

ANOMALIAS DE VALORES DE K_{SN} E LINEAMENTOS DE RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPOJUCA (BRASIL): EVIDÊNCIA DE CONTROLE ESTRUTURAL

Jonas Herisson Santos de Melo

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Departamento de Ciências Geográficas, Recife, PE, Brasil
jonas.melo@ufpe.br

Wemerson Flávio da Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Departamento de Ciências Geográficas, Recife, PE, Brasil
wemerson.fsilva@gmail.com

Oswaldo Girão

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Departamento de Ciências Geográficas, Recife, PE, Brasil
osgirao@gmail.com

Kleython de Araújo Monteiro

Universidade Federal de Alagoas – UFPE
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, AL, Brasil
kleython.monteiro@igdema.ufal.br

Daniel Rodrigues de Lira

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Departamento de Ciências Geográficas, Recife, PE, Brasil
daniel.rlira@ufpe.br

RESUMO

O controle estrutural na bacia hidrográfica do rio Ipojuca é evidenciado por dados morfométricos, como forma e contexto geológico, considerando a rede de drenagem sobre a Zona de Cisalhamento Pernambuco. Métodos como relação de bifurcação, curva hipsométrica, inclinação de canal, perfil longitudinal, lineamentos de relevo e cálculo de relevo local foram utilizados para entender esse controle. A metodologia aplicada revelou resultados que confirmam os aspectos morfométricos observados na bacia, como relação de bifurcação de 4,14, indicando controle estrutural na drenagem. A forma alongada da bacia, a curva integral hipsométrica, mostram características maduras, mas longe do equilíbrio, e a alta densidade de lineamentos de relevo em cotas altimétricas, especialmente no baixo curso. O alto curso apresenta rebaixamento, abaixo do perfil ideal, e indícios de possível captura fluvial em relação à bacia do rio Ipanema. Esse estudo fornece resultados quantitativos sobre os controles estruturais na bacia do rio Ipojuca, especialmente condicionados ao Lineamento Pernambuco.

Palavras-chave: Análise morfométrica. Geomorfologia estrutural. Planalto da Borborema.

K_{SN} VALUE ANOMALIES AND RELIEF LINEAMENTS IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE IPOJUCA RIVER (BRAZIL): EVIDENCE OF STRUCTURAL CONTROL

ABSTRACT

Structural control in the hydrographic basin of the Ipojuca River is evidenced by morphometric data, such as shape and geological context, considering the drainage network over the Pernambuco Shear Zone. Methods such as bifurcation ratio, hypsometric curve, channel slope, longitudinal profile, relief lineaments, and local relief calculation were used to understand this control. The applied methodology confirmed the morphometric aspects observed in the basin, such as a bifurcation ratio of 4.14, indicating structural control in the drainage. The elongated shape of the basin, the integral hypsometric curve, shows mature characteristics but far from equilibrium, and the high density of relief lineaments at high altitudes, especially in the lower course. The upper course presents an incision below the ideal profile and indicates possible fluvial capture concerning the Ipanema River basin. This study provides quantitative results on the structural controls in the Ipojuca River basin, especially conditioned by the Pernambuco Lineament.

Keywords: Morphometric analysis. Structural geomorphology. Borborema Plateau.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são elemento de suma importância em diversos aspectos e esferas científicas. Dentro de uma abordagem geomorfológica, são um dos mais importantes elementos responsáveis pelo modelado do relevo, sendo compreendidas como um sistema aberto onde ocorrem entrada e saída de energia e material (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Tais sistemas podem sofrer influências de agentes internos e/ou externos, dentre estes agentes, o fator litológico/estrutural possui grande importância, tendo em vista que as estruturas geológicas como falhas e/ou zonas de cisalhamento podem influenciar sobre a forma e a dinâmica processual fluvial de uma rede de drenagem.

Os aspectos estruturais são de grande importância para o desenvolvimento de bacias hidrográficas, pois podem influenciar na drenagem de bacias hidrográficas de diferentes ordens hierárquicas, o que pode resultar em um baixo desenvolvimento de canais de ordens mais elevadas, como se pode observar na bacia hidrográfica do rio Ipojuca (BHRI), localizada no estado de Pernambuco, desenvolvendo-se sobre a Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE) com a presença de um elevado número de canais de 1ª ordem.

Partindo desta perspectiva, a partir da aplicação de dados morfométricos, foi observado o forte controle estrutural presente na BHRI, tendo como principal condicionante a presença da ZCPE. O canal principal segue a direção preferencial controlada pela respectiva Zona de Cisalhamento (*trend* E-W), juntamente com o formato mais alongado da bacia hidrográfica.

O Lineamento Pernambuco se configura em uma zona de cisalhamento desenvolvida nos estágios finais da Orogenia Brasileira que separa a Zona Transversal e o Domínio Meridional, ou seja, domínios tectônico estratigráficos que formam os segmentos tectônicos da Província Borborema (JARDIM DE SÁ, 1994; VAN SCHMUS et al., 1995; BRITO NEVES, SANTOS e VAN SCHMUS, 2000; SANTOS et al., 2000; DELGADO et al., 2003; CAXITO et al., 2020). Especificamente, a Zona Transversal (setor entre a Zona de Cisalhamento Pernambuco e Zona de Cisalhamento Patos), trata-se estruturalmente, de um sistema anastomosado de zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais de direção E-W e preferencialmente sinistrais de direção NE-SW (BRITO NEVES, SANTOS e VAN SCHMUS, 2000; DELGADO et al., 2003).

Sobre a Zona Transversal ocorre as Zonas de Cisalhamento subsidiárias de sentido NE-SW conectando as Zonas de Cisalhamento Patos e Pernambuco (CAXITO et al., 2020). Dentre as divisões e subdivisões da Província Borborema, mais especificamente a Zona Transversal, proposta pela revisão feita por Caxito et al. (2020) a Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca se encontra dentro do subdomínio geológico Rio Capibaribe (RC). De acordo com Davison et al., (1995) a Zona de Cisalhamento foi inicialmente interpretado como uma zona de cisalhamento contínua possuindo 700 km de comprimento, contudo, trabalhos mais detalhados descrevem disparidade da zona de cisalhamento Pernambuco, composto por dois segmentos distintos, não ligados, sendo um a oeste possuindo largura de até 10 km, caracterizado por um metamorfismo de alta temperatura de tendência E-SE e outro setor mais estreito a leste com tendência E-NE (NEVES e MARIANO, 1999; NEVES et al., 2021).

O presente estudo tem como principal objetivo expressar o alto controle estrutural presente na BHRI diante da significativa influência da ZCPE, através da aplicação de índices morfométricos. Portanto, compreender como o contexto morfoestrutural comandado pela estrutura subjacente reflete no perfil de equilíbrio da respectiva bacia hidrográfica, indicando uma ideia preliminar o desenvolvimento evolutivo desse setor da Escarpa Oriental do Planalto da Borborema. Pesquisas anteriores como a de Monteiro, Tavares e Correa (2014) e Monteiro e Correa (2020) já analisaram a presente bacia hidrográfica utilizando o Índice de Hack (IH), todavia, a contribuição deste trabalho é a aplicação de outros métodos morfométricos com intuito de trazer outras formas de interpretação da BHRI.

MATERIAIS E MÉTODOS

A imagem do Modelo Digital de Elevação utilizada como base foi adquirida a partir do Copernicus DEM, baseado nos dados de satélite de radar adquiridos durante a Missão TanDEM-X, obtida através da base *Open Topography*, fornecendo acesso ao DSM global de 30 m (GLO-30). Os presentes dados foram tratados retirando dados espúrios, para a realização dos procedimentos de geração de dados,

que ocorreram através do pacote *Topotoolbox*, para o software *MATLAB* e cálculos geométricos envolvendo forma da bacia, extração de feições lineares e confecção de mapas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Área de estudo

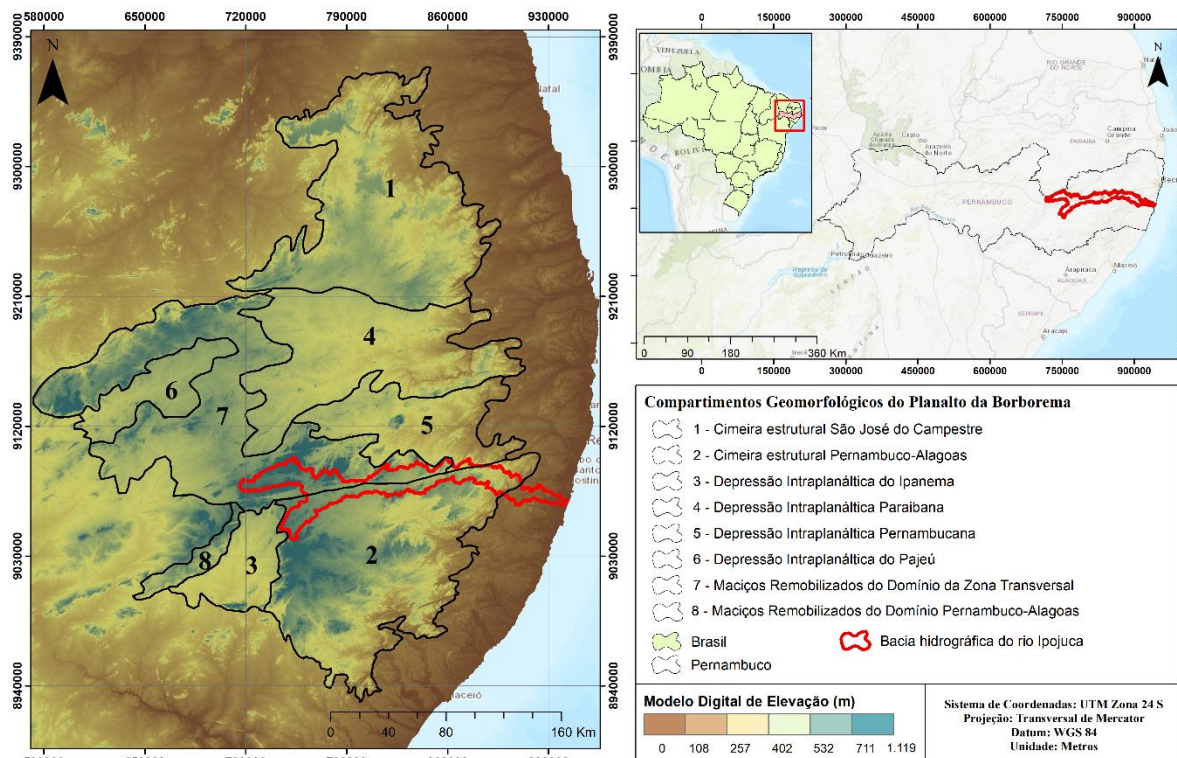
A área de estudo em questão, a BHRI, tem grande parte do seu trecho encaixado na ZCPE, possui direção W-E com extensão superior a 250 km e padrão de regime intermitente entre o alto para médio curso e perene entre o médio e baixo curso dentro do contexto da Escarpa Oriental do Planalto da Borborema constatado por Monteiro, Tavares e Correa (2014) e Monteiro e Correa (2020).

Como a BHRI drena desde áreas secas e subúmidas, com déficit hídrico, até áreas úmidas em um total de 150 quilômetros de extensão, percorre áreas com chuvas concentradas ao longo de três meses (maio a julho), em formas de precipitações moderadas a torrenciais, em sua grande maioria, encontrando áreas com precipitações mais volumosas e regulares já próximo à sua foz (MONTEIRO; TAVARES; CORREA, 2014).

Aspectos geomorfológicos

Em seu contexto geomorfológico, a BHRI se encontra inserida majoritariamente sobre o Planalto da Borborema, de maneira mais específica de forma mais assídua entre os compartimentos: Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas e Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, onde pode ser observado que o flanco setentrional da BHRI tem uma maior área inserida dentro do compartimento dos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, e seu flanco meridional está inserido no compartimento da Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, conforme Figura 1 (CORRÊA et al., 2010).

Figura 1 - Localização da BHRI no contexto geomorfológico do Planalto da Borborema, 2023.



Fonte - Corrêa et al., 2010. Elaboração: Os autores, 2023.

Com relação às características dos compartimentos que estão inseridos no presente estudo, a Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, é definido na paisagem do Planalto da Borborema, em direção Norte-Sul, a partir de imediações do município de São Caetano-PE, assumindo feições topográficas com características homogêneas em relação aos setores circunvizinhos, onde predominam cristas e relevo residuais (CORRÊA et al., 2010). Ao longo de um transecto pelo eixo central desta unidade, que se estende através da BR-423 entre os municípios pernambucanos de São Caetano e Garanhuns, se destaca uma topografia caracterizada por cimeiras planas com variação altimétrica de 600 a 700 metros (CORRÊA et al., 2010).

Tais características são resultados da combinação de fatores como, a homogeneidade litológica do Maciço Pernambuco-Alagoas, seu afastamento do Domínio da Zona Transversal e, por fim, o próprio posicionamento entre os eixos de arqueamento da região, que teria permitido a este compartimento uma evolução morfogenética como cimeira de planalto (MONTEIRO e CORRÊA, 2020).

De acordo com Monteiro, Tavares e Corrêa (2014), o único ressalto estrutural deste compartimento que pode ser designado de “planalto” *stricto sensu* é o patamar erosivo de Garanhuns, que se constitui numa das superfícies com maior nível altimétrico do Planalto Borborema (900 - 1.000 metros) e está estruturado numa faixa de quartzitos, orientada a grosso modo, E-W, relacionada ao complexo Belém do São Francisco (Mesoproterozóico). Contudo, não se descarta a possibilidade deste nível também estar condicionado por um eixo de arqueamento, devido à sua proximidade do rebordo oriental do planalto.

Os Maciços Remobilizados do Domínio Transversal, correspondem à área morfologicamente mais afetada pelos arqueamentos que atuaram sobre o planalto, exibindo as cimeiras mais elevadas e os relevos mais vigorosos. Situada numa faixa de direção preferencial aproximada E-W entre os estados de Pernambuco e Paraíba, nesta zona o termo genérico “planalto” é pouco esclarecedor do aspecto real da paisagem. Assim, há uma sucessão de maciços isolados, cristas e depressões intraplanálticas estreitas. Este setor do planalto tem forte condicionamento pela presença de intrusões brasileiras de diversas dimensões, resultando em uma série de maciços residuais, alguns com expressa área aflorante (CORRÊA et al., 2010).

Aspectos geológicos

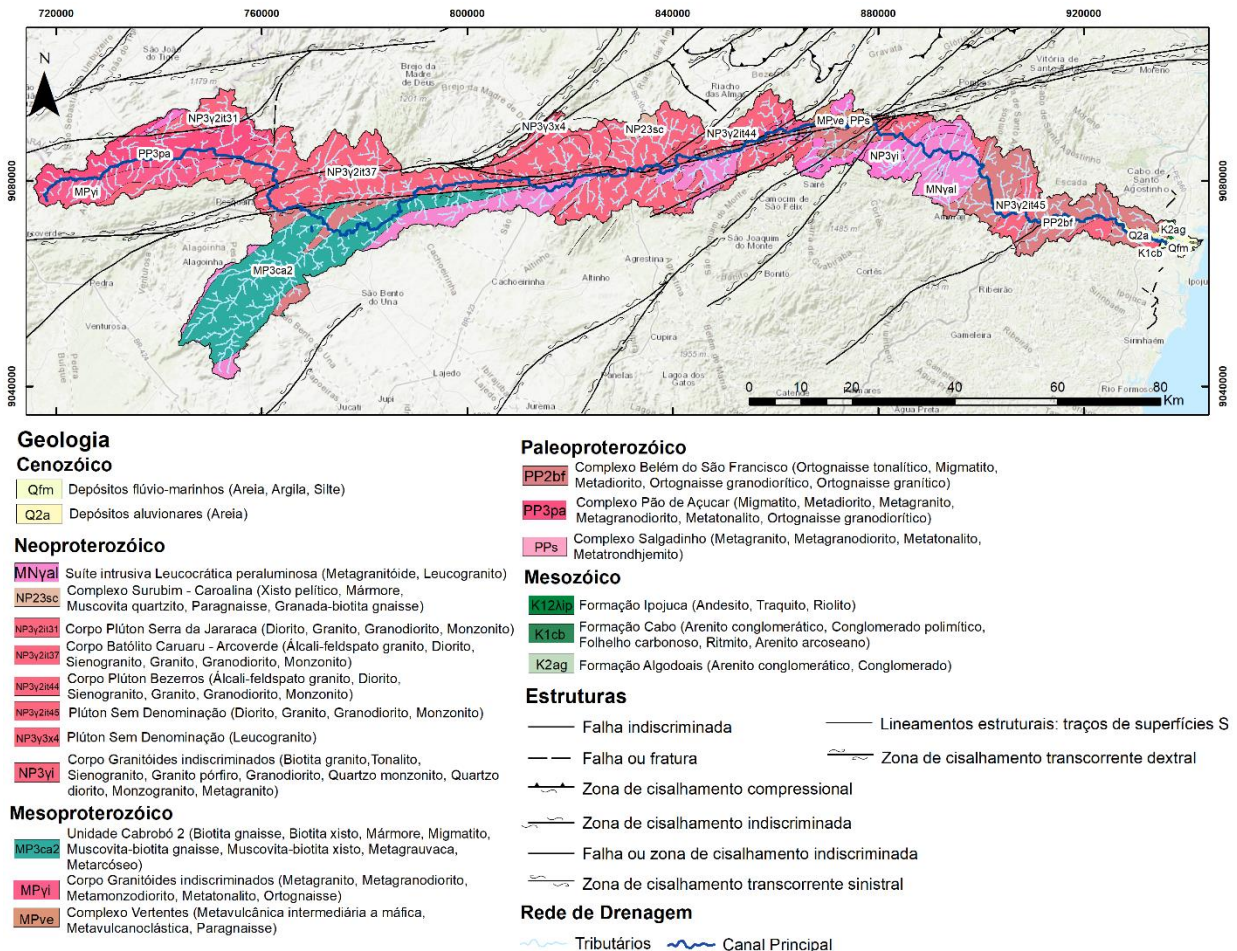
Em seu contexto geológico, a BHRI possui litologias que datam do Mesozóico e Cenozóico, sendo composto por diversas unidades geológicas, que em grande parte são compostas por rochas ígneas e metamórficas, salvo áreas que estão localizados em sua foz, compostas por rochas sedimentares, onde compõem depósitos flúvio-marinhos e aluvionares (MONTEIRO; TAVARES e CORRÊA, 2014; MONTEIRO e CORRÊA, 2020).

Se tratando das estruturas geológicas presentes na BHRI, a presença de zonas de cisalhamento se destaca, quando comparada a outros tipos de estruturas, com direção preferencial no E-W/ W-E se destacam as zonas de cisalhamento dextrais, que cortam o médio e alto curso da bacia hidrográfica em questão (Figura 2). Ainda no médio curso da BHRI, é possível observar a presença de zonas de cisalhamento sinistrais, com direção preferencial NE-SW/ SW-NE (MONTEIRO; TAVARES; CORREA, 2014).

Ainda com relação às zonas de cisalhamento, o Serviço Geológico do Brasil, em seu Programa de levantamento de dados geológicos do Brasil (CPRM, 2000), aponta que a evolução dos principais lineamentos transcorrentes do Nordeste oriental brasileiro, que têm sentido NE-SW são mais recentes, já os que possuem sentido E-W estavam contidos no contexto de deformação progressiva durante o

Evento Brasileiro, deformação que pode ser evidenciada com a presença de uma grande população de zonas de cisalhamento em detrimento das falhas, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, 2023.



Fonte - CPRM, 2000. Elaboração: Os autores, 2023.

Hierarquização de canais fluviais

A hierarquização da rede de drenagem é entendida como a classificação de rios ou canais. Através da aplicação da mesma, torna-se possível estabelecer parâmetros que podem ser utilizados em diversas possibilidades analíticas, entre elas as análises morfométricas, de maneira a tornar mais objetiva a aplicação de outros índices. De acordo com Christofolletti (1980) a hierarquia de rede de drenagem consiste no processo de estabelecer a classificação de determinado curso d'água, ou área que lhe pertence, no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra.

A ordem de um canal é medida a partir de sua posição na hierarquia dos afluentes (HORTON, 1945). Os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem afluentes, os canais de segunda ordem são aqueles que possuem apenas canais de primeira ordem como tributários, da mesma forma que os de terceira ordem recebem córregos de primeira e segunda ordem como tributários e assim por diante (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Embora as determinações de Horton tenham sido pioneiras e seguidas por diversos pesquisadores (CHRISTOFOLETTI, 1980), outras proposições ganharam destaque nos estudos geomorfológicos como a hierarquização de Strahler (1952), tal destaque se deve pela otimização da determinação do ordenamento do canal principal.

Um dos principais pontos da proposta de hierarquização de Strahler (1952), em comparação a de Horton, é que no sistema apresentado, o canal principal não necessita manter de forma constante o número de ordem da nascente até a última confluência, mantendo ainda as regras no que se refere à determinação dos canais de 1ª ordem e geração de canais de ordem superior. Onde, de maneira geral, a confluência de dois canais de ordem igual, dão início a um segmento de ordem superior, o qual recebe afluentes de qualquer ordem inferior à sua e que, ao confluir com um segmento de ordem igual, gera um novo segmento de ordem imediatamente superior.

Relação de bifurcação

Horton (1945) considerou a Relação de bifurcação (R_b) (Equação 1) como um índice de relevos e dissecções. Strahler (1957) demonstrou que o presente índice mostra apenas uma pequena variação para diferentes regiões com diferentes ambientes, exceto onde domina um forte controle geológico. Valores mais baixos de R_b são característicos de bacias hidrográficas estruturalmente menos perturbadas, sem qualquer distorção no padrão de drenagem como apontado por Nag (1998).

A relação de bifurcação (R_b), é um parâmetro proposto por Horton (1945) que é definida como a relação entre o número de canais de ramificações pertencentes a uma determinada ordem hierárquica e o número de ramificações pertencentes a uma ordem hierárquica superior seguinte. Essa relação é expressa por

$$R_b = N_u / N_{u+1} \quad (1)$$

N_u = número total de canais de determinada ordem;

N_{u+1} = número total de canais de ordem imediatamente superior.

Para Horton (1945) a variação dos valores da relação de bifurcação poderia indicar bacias de drenagem com relevo plano ou ondulado, quando apresentando valores entre 2 e 3; já valores acima de 3 indicariam bacias de drenagem com relevo montanhoso ou altamente dissecado. O termo relação de bifurcação (R_b) é utilizado para expressar a razão entre o número de fluxos de qualquer ordem dada para o número de canais de ordem imediatamente superior.

Strahler (1964) aponta que os menores valores da relação de bifurcação são características das bacias que sofreram menos distúrbios estruturais e o padrão de drenagem não foi distorcido por causa de distúrbios estruturais. A relação de bifurcação também pode ser um indicativo da forma de uma bacia hidrográfica, onde uma bacia alongada é relacionada a valores de R_b elevados, enquanto uma bacia com características circulares é relacionada a valores baixos.

Dentro da perspectiva de Strahler (1964) é possível afirmar que valores elevados de bifurcação estão relacionados com bacias alongadas e que possuem padrão de drenagem distorcido por distúrbios (controles) estruturais.

Índice de circularidade (I_c)

O índice de circularidade (I_c) (Equação 2) relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Este valor tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada (CARDOSO et al., 2006). Sendo representado pela seguinte equação:

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (2)$$

Onde:

I_c é o índice de circularidade;

A é a área em km^2 e

P é o perímetro em km.

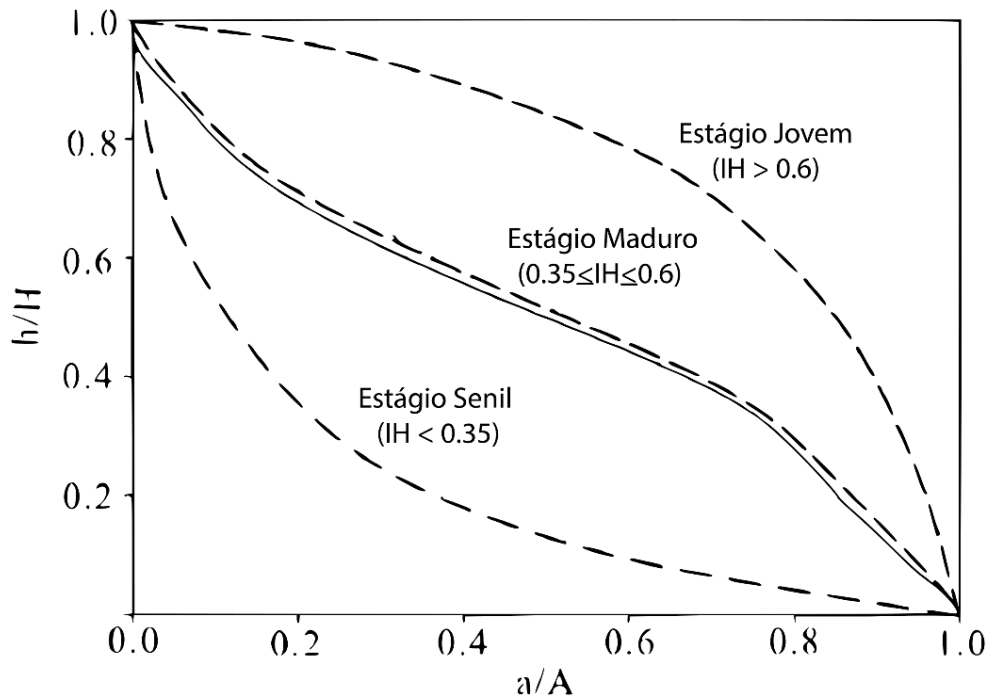
Curva e integral hipsométrica

De acordo com Strahler (1952), a aplicação da metodologia, que relaciona a área de uma bacia hidrográfica e altitude da mesma, permite a identificação da existência de ciclos de erosão, paleo-superfícies e o grau de dissecação. Atualmente, a presente metodologia foi adaptada ao uso de SIG, facilitando a aplicação do modelo.

Ainda de acordo com Strahler (1952), quando ocorrem valores elevados de integral (acima de 0,6) de integral hipsométrica (IH), isto apontaria para um relevo em estágio próximo à juventude, como grande quantidade de área com altitudes elevadas. Já os valores entre 0,6 e 0,35 são característicos de relevos em estágio de dissecação madura. Superfícies com estágio erosivo avançado, apresentando paisagens desgastadas e rebaixadas, pertencentes a valores de integral hipsometria (IH) abaixo de 0,35 (Figura 3).

Grohmann e Ricomini (2012), observam que as curvas suaves em forma de “S” passando pelo centro do diagrama caracterizam paisagens maduras (em equilíbrio) e curvas que possuem concavidade para cima e baixos valores de integral representam paisagens antigas e dissecadas, todavia, curvas que possuem concavidade para baixo e altos valores de integral são típicas de paisagens jovens e pouco dissecadas.

Figura 3 - Curva Hipsométrica, proposta por Strahler.



Fonte - Traduzido de Singh, Sarangi e Sharma (2008).

Extração de lineamentos de relevo

Os lineamentos de relevo são compreendidos como feições espaciais, tais como cristas, bordas de áreas elevadas, alinhamentos de contatos geológicos, vales e fraturas ou zonas de falhas visíveis (CORRÊA e FONSÊCA, 2010).

O conceito de lineamentos comumente utilizado, é o proposto por Etchebere, Saad e Fulfaro (2007), onde os lineamentos são definidos como “feições lineares topográficas ou tonais observáveis nas imagens fotográficas, podendo representar descontinuidades estruturais”. Esses traços foram anotados de forma que pudessem ser evitadas interferências de extensões ou continuidades no terreno, limitando-se, mais fielmente possível, ao aspecto factual observado nas imagens de sensores remotos, sendo reconhecido por diversos autores (LIU, 1984; RICCOMINI e CRÓSTA, 1988; TAYLOR, 1988; CORRÊA e FONSÊCA, 2010).

A extração dos lineamentos de relevo, se deu através da metodologia proposta por Chiessi (2004) onde, os lineamentos são mapeados a partir de modelos de relevo sombreado (*Hillshade*) elaborados através de Modelos Digital de Elevação (MDE's). Para tal, foram utilizados os azimutes de iluminação 45° e 90° para realçar os fotolineamentos de feições negativas, e azimutes 315° e 360° para realce de feições positivas, como utilizado em Gonçalves, Fonseca e Corrêa (2017).

De maneira a validar a extração de lineamentos, como subproduto do sombreado do MDE, foram confeccionados diagramas de roseta, os quais agrupam os lineamentos de acordo com suas direções, desta forma, destacaram-se os direcionamentos preferenciais (*trends*) do relevo. Os diagramas foram confeccionados separadamente para cada azimute.

Índice de Inclinação de Canal (K_{sn})

O K_{sn} , ou índice de inclinação do canal normalizado (Equação 3), é uma das diversas métricas utilizadas para análise de processos de incisão fluvial, processos estes que são favorecidos por canais fluviais caracterizados por vazão e declividade, como também exposição de rochas de baixa resistência frente a processos denudacionais (PEIFER, CREMON e ALVES, 2020).

O presente índice é representado pela seguinte equação:

$$S = K_{sn} A^{-\theta_{ref}} \quad (3)$$

Onde:

S representa a declividade local dos canais fluviais;

A representa a área de drenagem;

K_{sn} descreve o gradiente de canal normalizado e

θ_{ref} se refere a concavidade de referência fixa, com o valor de 0,45 que é frequentemente usado para facilitar a comparação de valores de K_{sn} entre diferentes paisagens (WOBUS et al., 2006; KIRBY e WHIPPLE, 2012).

O K_{sn} permite a comparação da declividade dos canais em diferentes áreas de drenagem. Além disso, os valores de K_{sn} exibem uma correlação significativa com as taxas de erosão médias da bacia, determinadas a partir do estudo de caso. Os estudos de Liu, Yao e Li (2021), revelaram que as variações relativas na taxa de erosão podem ser inferidas, combinando a inclinação média do canal normal da bacia e o ângulo da encosta da bacia.

Perfil longitudinal

Em conjunto com a aplicação do índice de inclinação de canal normalizada (K_{sn}), também foi utilizado o perfil longitudinal do curso principal da BHRI, proposto por Hack (1973) e utilizada no Brasil por Etchebehere (2000). Refere-se a um plano cartesiano, onde no eixo das ordenadas são inseridos os valores da altimetria e no eixo das abscissas os valores referentes ao comprimento dos trechos do rio analisado. Neste gráfico a condição de equilíbrio de determinado trecho do rio está representado por uma concavidade voltada para cima, seguindo a linha de tendência.

Guedes et al. (2007) apontam que quanto mais equilibrado for o curso d'água, mais bem ajustado à função logarítmica estará seu perfil longitudinal. Se no perfil longitudinal algum trecho apresentar concavidade acima da linha de tendência, seria um indicativo da atividade epigênica positiva. Do mesmo modo, se o gráfico apresentar concavidade abaixo da linha de tendência, seria uma possível subsidência deste setor.

Relevo local

A métrica do relevo local é uma medida importante para analisar as variações de elevação em uma determinada região. Ela permite calcular as diferenças entre as elevações máxima e mínima dentro de um raio específico, fornecendo informações valiosas sobre a topografia local. Neste contexto, foi

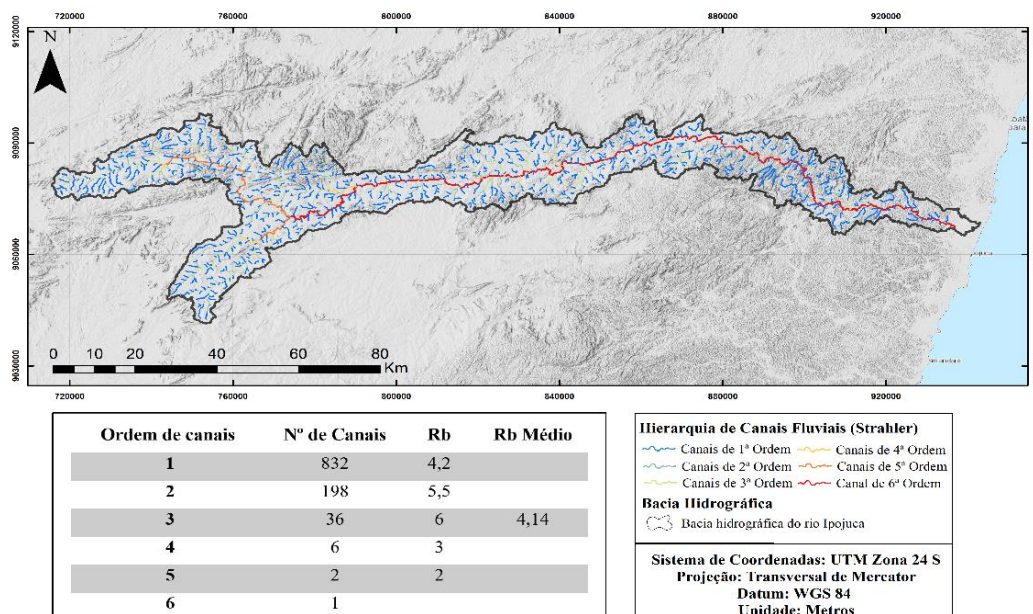
adotado o raio padrão de 5.000 metros como estabelecido por Schwanghart e Scherler (2014). Essa escolha de raio é comumente utilizada na metodologia para garantir uma análise abrangente, capturando as características do relevo em uma escala relevante. Para realizar os cálculos do relevo local, utilizou-se a função "localtopography" disponível no pacote de ferramentas Topotoolbox, desenvolvido especificamente para o software MATLAB. A aplicação da métrica do relevo local e o uso do software MATLAB em conjunto com o pacote Topotoolbox demonstram o rigor e a robustez metodológica empregada na análise das características topográficas da região em questão.

RESULTADOS

Inicialmente através da aplicação do método de hierarquização fluvial proposto por Strahler (1952), após da geração da rede de drenagem em ambiente digital, foi possível estabelecer a hierarquia da mesma, onde foram encontrados canais até a 6ª ordem de grandeza (Figura 4).

Com os dados relativos à hierarquização de canais fluviais, a quantidade de canais de cada ordem foi quantificada, para a aplicação da relação de bifurcação, onde foram quantificados um total de 1075 canais para a bacia hidrográfica do rio Ipojuca como um todo. Deste total, 832 canais são de 1ª ordem, 198 canais de 2ª ordem, 36 de 3ª ordem, 6 de 4ª ordem, 2 de 5ª ordem e 1 de 6ª ordem (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de hierarquização fluvial e valores de Relação de bifurcação dos canais da BHRI.



Elaboração - Os autores, 2023.

Em análise, de acordo com as concepções estabelecidas por Horton (1945), em seu contexto geral, a BHRI apresenta valor superior a 3, indicando um relevo dissecado ou montanhoso, associando a perspectiva de Horton (1945) a de Strahler (1952). Também se torna possível afirmar que a BHRI possui um padrão de drenagem distorcido por distúrbios (controles) estruturais e uma forma alongada. Tais características podem ser confirmadas em análises visuais, onde é possível observar o formato alongado da BHRI, corroborado pelo valor de IC de 0,064, considerado um valor baixo representando uma bacia de formato alongado, indicando significativa influência da ZCPE (Tabela 1). Se tratando de sua drenagem, é possível observar a presença de controles estruturais, tendo em vista seu contexto geológico, que possui variado stock litológico com adaptação dos canais fluviais de ordem inferiores ao substrato.

A presença de zonas de cisalhamento em diferentes sentidos, tem grande influência sobre o contexto atual da bacia analisada, considerando que tais estruturas partem dos eventos que ocorreram no Brasileiro, de maneira que podem ser traçadas relações diretas entre o cenário atual e tais eventos.

Devido à ação da ZCPE e sua resposta na paisagem, o canal principal da BHRI apresenta, em vários trechos, encaixado no vale estrutural formado pela zona de cisalhamento supracitada. Dessa forma, os canais de menor ordem seguem o sentido do nível de base local criado por essa feição de origem estrutural. Como as zonas de cisalhamento, em geral, apresentam margens ou paredes de zona de cisalhamento, as quais separam os blocos adjacentes formando uma faixa de alívio de pressão tectônica que funcionam como zonas preferenciais de dissecação (VERVLOET, 2015; FOSSEN, 2017), o canal fluvial de 6ª ordem ao passar pela ZCPE, adapta-se ao vale estrutural formado como reflexo a estrutura subjacente.

Tabela 1 - Valores do índice de Circularidade, 2023.

Area (A)	Perímetro (p ²)	Índice de Circularidade
3447,58	675782,64	0,064127

Elaboração - Os autores, 2023.

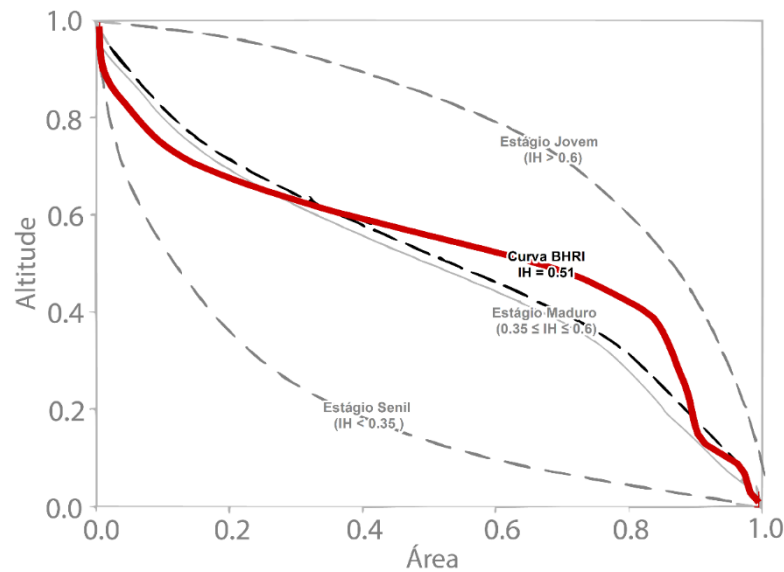
Partindo para análise das curvas e integrais hipsométricas, a análise da curva e integral referente a bacia hidrográfica do rio Ipojuca, tem o valor de 0,51 e uma forma onde é possível observar sua concavidade voltada para baixo no início de sua curva. Contudo, próximo à cota de 600 metros, a curva assume uma forma concava, podendo caracterizar setores de maior resistência litológica ou ainda setores com grau de controle estrutural, tendo em vista que o valor de integral alcançado está dentro do intervalo estabelecido por Horton, onde o relevo é caracterizado como um relevo maduro, comumente relacionado com características de uma bacia em não-equilíbrio (Figura 5), devido às características supracitadas envolvendo sua litologia e graus elevados de controle estrutural, além de sua forma alongada que pode ser observada como um parâmetro que indica o controle estrutural sobre a rede de drenagem.

Ao comparar o com os trabalhos de Monteiro, Tavares e Corrêa (2014) e Monteiro e Corrêa (2020) o setor da curva hipsométrica entre 500 e 200 metros de elevação coincide com os trechos onde foram encontrados a maior presença de concentração de anomalias de primeira ordem a partir da aplicação do Índice de Hack na BHRI. O segundo setor de concavidade no baixo curso da respectiva bacia hidrográfica está ajustado ao trecho de anomalia de primeira ordem observada na altitude de 50 metros indicada nas pesquisas dos autores supracitados. Portanto, mesmo utilizando métodos morfométricos distintos, algumas características da BHRI foram semelhantes.

Os indícios de controle estrutural no baixo curso da BHRI é apontada por Monteiro e Corrêa (2020), considerando a anomalia de primeira ordem na faixa da curva de nível de 50 metros e, por conseguinte, corroborada pela curva hipsométrica representada abaixo, principalmente no trecho onde ocorre a mudança litológica entre os complexos metamórficos cristalinos do proterozoico e as camadas sedimentares mesozoicas e cenozoicas das bacias de rifte marginal. Desse modo, a resposta dos canais fluviais nesse segmento foi o estabelecimento corredeiras e cachoeiras, portanto um marcador regional de uma ruptura topográfica (MONTEIRO e CORRÊA, 2020).

A característica da curva hipsométrica em “S” demonstra que a BHRI está na fase madura da evolução da paisagem com a menor proporção de áreas topograficamente rebaixadas, que pode ser o reflexo na paisagem geomorfológica da zona de milonitização, ou seja, tectônica dúctil presente na Zona Transversal por conta da ação da ZCPE, resultando na maior resistência aos processos de dissecação ao longo do tempo geológico (MONTEIRO e CORRÊA, 2020).

Figura 5 - Curva Hipsométrica da BHRI, indicando relevo maduro por sua forma e valor de integral, correlacionando as classes estabelecidas por Strahler (1964).

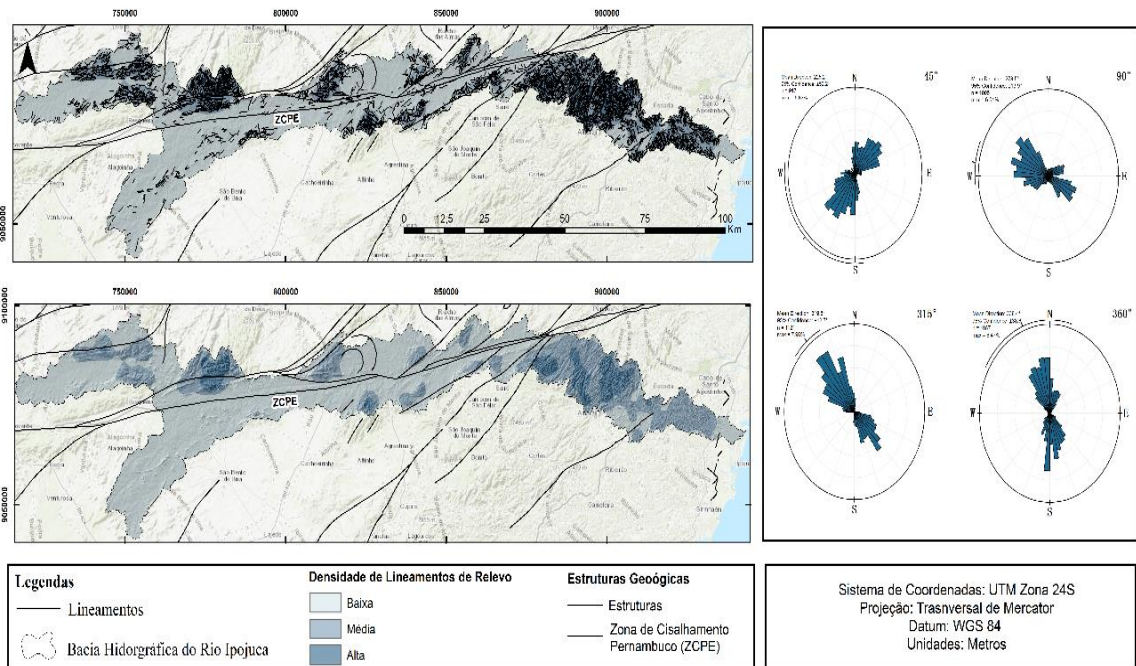


Fonte - Os autores, 2023.

Ao analisar os lineamentos de relevo, assim como, a relação a densidade desses lineamentos, foi possível observar uma grande concentração no setor do baixo curso da bacia hidrográfica, como também a maior quantidade no setor setentrional da bacia. Com relação às direções preferenciais observadas pós confecção dos diagramas de roseta (Figura 6), o azimute 45° tem a direção preferencial em sentido NE-SW/ SW-NE, estabelecendo relações diretas com as feições datadas como mais recentes pela CPRM (2000). Já os azimutes 90° e 315° compartilham a mesma direção preferencial de sentido NW-SE/SE-NW e os lineamentos pertencentes ao azimute 360° possuem direção preferencial bem próxima ao sentido N-S/S-N, estes podendo estar relacionados com a presença massiva de canais de menor ordem que entalham os setores que drenam, devido à declividade acentuada.

As direções diferentes apresentadas nos diagramas de roseta apontam para influências das zonas de cisalhamentos secundárias no caso dos azimutes 45° (NE-SW/ SW-NE) e 90° e 315° (NW-SE/SE-NW), coincidindo com os setores de maior densidade onde perpassam essas ZC que controlam o sentido das feições retilíneas da BHRI. O azimute 360° reflete primordialmente a direção da ZCPE (N-S/S-N) e o substancial controle dessa estrutura sobre a respectiva bacia hidrográfica. É importante destacar que o setor de maior densidade de lineamento condiz o trecho côncavo para cima da curva hipsométrica, assim como, corrobora com os pontos de maior concentração de anomalias de primeira ordem destacado por Monteiro, Tavares e Corrêa (2014) e Monteiro e Corrêa (2020). Este setor indica uma importante área de ruptura regional representado pela Escarpa Oriental da Borborema.

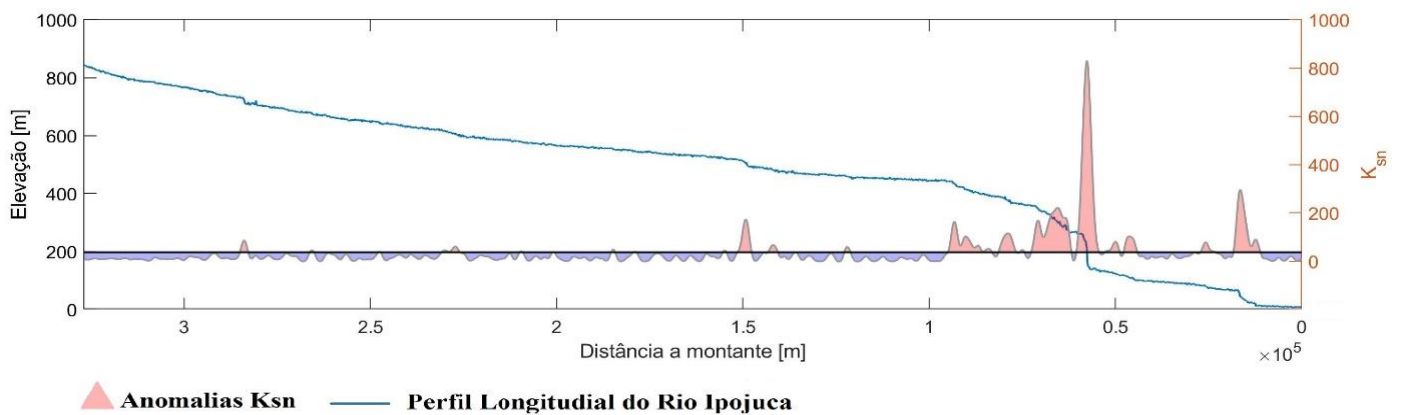
Figura 6 - Mapa de lineamentos estruturais da BHRI, 2023



Elaboração - Os autores, 2023.

Através da aplicação do índice de declividade normalizada (K_{sn}) e a plotagem de seus valores alcançados em plano cartesiano, foi possível observar a presença de quebras de patamar desde seu alto curso, próximo aos 780 metros de altitude. Contudo, como é possível observar na Figura 7, há um maior adensamento de quebras em seu baixo curso, tendo seu início com altitude próxima a 400 metros, o valor do K_{sn} alcança seu pico próximo aos 300 metros, onde é possível notar a maior quebra de patamar presente no perfil longitudinal do rio. Tal configuração pode ser influenciada pela grande densidade de lineamentos de relevo presente nestas faixas altimétricas, podendo indicar um controle estrutural sobretudo neste ponto, indicado por Monteiro e Corrêa (2020) a ruptura regional da BHRI onde houve o menor recuo da escarpa dentre as bacias hidrográficas da borda leste de Pernambuco, ou seja, nesse setor a escarpa se encontra mais próxima à costa em torno de 45 km de distância.

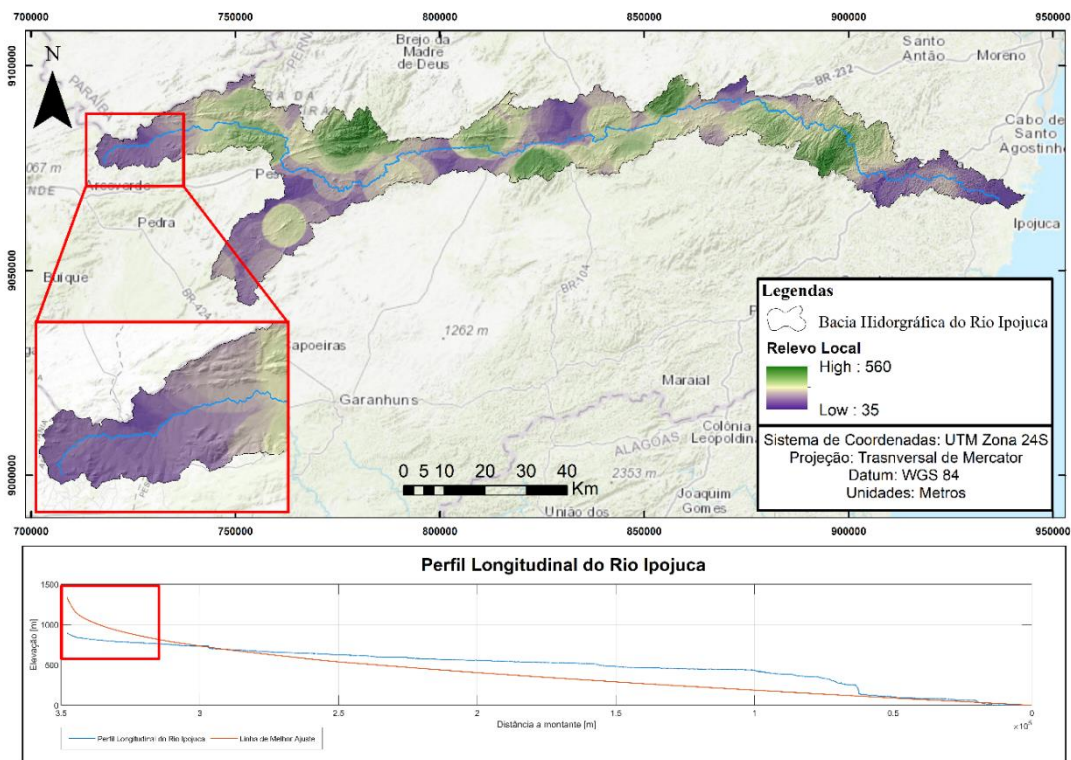
Figura 7 - Perfil longitudinal do rio Ipojuca e anomalias de Valores de K_{sn} .



Elaboração - Os autores, 2023.

Outro fator a ser observado é a relação do perfil longitudinal do canal principal em comparação com a linha de melhor ajuste (Figura 8), onde se observa que em sua grande maioria o rio se encontra em disparidade com seu perfil ideal. A partir de tal resultado pode-se inferir que o rio não possui competência necessária para erodir o substrato rochoso onde seu canal drena, estabelecendo um forte controle da estrutura sobre a drenagem ou a possibilidade de a incidência de eventos de cunho tectônico causarem influência sobre a atual configuração da bacia. A falta de competência da drenagem da BHRI pode ser discutida a partir de fatores litológicos, estruturais e geofísicos presentes na área de estudo e estas características são relevantes para explicação dos processos destacados pelos dados morfométricos.

Figura 8 - Relevo local, perfil longitudinal do rio Ipojuca e linha de melhor ajuste, destacando setor de cabeceira de drenagem, 2023.



Elaboração - Os autores, 2023.

Sobre o alto curso da BHRI, observado no gráfico do perfil longitudinal, é perceptível o desajuste quando comparado com a linha de melhor ajuste. Portanto, ocorre um rebaixamento do relevo neste setor, e posteriormente o encontro com a linha de melhor ajuste, seguindo acima dela até a jusante do canal. Desse modo, é importante destacar que o único setor considerado no estágio de maturidade da BHRI é o seu alto curso, o que pode indicar que esse setor sofreu um avanço das drenagens da bacia hidrográfica do rio Ipanema.

Ao correlacionar com os compartimentos megaestruturais proposto por Corrêa et al. (2010), os processos de basculamentos ocorridos nos setores do Planalto da Borborema foram imprescindíveis para as características dos determinados compartimentos. No caso da Depressão Intraplana do Ipanema o alçamento ocorrido na Cimeira Estrutural PE/AL, assim como, nas demais unidades, levou a dissecação epigênica do alto curso do rio Ipanema (CORRÊA et al., 2010), conduzindo a possível captura de drenagens no alto curso da BHRI, rebaixando o relevo. Apontamentos sobre a questão temporal dessa captura pode vir a partir de estudos posteriores com uso de métodos de datação como os nucleotídeos cosmogênicos (^{10}Be), como exemplo utilizado em pesquisa no sul do país realizada por Sordi et al. (2018).

Uma hipótese adicional relacionada ao trecho superior da bacia hidrográfica do rio Ipojuca é o processo de erosão remontante influenciado pela presença de um nível de base local. Nesse processo, a erosão progride ao longo dos canais de drenagem em direção às nascentes, em vez de ser impulsionada por mudanças no nível de base, como mencionado por Bishop (1995). Esse nível de base local pode ser observado na área mais elevada a montante da nascente, conforme ilustrado na figura 8, bem como na presença de uma anomalia nos valores de K_{sn} (Figura 7), indicando uma quebra no perfil do rio ou *knickpoint*, o que intensifica os processos de erosão remontante.

Portanto, o setor onde está a BHRI foi o último trecho da separação Brasil-África durante a reativação do Cretáceo, inclusive com a associação do Lineamento Pernambuco com a Zona de Cisalhamento Adamaoua-Ngaoundéré localizada no continente africano (BRITO NEVES, VAN SCHMUS e FETTER, 2001), portanto é perceptível o rejuvenescimento do setor da Escarpa Oriental da Borborema representada na bacia hidrográfica através da anomalia positiva do gráfico relacionado ao perfil longitudinal e valores de K_{sn} . O pico da anomalia coincide com a quebra regional da escarpa indicada por (MONTEIRO e CORRÊA, 2020) sua proximidade com a linha costa sugere forte resistência aos processos de dissecação ao longo do tempo geológico, condicionamento da estrutura (ZCPE) e sua zona de tectônica dúctil herdada e a possível colaboração do *underplating* magmático na manutenção da topografia elevada como bem salientado nos trabalhos de Oliveira (2008), Corrêa et al. (2010) e Oliveira e Medeiros (2012). O processo de basculamento da Cimeira Estrutural PE/AL indicado em Corrêa et al. (2010) pode ter provocado o avanço das drenagens por erosão regressiva da bacia hidrográfica do rio Ipanema, configurando no setor mais rebaixado do alto curso da BHRI.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados através da metodologia proposta, condizem com características observadas na BHRI. Ao observar o número excedente de canais de primeira ordem, que indica uma curta temporalidade para um melhor desenvolvimento da drenagem, como também pode ser traçada uma relação direta com o controle estrutural, que afeta a forma da bacia hidrográfica que se desenvolve sobre a Zona de Cisalhamento Pernambuco, corroborando de maneira mais clara com os resultados alcançados, sobretudo através da aplicação da relação de bifurcação. Assim, a forma da BHRI pode ser resultado de possíveis forças tectônicas que influenciaram a sua atual configuração.

O controle estrutural ainda pode ser evidenciado pelo padrão da curva hipsométrica e seu valor, tendo em vista que retrata uma bacia hidrográfica de relevo maduro, que pode ser observado através da forma da sua curva e com o valor de sua integral hipsométrica, contudo tem-se um contexto de não equilíbrio, com zonas mais elevadas em seu médio e baixo curso, zonas essas que podem ser correlacionadas com os adensamentos de estruturas lineares e com valores e quebras de patamares alcançadas com a aplicação do índice de inclinação de canal (K_{sn}).

Os aspectos analisados no presente estudo, em conjunto com os métodos propostos e aplicados, apresentaram uma relação positiva, se tratando da quantificação de elementos que evidenciam o controle estrutural que atua sobre a BHRI. A aplicação de novos métodos morfométricos como fotolineamento e anomalias de K_{sn} corroboraram com evidências já discutidas anteriormente pelos trabalhos de Monteiro, Tavares e Corrêa (2014) e Monteiro e Corrêa (2020), todavia utilizando outras técnicas morfométricas visando trazer perspectivas distintas a abordagem morfoestrutural da BHRI. É necessária a continuidade das pesquisas sobre a respectiva bacia hidrográfica visando a aplicação de métodos morfométricos mais robustos que tragam luz ao processo de recuo da Escarpa Oriental da Borborema. Considera-se que os processos de basculamento e alçamento, na área da bacia e em toda extensão do planalto da Borborema, necessitam de amplos estudos cronológicos realizados por metodologias que apliquem isótopos cosmogênicos, como, por exemplo, a Termocronologia de apatita para desvelar o período dos processos, bem como quando se dá sua estruturação.

REFERÊNCIAS

- BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. **Progress in Physical Geography**, v.19, n.4, p. 449-473, 1995. <https://doi.org/10.1177/030913339501900402>
- BRITO NEVES, B.B., SANTOS, E.J., VAN SCHMUS, W.R. Tectonic History of the Borborema Province, Northeast Brazil. In: Cordani, U. G., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (eds.) **Tectonic**

Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31ST IGC, p.151-182, 2000.

<https://doi.org/10.5327/S1519-874X2001000100005>

BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; FETTER, A.H. Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema): Ensaio comparativo e problemas de correlação. **Revista do Instituto de Geociências – USP Sér. Cient.**, São Paulo, v.1, p. 59-78, 2001.

CAXITO, F. A.; LIRA SANTOS, L. C. M.; GANADE, C. E.; BENDAOU, A.; FETTOUS, E. H.; BOUYO, M. H. Toward an integrated model of geological evolution for NE Brazil–NW Africa: The Borborema Province and its connections to the Trans-Saharan (Benino-Nigerian and Tuareg shields) and Central African orogens. **Braz. J. Geol.**, 50(2): e20190122, 2020. <https://doi.org/10.1590/2317-4889202020190122>

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. M. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ. **Revista Árvore, Viçosa, MG**, v. 30, n. 2, p. 241-248, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>, 2006.

CHIESSI, C. M. Tectônica Cenozóica do Maciço Alcalino do Passa Quatro (SP-MG-RJ). 2004. 117f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Edgar Blücher 2ª edição, 188p. 1980.

CORRÊA, A. C. B.; FONSÊCA, N. D. Lineamentos de drenagem e de relevo como subsídio para a caracterização morfoestrutural e reativações neotectônicas da área da bacia do rio preto, serra do espinhaço meridional – MG. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 1, set. 2010.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 31 (1/2), p.35-52, 2010.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB**. Organiza do por Antônio Maurílio Vasconcelos e Francisco Edson Mendonça Gomes. – Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2000.

DAVISON, I.; MCCARTHY, M.; POWELL, D.; TORRES, H. H. F.; SANTOS, C. A. Laminar flow in shear zones: the Pernambuco Shear Zone, NE-Brazil. **Journal of Structural Geology**, v.17, n.2, 149-161, 1995. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(94\)E0038-Z](https://doi.org/10.1016/0191-8141(94)E0038-Z)

DELGADO, I. M.; SOUZA, J. D.; SILVA, L. C.; SILVEIRA FILHO, N. C.; SANTOS, R. A.; PEDREIRA, A. J.; GUIMARÃES, J. T.; ANGELIM, L.A. A.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; LACERDA FILHO, J. V.; VALENTE, C. R.; PERROTA, M. M.; HEINECK, C.A. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J.H. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, 2003.

ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços Neokuaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista**: Implicações estratigráficas e tectônicas. (Tese de Doutorado) IGCE-UNESP, Vol.I, 264 p. e Vol.II, mapas. Rio Claro-SP, 2000.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J. Análise de bacia aplicada à prospecção de água subterrânea no planalto acidental paulista, SP. **Geociências**, São Paulo: UNESP, v.26, n.3, p.229-247, 2007.

FOSSEN H. **Geologia Estrutural**. Tradução Fábio R. D. de Andrade, 2. ed., São Paulo: Oficina do Texto, 2017.

GONÇALVES, R. B.; FONSECA, D. N.; CORREA, A. C. de B. Padrões de Fotolineamentos Aplicados à Análise Morfoestrutural da Bacia do Rio Mamanguape, Paraíba. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v.34, p. 43-54. <https://doi.org/10.11606/rdg.v34i0.133284>

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C. Análise digital de terreno e evolução de longo-termo de relevo do centro-leste brasileiro. **Geologia USP**. Série Científica, 12(2), 129-150. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2012000200009>

GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C.; MORALES, N.; SAAD, A. R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para a

detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UnG - Geociências**, v. 10, p. 77-104, 2007.

HACK, J. T. Stream profile analysis and stream gradient index. *Journal Research of U. S. Geological Survey*, v. 1, 421-429, 1973.

HORTON, R. E., Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geological Society of America Bulletin**, 1945. [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)

JARDIM DE SÁ, E. F. A **Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico da cadeia Brasileira/Pan-Africana**. Tese de Doutorado, 803 p. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 803 p., 1994.

KIRBY, E.; WHIPPLE, K.X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54-75, 2012.

LIU, F.; YAO, X.; LI, L. Applicability of Geomorphic Index for the Potential Slope Instability in the Three River Region, Eastern Tibetan Plateau. **Sensors (Basel)**, Sep 29;21(19):6505. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21196505>.

LIU, C. C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de Sensoriamento Remoto: aplicação do Estado do Rio de Janeiro**. 1984. 175f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984. <https://doi.org/10.3390/s21196505>

MATLAB M. **The language of technical computing**. The MathWorks, Inc, 2020. Disponível em: <http://www.mathworks.com>.

MONTEIRO, K. A.; TAVARES, B. A. C.; CORREA, A. C. B. Aplicação do índice de hack no rio Ipojuca para identificação de setores anômalos de drenagem e rupturas de relevo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 33, n. 4, p.616-628, 2014.

MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of borborema highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 1-28, 2020.

NAG, S. K., Morphometric Analysis Using Remote Sensing Techniques in the Chaka Sub-basin, Purulia District, West Bengal. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, vol. 26, no. 1 e 2, 1998.

NEVES, S. P.; MARIANO, G. "Assessing the tectonic significance of a large-scale transcurrent shear zone system: the Pernambuco lineament, northeastern Brazil," **Journal of Structural Geology**, vol. 21, no. 10, pp. 1369–1383, 1999.

NEVES, S. P.; TOMMASI, A.; VAUCHEZ, A.; CARRINO, T. A. The Borborema Strike-Slip Shear Zone System (NE Brazil): Large-Scale Intracontinental Strain Localization in a Heterogeneous Plate. **GeoScienceWorld – Lithosphere**, 26p

OLIVEIRA, R. G. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental**. Tese de Doutorado (Geodinâmica e Geofísica), 400p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Tese de Doutorado (Geodinâmica e Geofísica), 400p., 2008.

OLIVEIRA, R. G.; MEDEIROS, W. E. Evidences of buried loads in the base of the crust of Borborema Plateau (NE Brazil) from Bouguer admittance estimates. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 37, p. 60-76, 2012.

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, nº1, 2020. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1732>

RICCOMINI, C.; CRÓSTA, A. P. Análise preliminar de lineamentos em imagens em sensores remotos aplicada à prospecção mineral na área dos granitóides Mandira, SP. **Boletim IG – USP, Série Científica**, v.19, p.23-37, 1988.

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, 31., Rio de Janeiro. **Extended Abstract**, CPRM, 1 CD-ROM, 2000.

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

SINGH, O.; SARANGI, A.; SHARMA, M. C. Hypsometric integral estimation methods and its relevance on erosion status of north-western lesser Himalayan watersheds. **Water Resour Manag**, v. 22, n. 11, p. 1545–1560, 2008.

SORDI, M. V.; SALGADO, A. A. R.; SIAME L.; BOURLÉS, D.; PAISANI, J. C.; LEANNI, L.; BRAUCHER, R; COUTO, E. V. Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in southern Brazil. **Geomorphology**, v. 306, p. 155-169, 2018.

STRAHLER, A. Dynamic Basis of Geomorphology. Geological Society of America Bulletin, v. 63, p. 923-938, 1952. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)

STRAHLER, A. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, 38, 913-920, 1957. <http://dx.doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

STRAHLER, A. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: CHOW, V., (ed.). **Handbook of Applied Hydrology**, McGraw Hill, New York: McGraw Hill, p. 439-476, 1964.

TAYLOR, G. R. Image analysis techniques for the interpretation of air photo lineaments, petroleum exploration, Eromanga Basin, Australia. **Geocarto Int.**, v.3, p.53-60, 1988.

VAN SCHMUS, W.; R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U-Pb and Sm-Nd geochronologic studies of the Eastern Borborema Province, Northeast Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, v.8, p. 3/4, p.267-288. 1995. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(95\)00013-6](https://doi.org/10.1016/0895-9811(95)00013-6)

VERVLOET, R. J. H. M. **Elementos de geomorfologia estrutural**: estudo aplicado a Região Serrana do Espírito Santo. 1. Ed. Vitória, ES: Ed. do Autor, 196 p., 2015. <https://doi.org/10.7147/GEO21.11654>

WOBUS, C.; WHIPPLE, K.X.; KIRBY, E.; SNYDER, N.; JOHNSON, J.; SPYROPOLOU, K.; CROSBY, B.; SHEEHAN, D. Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. **Special papers-geological society of America**, v. 398, p. 55, 2006. [https://doi.org/10.1130/2006.2398\(04\)](https://doi.org/10.1130/2006.2398(04))

Recebido em: 02/06/2023

Aceito para publicação em: 13/09/2023