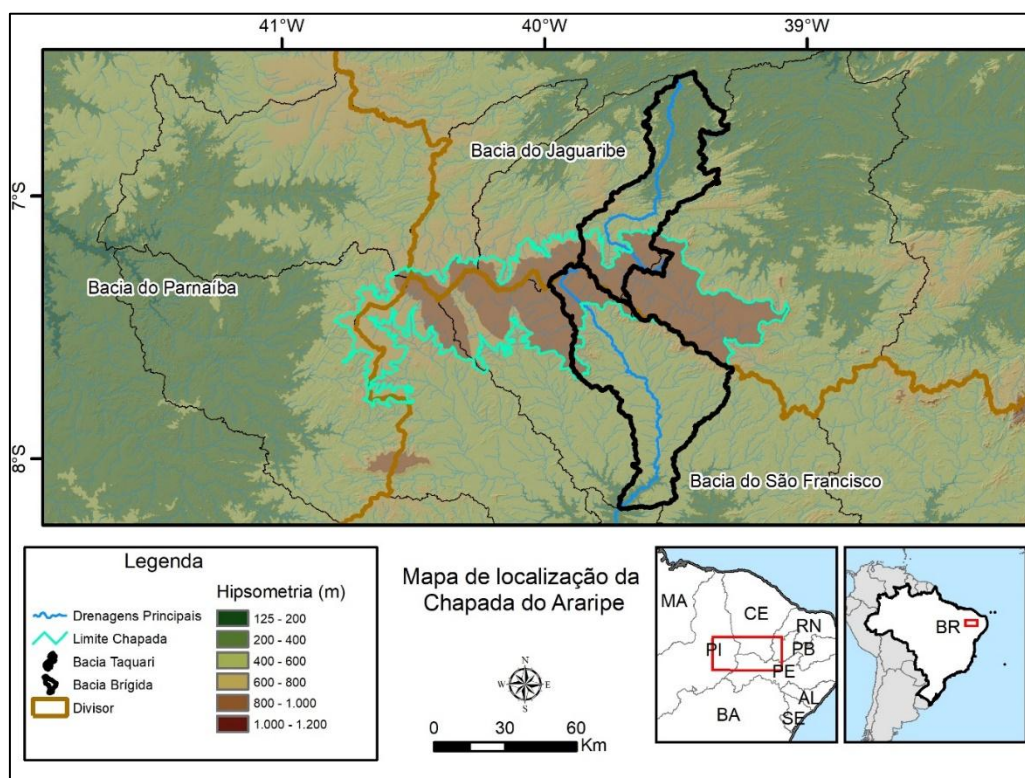
No Brasil, destaca-se a aplicação do  $K_{sn}$  nas publicações de Souza e Filho (2017) e Peifer, Cremon, Alves (2020), sendo esta última uma revisão de conceitos. Souza e Filho (2017) avaliaram as relações entre os *knickpoints*, no litoral sul do estado de São Paulo, com fatores litológicos, estruturais e processos autogênicos. Os autores concluíram que os baixos de  $k_{sn}$  indicam uma irrisória atividade neotectônica na bacia, o que segundo eles pode inclusive mascarar evidências de processos neotectônicos.

O presente artigo teve por objetivo ilustrar as diferenças entre as faces da Chapada do Araripe a partir da comparação entre atributos de relevo de duas bacias hidrográficas com características representativas no contexto regional. Procurou-se também correlacionar os resultados da análise morfométrica com as unidades litológicas presentes na área de estudo, a fim de se analisar a sua influência nas características dessas duas bacias

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo do presente artigo (**Figura 1**) se localiza entre as coordenadas 6° e 9° sul, e 39° e 40° oeste, na região nordeste do Brasil, entre os estados do Ceará e Pernambuco. Essa região é marcada pelo sobressalto topográfico da Chapada do Araripe, superfície de topo plano entre 400 e 600 metros mais elevada que o entorno, e marcada por duas faces distintas, a face norte possui um relevo movimentado, enquanto a face sul apresenta um relevo com formais mais suave.



**Figura 1:** Localização da Chapada do Araripe, em evidência ao norte bacia do riacho Taquari e ao sul bacia do riacho da Brígida. Fonte: Altimetria obtida através de dados SRTM, United States Geological Survey - USGS.

No que se refere a sua gênese, a hipótese mais aceita na literatura é de inicial inversão tectônica (MARQUES *et al.* 2014) seguida de posterior erosão diferencial (PEULVAST; BETARD, 2015), onde a formação Exu, mais resistente, sustenta o relevo de cimeira em formato de platô.

A Chapada do Araripe marca parte do divisor hidrográfico de 3 importantes bacias hidrográficas brasileiras, a porção a norte drena para a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, a sul para o São Francisco e a oeste para o Parnaíba.

Do ponto de vista geológico, a área da chapada está integralmente abrangida pela província estrutural da Borborema, porém, em porções limítrofes com a província Parnaíba, a oeste e com a província estrutural São Francisco, a sul. A província da Borborema (ALMEIDA *et al.* 1977) é um “conjunto de maciços e sistemas de dobramentos estruturados durante a orogênese Brasileira, no final do Neoproterozóico” (OLIVEIRA, 2008. p.43).

Um dos principais acontecimentos geológicos que marcam a história de formação do embasamento local remete ao Eocretácio, quando os processos de ruptura do Gondwana Ocidental levaram à abertura do Oceano Atlântico Sul, e à consequente formação dos continentes Sul-Americano e Africano. Neste momento foram formadas as bacias interiores do nordeste brasileiro, sendo as mais representativas a Bacia Sedimentar do Araripe, a Bacia Sedimentar do Rio do Peixe e a Bacia Sedimentar de Iguatu, arranjadas ao longo do trend Cariri-Potiguar (MATOS, 1992).

A bacia sedimentar do Araripe foi formada pela reativação de zonas de cisalhamento neoproterozóicas, ocorrida durante a ruptura do paleo-contidente gondwana (CASTRO; BRANCO, 1999). Entre as unidades litológicas da bacia, a formação Exu possui significativa importância pois sustenta a Chapada do Araripe. Essa formação é constituída de arenitos de origem fluvial, de sistema hidrográfico formado por rios na forma de meandros entrelaçados, cuja gênese é associada a paleobacia hidrográfica do rio São Francisco (PONTE, 1991).

A Chapada do Araripe marca duas faces com climas distintos, ao norte um clima Tropical com verões secos (As), enquanto ao sul predomina um clima Semiárido com baixas altitudes e latitudes (BSh) (ALVARES *et al.* 2013). A variação pluviométrica anual entre as bacias adjacentes a chapada chega próxima a 600 mm.

Coincidentemente, essa distinção climática vem acompanhada por diferenças nas características morfológicas das bacias hidrográficas nessas duas faces da chapada: as bacias que drenam para o rio Jaguaribe apresentam valores médios de declividade e de amplitude altimétrica maiores do que àquelas que drenam para o rio São Francisco.

As bacias estudadas estão inseridas na província estrutural da Borborema (ALMEIDA *et al.* 1977), a bacia do riacho Taquari no domínio do Rio Grande do Norte e terreno Granjeiro e a bacia do riacho da Brígida no domínio de Zona Transversal e terreno Piancó-Alto Brígida. Como a província Borborema foi produto de uma aglutinação de diversos terrenos com mais de uma orogênese (JARDIM DE SÁ *et al.* 1992, JARDIM DE SÁ, 1994, SANTOS 1996, SANTOS *et al.* 2000), distintas litologias e marcos da influência estrutural são encontrados, assim como diferentes estruturas e zonas de cisalhamento.

## 2.2 Técnicas empregadas

Para a realização do presente trabalho foram empregadas diversas técnicas, já aplicadas em diferentes áreas das geociências como: investigação de atividade tectônica, processos de capturas fluviais e evolução de divisores hidrográficos, foi utilizado ainda, como suporte, às discussões sobre a forma e a evolução dos canais e das bacias hidrográficas.

### 2.2.1 Diagramas de caixa e análise morfométrica da bacia

Foi adquirido o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado a partir dos dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros. Na literatura é comum a presença de ruídos em modelos digitais de terreno, e estes podem ter grande influência sobretudo na extração de rede de drenagem e perfis longitudinais de rios (WOBUS *et al.* 2006). Para diminuir a quantidade de ruídos, o MDE foi submetido a suavização utilizando a ferramenta *fill* no software *Arcmap* 10.3. Deste modelo, foi extraída a declividade utilizando o software *Arcmap* 10.3. O modelo e a declividade, inicialmente em formato matricial (*raster*), foram convertidos para nuvens de pontos.

Após essa etapa, os dados foram inseridos no software *Excel* 2019, e elaborados os diagramas de caixa da declividade e do próprio modelo digital do terreno classificados segundo as unidades litológicas presente na bacia.

A rede de drenagem, a delimitação das bacias hidrográficas e a drenagem principal foram extraídas no software *matlab*, seguindo os métodos descritos em Schwanghart e Kuhn (2010) e Schwanghart e Scherler (2014).

### 2.2.2 Índice de inclinação normalizado do canal ( $K_{sn}$ )

O índice inclinação normalizado do canal se baseia no modelo *streampower* de transporte de sedimentos, sendo o transporte de sedimentos e a incisão do canal, funções do gasto de energia da água quando escoar a jusante, o modelo simplificado pode ser visualizado pela fórmula a seguir (Equação 1).

$$\frac{dz}{dx} = U - kA^m \left(\frac{dz}{dx}\right)^n \quad (1)$$

onde U se refere à taxa de soerguimento, A é a área da encosta a montante, dz/dx é a declividade, e k, m e n são coeficientes.

Em estado estacionário, os processos de soerguimento e incisão estão em equilíbrio (Equação 2) de modo que a equação pode ser reorganizada (Equação 3):

$$\left(\frac{dz}{dx}\right)^n = \frac{U}{kA^m} \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dx} = \left(\frac{U}{k}\right)^{1/n} A^{-n/m}$$

$$K_{sn} = \frac{S}{A^{-\theta}} \quad (3)$$

onde  $K_{sn}$  se refere à inclinação normalizada do canal,  $\theta$  à concavidade do canal e S ao gradiente.

Os valores de  $\theta$  variam entre 0,3 e 0,8. Neste trabalho foi definido o valor como 0,45 pois é o mais recomendado na literatura (KIRBY; WHIPPLE, 2012).

### 2.2.3 Knickpoints

Os *knickpoints* foram extraídos usando a função *knickpoint finder*, presente no pacote *topotoolbox* (SCHWANGHART; KUHN, 2010). Esta função extrai seções convexas agudas no perfil do rio. Isso é realizado por um algoritmo que ajusta o perfil ascendente estritamente côncavo para um perfil real no MDE ou lista de atributos de nó z. O algoritmo suaviza o perfil de concavidade e identifica os nós que têm das maiores diferenças entre o perfil côncavo e o perfil real.

Um resumo dos índices empregados, com as fórmulas, os parâmetros utilizados e as principais referências, consta na **Tabela 1**.

**Tabela 1:** Índices empregados no presente trabalho, com suas fórmulas parâmetros e referências de onde foram retirados.

Índice	Fórmula	Parâmetros de análise	Referência
Fator de Assimetria de Bacia de Drenagem (AF)	$AF = \left(\frac{A_r}{A_t}\right) \times 100$ Onde $A_r$ = área do lado direito da bacia (visada para jusante); $A_t$ = Área total da bacia.	AF = 50% bacias perfeitamente simétricas. Quanto mais distante de 50 maior a assimetria da bacia.	(HARE ; GAERDNER, 1985; KELLER ; PINTO, 1996; EL HAMDOUNI <i>et al.</i> 2008; CHENG <i>et al.</i> 2018)
Fator de Assimetria	$T = Da/Dd$	$T = 0$ segmento	(COX, 1994)

Transverso (T) Segmento de 5 km	Onde $D_a$ = distância entre o eixo suavizado do rio e o eixo mediano da bacia; $D_d$ = distância entre o eixo mediano da bacia e o divisor.	simétricos. Quanto mais perto de 1 maior a distância entre o segmento e o centro da bacia.	
Forma de bacia de drenagem (Bs)	$B_s = B_i/B_w$ Onde $B_i$ = Extensão vetorial da nascente a foz; $B_w$ = extensão da máxima largura da bacia.	Quanto maior o valor de $B_s$ , mais alongada é a forma da bacia hidrográfica	(RAMIRES-HERRERA, 1998; BURBANK; ANDERSON, 2001; CHENG <i>et al.</i> 2018)
Indicador de forma da bacia (Eb)	$E_b = \frac{\sqrt{\frac{A_b}{\pi}}}{L_b}$ Onde $A_b$ = Área da bacia; $L_b$ = Extensão da nascente a foz.	Circular ( $E_b > 0,9$ ); Oval ( $0,9 > E_b > 0,8$ ); menos alongada ( $0,8 > E_b > 0,7$ ); Alongada ( $E_b < 0,7$ ).	(SCHUMM, 1963; STRHALER, 1964; CUONG; ZUCHIEWISKI, 2001)
Integral Hipsometrica (Hi)	$H_i = (H_{m\acute{e}dia} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$	Bacias Jovens, $H_i > 0,60$ ; bacias maduras, $0,40 > H_i > 0,60$ ; bacias antigas, $H_i < 0,40$	(STRAHLER, 1952; SCHUMM, 1956; OHMORI, 1993; EL HAMDOUNI <i>et al.</i> 2008; CHENG <i>et al.</i> 2018)
Índice de inclinação do canal normalizado ( $K_{sn}$ )	$K_{sn} = \frac{S}{A^{-0ref}}$ onde S é o gradiente, A é a área da bacia de drenagem a montante, $\Theta_{ref}$ é o índice de concavidade de referência.	Valores elevados indicam rupturas ao longo do perfil longitudinal de um rio.	(KIRBY; WHIPPLE, 2012)

Fonte: Adaptado de Santos, Ladeira e Batezelli, 2019.

### 3. Resultados

#### 3.1 análise morfométrica

As duas bacias estudadas compartilham parte de seus divisores no topo da Chapada do Araripe, em cotas altimétricas superiores a 900 m. A bacia do riacho Taquari possui  $H_{max}$  a 957 m e  $H_{min}$  a 239 m, com uma amplitude de 718 m e declividade média de 11 %. Enquanto a bacia do riacho da Brígida possui  $H_{max}$  a 976 m e o  $H_{min}$  a 365 m, com uma amplitude altimétrica de 611 m e declividade média de 6% (**Tabela 2**).

A integral hipsométrica indica que as duas bacias estão em classes distintas, enquanto a bacia do riacho Taquari se enquadra na classe ‘‘bacia madura’’ ( $H_i$  de 0,41), a bacia do riacho da Brígida é enquadrada na classe ‘‘bacia antiga’’ ( $H_i$  de 0,33). A variação dos valores, ressalta que a bacia do riacho Taquari possui área passível de ser erodida superior àquela do riacho da Brígida, o que, seguindo os preceitos desse índice, aponta que a bacia do riacho Taquari é mais jovem e conseqüentemente mais ativa do ponto de vista dos processos erosivos.

A bacia do riacho Taquari possui um índice de forma da bacia de drenagem ( $B_s$ ) de 1,7 e uma taxa de alongamento ( $E_b$ ) de 0,2, enquanto a bacia do riacho da Brígida possui um  $B_s$  de 1,9 e  $E_b$  de 0,2. Ambos os índices indicam uma tendência de forma alongada para as bacias.

**Tabela 2:** Valores de morfometria e forma das bacias.

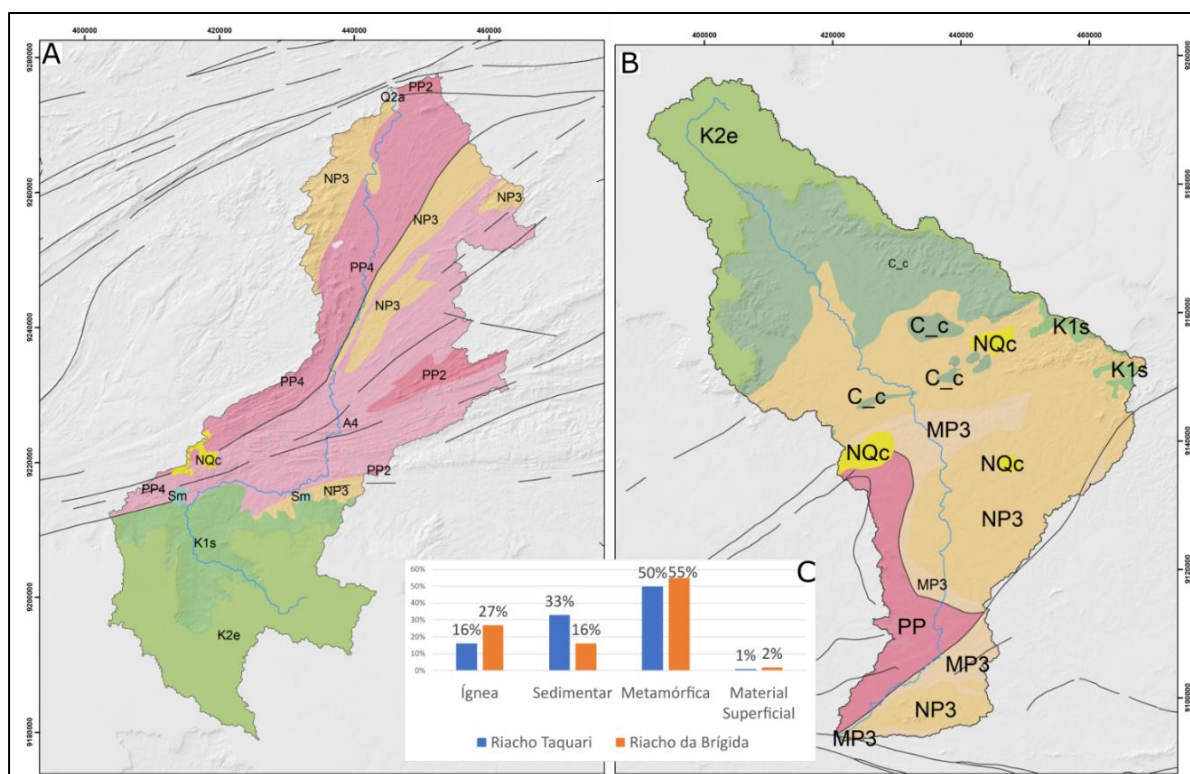
Bacia do riacho Taquari									
Área Bacia (Km <sup>2</sup> )	Altimetria (m)					Forma		Declividade (%)	
	Mínima	Média	Máxima	Amplitude	Hi	Bs	Eb	Média	DP
2444	239	529,8	957	718	0,41	1,7	0,2	11,21	10,71

Bacia do riacho da Brígida									
Área Bacia (Km <sup>2</sup> )	Altimetria (m)					Forma		Declividade (%)	
	Mínima	Média	Máxima	Amplitude	Hi	Bs	Eb	Média	DP
3357	365	564,6	976	611	0,33	1,9	0,2	6,51	8,47

Ambas as bacias englobam 9 unidades litológicas distintas, distribuídas da seguinte maneira:

- **Bacia do riacho Taquari:** unidades da bacia do Araripe (K2e – Formação Exu e K1s – Formação Santana), Sedimentos Neógenos e Quaternários (Q2a e NQc) e rochas cristalinas do Pré-Cambriano (**Figura 2a e 2c**);
- **Bacia do riacho da Brígida:** unidades da bacia do Araripe (K2e – Formação Exu e K1s – Formação Santana), Sedimentos Neógenos (NQc), granitoides do Cambriano (C\_c) e rochas cristalinas do Pré-Cambriano (**Figuras 2b e 2c**).



Legenda: Linha azul: Canal Principal; Linhas pretas: Estruturas.

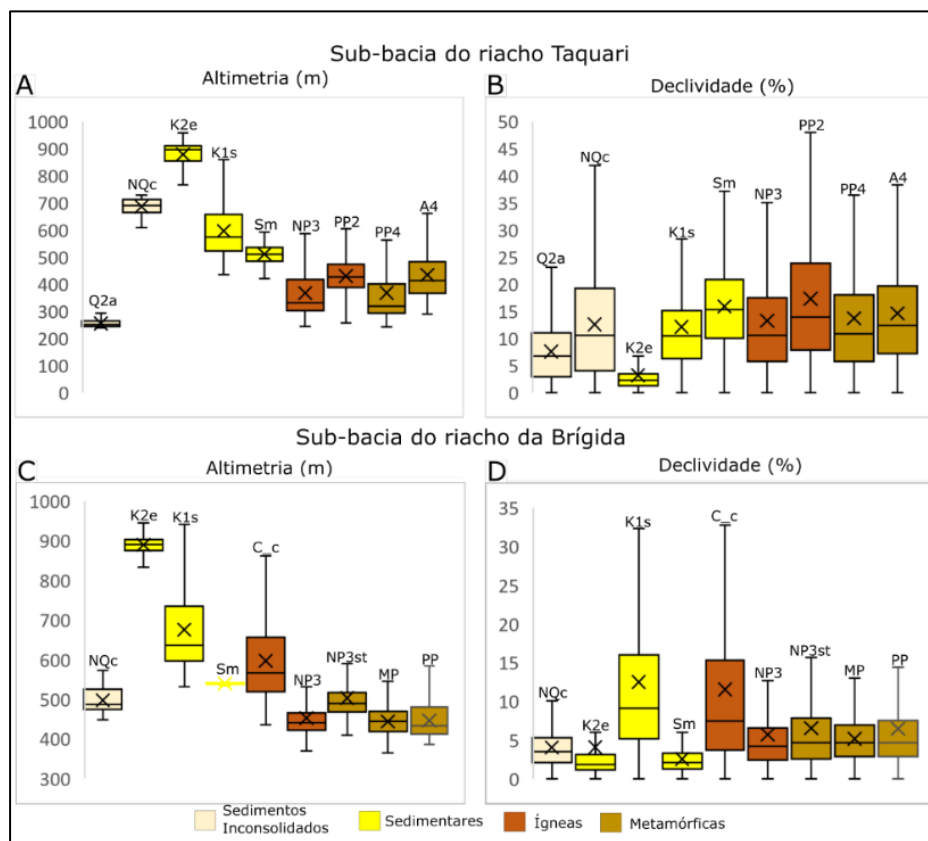
a) Bacia do Taquari - **Q2a**: Depósitos aluvionares; **NQc**: Depósitos colúvio-eluviais; **K2e**: Formação Exu - Arenitos; **K1s**: Formação Santana - Calcilitito; **Sm**: Formação Mauriti - Arenito, Conglomerado; **NP3**: Corpo Plúton Campos Sales-Açaré, Unidade Caiçu e Formação Santana dos Garrotes - Granito, Xisto, Quartzito, Diorito, Tonalito e Rochas Metavulcnicas; **PP2**: Complexos Itaizinho e Jaguaratama - Granito, Granodiorito, Migmatito, Ortognaisse e Paragnaisse; **PP4**: Suíte intrusiva Serra do Deserto - Granito, Granodiorito, Metacalcário, Gnaiss e Milonito; **A4**: Unidade Granjeiro - Metagranodiorito e Metatonalito.

b) Bacia do riacho Brígida - **NQc**: Depósitos colúvio-eluviais; **K2e**: Formação Exu - Arenito; **K1s**: Formação Santana - Calcilitito; **Sm**: Formação Mauriti - Arenito, Conglomerado; **C\_c**: Granito, Granodiorito, Monzonito, Leucogranito e Tonalito; **NP3**: Formação Santana dos Garrotes - Granito, Granodiorito e Rochas Metavulcnicas; **MP3**: Complexos Lagoa das Contendas e Salgueiro-Riacho Gravatá - Xisto, Filito, Gnaiss e Mármore; **PP**: Complexos Barro e Panamirim - Metagranito, Metassienogranito e Metamonzodiorito.

**Figura 2:** Mapa Litoestrutural. A) Bacia do riacho Taquari; B) Bacia do Riacho da Brígida; C): Gráfico com a composição litológica de cada bacia por grandes grupos. Fonte de dados geológicos: CPRM, 2004.

Analisando a declividade e a altimetria nas unidades litológicas (**Figura 3a**) da bacia do Taquari, se percebe indícios de controle do relevo pelos Arenitos da formação Exu (K2e). Essa formação representa a unidade superior da bacia do Araripe e recobre o topo da Chapada. Ao longo dessa unidade litológica a declividade é baixa e a altimetria possui valores elevados.

A unidade Depósitos Colúvio-eluviais (NQc) representa as lateritas existentes ao redor da chapada, esses fragmentos de material ferruginoso são interpretados como “feições residuais de um antigo capeamento laterítico contínuo parcialmente dissecado, pelo atual sistema de drenagem” (CORDEIRO; BASTOS; NUNES, 2018, p. 365). Estes autores associam essa unidade litológica como responsável pela manutenção de um relevo residual elevado, entre 680 e 720 metros (**Figura 3**). Costa *et al.* (2020) associam que em geral, é recorrente na região nordeste do Brasil a existência de pequenos platôs em maciços, sustentados por crostas lateríticas, entre as cotas de 600 e 700 metros.



Letras (A) e (C) Diagrama de caixa do modelo digital de elevação; letras (B) e (D) Diagrama de caixa do atributo declividade

Legenda: a) Bacia do Taquari - **Q2a**: Depósitos aluvionares; **NQc**: Depósitos colúvio-eluviais; **K2e**: Formação Exu - Arenitos; **K1s**: Formação Santana - Calcilituto; **Sm**: Formação Mauriti - Arenito, Conglomerado; **NP3**: Corpo Plúton Campos Sales-Açar, Unidade Caiçu e Formação Santana dos Garrotes - Granito, Xisto, Quartzito, Diorito, Tonalito e Rochas Metavulcânicas; **PP2**: Complexos Itaizinho e Jaguaratama - Granito, Granodiorito, Migmatito, Ortognaisse e Paragnaisse; **PP4**: Suíte intrusiva Serra do Deserto - Granito, Granodiorito, Metacalcário, Gnaiss e Milonito; **A4**: Unidade Granjeiro - Metagranodiorito e Metatonalito.

b) Bacia do riacho Brígida - **NQc**: Depósitos colúvio-eluviais; **K2e**: Formação Exu - Arenito; **K1s**: Formação Santana - Calcilituto; **Sm**: Formação Mauriti - Arenito, Conglomerado; **C\_c**: Granito, Granodiorito, Monzonito, Leucogranito e Tonalito; **NP3**: Formação Santana dos Garrotes - Granito, Granodiorito e Rochas Metavulcânicas; **MP3**: Complexos Lagoa das Contendas e Salgueiro-Riacho Gravatá - Xisto, Filito, Gnaiss e Mármore; **PP**: Complexos Barro e Parnamirim - Metagranito, Metassienogranito e Metamonzodiorito.

**Figura 3:** Diagramas de caixa

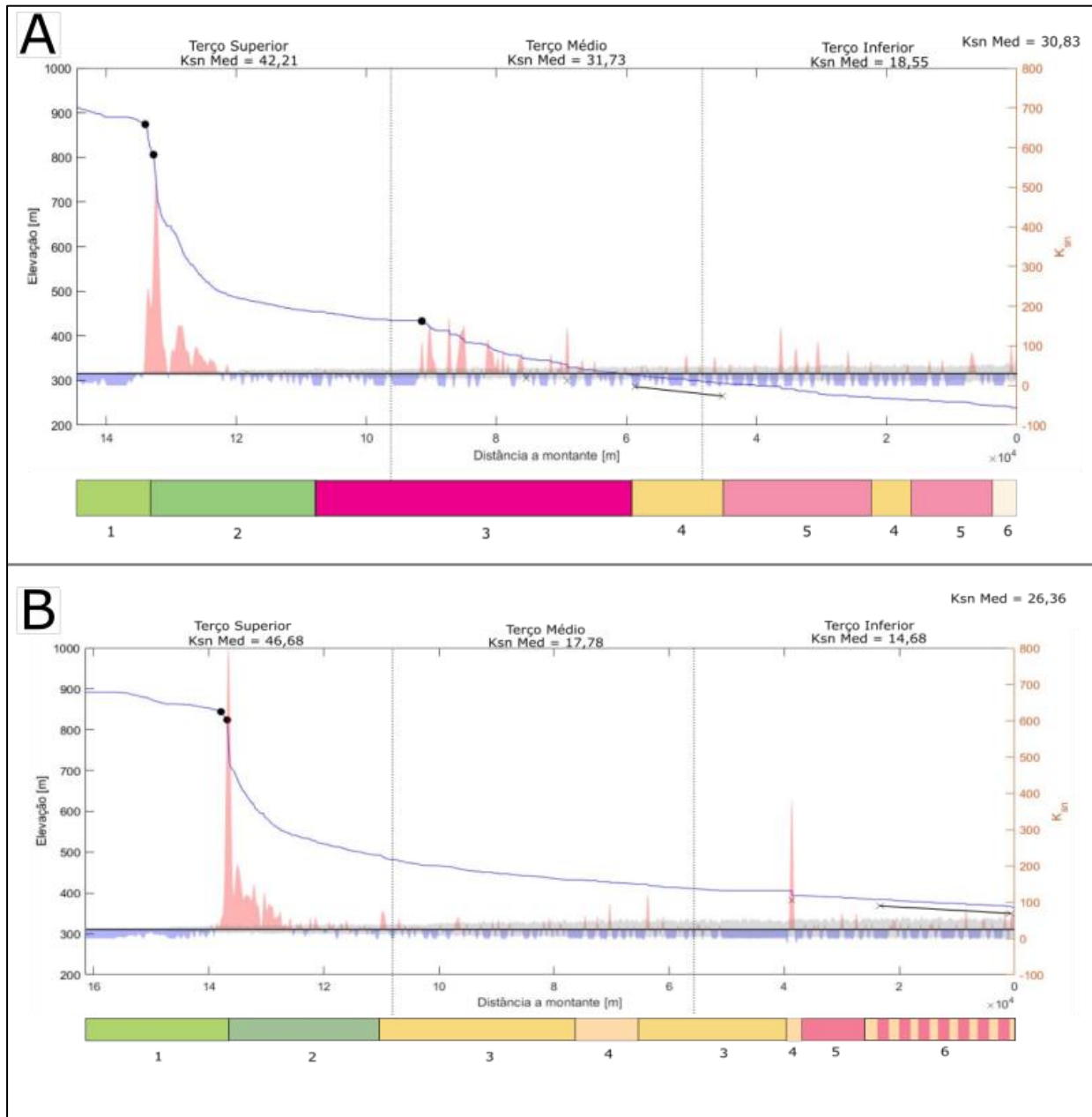
Em todas as unidades litológicas é possível notar que a declividade (**Figura 3b e 3d**) se concentra em valores mais baixos na bacia do riacho da Brígida que na bacia do riacho Taquari. A exceção acontece na unidade K2e (Arenitos da formação Exu) que em ambas as bacias apresenta valores muito próximos.

De maneira geral, a figura 3 ilustra as diferenças gerais entre as duas bacias estudadas. Em rochas ígneas e metamórficas, na bacia do Taquari os valores médios de declividade são superiores a 10%, enquanto na bacia do riacho da Brígida próximos a 5%. Por sua vez, a altimetria e a declividade são semelhantes em substratos sedimentares em ambas as bacias.



### 3.2 Análise dos perfis longitudinais e da rede de drenagem

Os perfis das bacias (**Figura 4**) se assemelham sobretudo no início do terço superior, devido a influência da chapada do Araripe. O rio principal das duas bacias tem um primeiro segmento suave, que drena no topo da chapada sobre os arenitos da formação Exu, e na sequência apresenta uma brusca ruptura de declive em direção ao restante da bacia.



A: 1 – K2e (Arenito, Siltito); 2 – K1s (Calciutito, Marga); 3 – A4 (Metagranodiorito, Metatonalito, Metapiroxenito, Metatrandhjemito); 4 – NP3 (Xisto); 5 – PP4 (Gnaiss aluminoso, Rochas metavulcânicas e metassedimentares); 6 – Q2a (Areia, Argila, Cascalho, Silte).

B: 1 – K2e (Arenito, Siltito); 2 – C\_c (Tonalito, Granodiorito); 3 – NP3 (Rochas metavulcânicas, metassedimentares e Formação ferrífera bandada); 4 – MP3 (Xisto, Filito, Formação ferrífera bandada e Rochas metavulcânicas); 5 – PP2 (Gnaiss, Migmatito); 6 – Associação MP3 e PP2.

Legenda: A linha azul é o perfil real do rio. As áreas preenchidas em azul e vermelho denotam anomalias negativas e positivas. A linha preta é o valor médio de  $K_{sn}$  e a mancha cinza denota os intervalos de aceitação de 90% em torno do  $K_{sn}$  médio. X trecho onde o rio corta lineamentos linha preta: Trecho onde o rio corre sobre lineamento. Pontos em preto representam os *knickpoints*.

**Figura 4:** Perfis longitudinais A) bacia do riacho Taquari B) bacia do riacho da Brígida.

A drenagem principal da bacia hidrográfica do riacho Taquari (**Figura 4a**) possui 144,5 km e um desnível de 697 m. Nela são visualizados 3 *knickpoints* ao longo do perfil longitudinal, desses, 2 estão no terço superior e 1 no terço médio. Os dois primeiros estão relacionados diretamente a escarpa do planalto, na transição entre as formações Exu (K2e) e Santana (K1s), ambas da Bacia sedimentar do Araripe. O terceiro *knickpoint* foi interpretado como um patamar erosivo em rochas metamórficas, a partir do ponto existe um trecho de aproximadamente 20 km com uma variação maior dos valores de  $K_{sn}$ .

Quanto aos valores do índice de inclinação do canal normalizado ( $K_{sn}$ ), o trecho do planalto sedimentar apresenta valores baixos e constantes, um valor elevado na escarpa, seguido de valores contínuos na formação Santana. Nos terços médio e inferior, os valores variam com picos relacionados a lineamentos e pequenas rupturas de declive existentes no canal. Neste trecho o canal principal corre sobre estruturas de orientação SO-NE, essa variação coincide com o intervalo onde existem indícios de controle estrutural da rede de drenagem, demonstrados na **Figura 5e**.

O canal principal do riacho da Brígida (**Figura 4b**) possui 147 km e uma variação de 498 metros. São verificados 2 *knickpoints*, situados no terço superior da bacia. Nesse setor, o canal possui uma queda abrupta, onde são visualizados os *knickpoints*, essa variação é semelhante à descrita para o perfil do riacho Taquari, porém, neste caso, o contato da formação Exu (K2e) ocorre diretamente com o embasamento, a unidade representativa ao Corpo Granitóide Bodocó (C\_c).

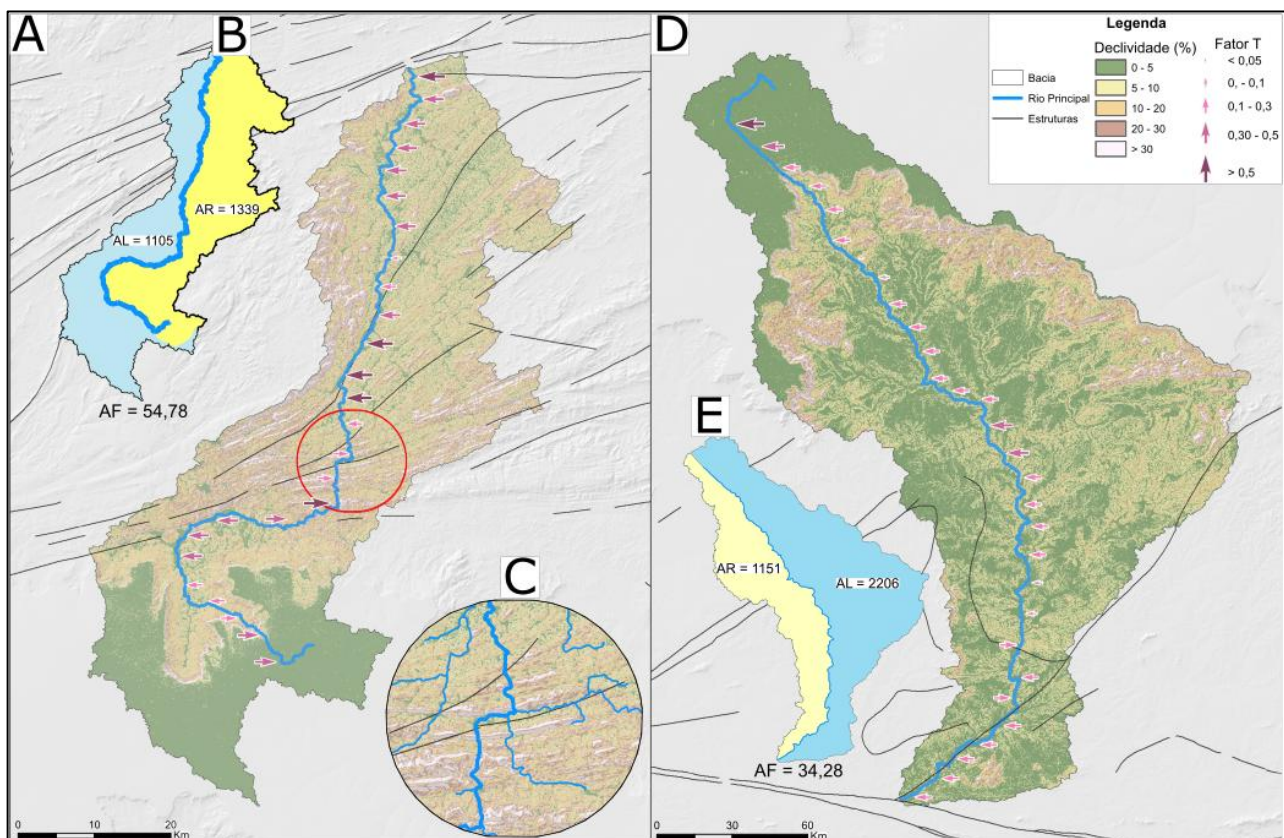
Os terços médio e inferior do canal apresentam uma pequena variação altimétrica, sobretudo no terço médio. No terço inferior, existe uma ruptura relacionada a mudança litológica entre a formação Salgueiro Riacho Gravata (MP3) e o Complexo Parnamirim (PP2), marcada por um lineamento estrutural.

Quanto ao  $K_{sn}$ , os valores em média são menores em relação a bacia do Taquari, obtendo um único ponto de valores elevados na escarpa do planalto. Sobretudo nos terços médio e inferior, os valores são constantes e baixos. Esses valores mais baixos, indicam que os terços inferior e sobretudo médio se mostram mais próximos ao perfil de um rio em equilíbrio ( $K_{sn}$  med de 17,8 e 14,7 nos terços médio e inferior, respectivamente) na bacia do riacho da Brígida quando comparados a bacia do Taquari ( $K_{sn}$  med de 31,8 e 18,6 nos terços médio e inferior, respectivamente).

A análise de assimetria das bacias de drenagem, mostrou que a bacia do riacho Taquari tem um fator de assimetria (Af) de 54,8 %, indicando que as duas margens do rio principal contam com áreas similares. Porém, ao analisar o Fator de simetria transversal (T) é possível notar que mesmo sendo relativamente simétrica (Af próximo de 50%) quanto a área das margens, o canal principal possui uma variação significativa do ponto inicial até o exutório (5 pontos com fator T acima de 0,5). (**Figura 5a e 5b**)

Na bacia do riacho Taquari, o primeiro ponto com valores elevados de fator T é acompanhado de rede de drenagem em padrão treliça (**Figura 5c**), esse padrão é normalmente associado a redes com forte controle estrutural, onde o canal principal passa por inflexões abruptas, próximas a 90°. Os pontos restantes com fator T acima de 0,5 estão associados sobretudo a estruturas como a zona de cisalhamento compressional Farias Brito, controlando o trecho do terço médio da bacia onde o canal principal drena na direção SO-NO, neste trecho o canal principal é retilíneo.

Se por um lado, na bacia do riacho Taquari, o Af indica valor próximo da simetria e valores do Fator T heterogêneos, concentrados em trechos específicos, a bacia do riacho da Brígida apresenta o inverso. Enquanto o Af é 34,3 %, mostrando que a área a margem da margem esquerda do canal principal é quase o dobro da margem direita, o fator T é constante e baixo ao longo do canal. Esses valores indicam uma inclinação geral da bacia para direita e um menor controle estrutural (**Figura 5d e 5e**).



Legenda: Direção da Seta indica posição do canal frente a linha central da bacia hidrográfica

A) Fator de Assimetria Transverso (T) da bacia do riacho Taquari; B) Fator de Assimetria da Bacia (AF) da bacia do riacho Taquari; C) Recorte da bacia do riacho Taquari com drenagem em treliça. D) Fator de Assimetria Transverso (T) da bacia do riacho da Brígida; E) Fator de Assimetria da Bacia (AF) da bacia do riacho da Brígida;

**Figura 5:** Atributos da forma das bacias estudadas.

#### 4. Considerações finais

A utilização de indicadores morfométricos clássicos aliados aos propostos recentemente na literatura, permitiu detalhar as duas faces da chapada, contribuindo para sua caracterização morfológica, como também na aquisição de dados para serem utilizados em estudos futuros.

A análise morfométrica e dos perfis longitudinais evidenciou diferenças nas duas bacias hidrográficas. A bacia do riacho Taquari possui relevo movimentado, maior média de declividade, maior quantidade de *knickpoints*, enquanto a bacia do riacho da Brígida conta com um relevo suave, com menor amplitude altimétrica, média de declividade menor, e perfil longitudinal mais equilibrado, com uma curva côncava em praticamente todo o terço médio e inferior.

A aplicação do índice normalizado de declividade  $K_{sn}$  se mostrou como uma ferramenta de grande valia na comparação dos canais das bacias do riacho Taquari e da Brígida, evidenciando as diferenças nos terços médio e inferior dos canais principais.

Os índices de forma e de forma e de simetria apontaram a bacia do riacho Taquari como sendo mais alongada, com maior simetria geral, porém com uma variação elevada nos segmentos de drenagem, relacionada sobretudo ao sistema estrutural da região. Por sua vez a bacia do riacho da Brígida apresentou baixa simetria geral, com 65% da área total da bacia hidrográfica localizada entre o canal principal e o divisor hidrográfico leste da bacia.

Os resultados indicaram correlação entre relevo, unidades litológicas e estruturas, como exemplo destacando-se os *knickpoints* e os padrões de drenagem. Levando em consideração que a área estudada nesse artigo foi selecionada por representar as características regionais das bacias hidrográficas que drenam a chapada do Araripe, as diferenças visualizadas entre bacias dos riachos Taquari e da Brígida auxiliarão em estudos posteriores que levem em consideração as outras bacias que drenam a partir da chapada.

A diferença climática entre as faces da chapada leva um aporte hidrológico maior a face norte em comparação a face sul. São 235 mm de diferença na pluviosidade média anual, a bacia do riacho da Brígida

recebe 749 mm e a bacia do Taquari 984 mm. Em um ambiente de vegetação esparsa e solo exposto, 235 mm de precipitação anual a mais podem intensificar os processos erosivos, ajudando a explicar as diferenças nas métricas de relevo entre as bacias hidrográficas estudadas.

## Referências

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, H.A. Províncias Estruturais Brasileiras. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*. 1977, Campina Grande, **Anais...Campina Grande, Atas**, Boletim 6, p. 363-391.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- ARAI, M. Chapadas: relict of mid-cretaceous interior seas in Brazil (1). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 436-438. 2000. [10.25249/0375-7536.2000303436438](https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000303436438).
- BÉTARD, F.; PEULVAST, J.P.; MAGALHÃES, A.; NETA, M.L.C.; FREITAS, F.I. Araripe Basin: A Major Geodiversity Hotspot in Brazil. **Geoheritage** 10, 543–558. 2017. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0232-5>.
- BURBANK, D. W.; ANDERSON, R.S. **Tectonic geomorphology**. Massachusetts: Blackwell Science, 274p. 2001.
- CASTRO, D. L.; BRANCO R. M. G.C. Caracterização da arquitetura interna das bacias do Vale do Cariri (NE do Brasil) com base em modelagem gravimétrica 3-D. **Revista Brasileira de Geofísica** 17.2-3: 130-144. 1999.
- CHENG, Y.; HE, C.; RAO, G.; YAN, B.; LIN, A.; HU, J.; YU, Y.; YAO, Q. Geomorphological and structural characterization of the southern Weihe Graben, central China: Implications for fault segmentation. **Tectonophysics**, v. 722, p. 11-24. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.10.024>.
- CORDEIRO, A.B.N.; BASTOS, F.H.; MAIA, R.P. Formações Concrecionárias e Aspectos Genéticos e Evolutivos do Maciço do Quincuncá, Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2. 2018. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1330>.
- COSTA, L. R. F.; MAIA, R. P.; BARRETO, L. L.; CLAUDINO SALES, V. C. Geomorfologia do nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1. 2020. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1447>.
- COX, R.T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Geol. Soc. Am. Bull.**, v. 106, p. 571-581. 1994.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2004. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**.
- CUONG, N.Q.; ZUCHIEWICKZ, W.A. Morphotectonic properties of the Lo River Fault near Tam Dao in North Vietnam. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 1, p. 15–22. 2001.
- DUSZYŃSKI, F.; MIGOŃ, P.; STRZELECKI, M.C. Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes—Landforms, mechanisms and patterns. **Earth-Science Reviews**, p. 102890. 2019. [10.1016/j.earscirev.2019.102890](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102890).
- EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, T.; KELLER, E.A. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). **Geomorphology**, 96, 150–173. 2008. [10.1016/j.geomorph.2007.08.004](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004).
- HACK, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **US Geological Survey Journal of Research**, v. 1, n. 4, p. 421- 429. 1973.

- HARE, P.W.; GARDNER, T.W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In MORISAWA, M.; HACK, J.T. (Eds.) **Tectonic Geomorphology**. Allen and Unwin, Boston, 1985. p. 75–104.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Mapa de **Unidades de Relevo do Brasil, 2006. Escala 1:5.000.000**. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE.
- JARDIM DE SÁ, E.F.; FUCK, R.A.; MACEDO, M.H.F.; KAWASHITA, K. Terrenos Proterozóicos na Província Borborema e a margem Norte do Cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, 22(4):472-480. 1992
- JARDIM DE SÁ, E.F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasiliana/Pan-Africana**. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 804 p. 1994.
- KELLER, E.A.; PINTER, N. (Eds.). **Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape**. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 338p.
- KIRBY, E.; WHIPPLE, K.X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54-75, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.009>.
- MACHUCA, S.; GARCÍA-DELGADO, H.; VELANDIA, F. Studying active fault-related folding on tectonically inverted orogens: A case study at the Yariguíes Range in the Colombian Northern Andes. **Geomorphology**, v. 375, p. 107515, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107515>.
- MARQUES, F. O.; NOGUEIRA, F. C. C.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, D. L. The Araripe Basin in NE Brazil: An intracontinental graben inverted to a high-standing horst. **Tectonophysics**, 630, 251-264. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.029>.
- MARTINS, F. P.; SALGADO, A. A. R.; CARMO, F. F.; MAFFRA, M. A. As chapadas brasileiras e a legislação ambiental: conflito de conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3. 2015. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i3.678>.
- MATOS, R.M.D. The Northeast Brazilian Rift System. **Tectonics**, 11(4):766-791. 1992.
- OHMORI, H. Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. **Geomorphology**, 8(4), 263-277. 1993.
- OLIVEIRA, R.G. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozoico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil)**. PhD thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 411 p. 2008.
- PEIFER, D. CREMON, E.H. ALVES, F.C. Ferramentas modernas para a extração de métricas de gradientes fluviais a partir de MDEs: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, 2020. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1732>.
- PEULVAST, J. P.; BETARD, F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, 233, 20-40. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.009>.
- PONTE, F. C. Sistemas Depositionais na Bacia do Araripe. Rio de Janeiro, PETROBRÁS – CENPES – DIVEX – SEBIPE. Relatório Interno, p. 1 – 22. 1991.
- RAMÍREZ-HERRERA, M.T. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. **Earth Surf. Proc. Land.**, v. 23, p. 317–332, 1998.
- SANTOS, E.J. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1996. Salvador, **Anais**, 6:47-50.

SANTOS, E.J.; BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, V.C. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. *In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 2000. Rio de Janeiro, Brazil, General Symposia, Tectonic Evolution of South American Platform, 9-5, 1 cd-rom..*

SANTOS, M.; LADEIRA, F. S. B.; BATEZELLI, A. Indicadores geomórficos aplicados à investigação de deformação tectônica: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, p. 287-316. 2019. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1564>.

SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SOUZA, A.O.; FILHO A.P. Aplicação do Ksn Index e do SL Index no Estudo dos knickpoints no perfil longitudinal do Rio Ribeira de Iguape-SP. **Revista do Departamento de Geografia**. 208-217. 2017. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132180>.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological society of America bulletin**, v. 63, n.11, p. 1117-1142. 1952.

STRAHLER, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In CHOW, V.T. (Ed.) **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw Hill Book.

STRUTH, L.; GARCIA-CASTELLANOS, D.; VIAPLANA-MUZAS, M.; VERGÉS, J. (2019). Drainage network dynamics and knickpoint evolution in the Ebro and Duero basins: From endorheism to exorheism. **Geomorphology**, 327, 554-571. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.11.033>.

SCHWANGHART, W.; KUHN, N.J. TopoToolbox: A set of Matlab functions for topographic analysis: **Environmental Modelling & Software**, v. 25, p. 770-781. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.12.002>.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. TopoToolbox 2–MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in **Earth surface sciences: Earth Surface Dynamics**, v. 2, p. 1-7. 2014. <https://doi.org/10.5194/esurf-2-1-2014>.

WOBUS, C.; WHIPPLE, K.X.; KIRBY, E.; SNYDER, N.; JOHNSON, J.; SPYROPOLOU, K.; CROSBY, B.; SHEEHAN, D., 2006. Tectonics from topography: procedures, promise, and pitfalls. In: Willett, S.D., Hovius, N., Brandon, M.T., Fisher, D.M. (Eds.), **Tectonics, Climate, and Landscape Evolution. Geological Society of America Special Paper**, vol. 398, pp.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual (CC BY-NC-SA)*.