

AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA E MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAMUABA – PB, PARA DETECÇÃO DE PROVÁVEIS DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS.

Vinicius Ferreira LIMA¹
Max FURRIER²

¹ Aluno de Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB. E-mail: vinicius.lima.ferreira@hotmail.com

² Geógrafo. Dr. Geografia física-USP Prof. Adjunto do Depto. de Geociências – UFPB. E-mail: max.furrier@hotmail.com

RESUMO. Essa pesquisa tem por objetivo a análise morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Mamuaba, que está situada na borda oriental do estado da Paraíba. A bacia investigada encontra-se localizada na carta topográfica Rio Mamuaba, escala 1:25.000. Esta análise foi aplicada por meio da junção de informações qualitativas baseadas nos padrões e anomalias da rede de drenagem verificadas, e quantitativas, abalizadas no índice morfométrico Relação Declividade-Extensão dos canais (RDE). Esse cálculo foi desenvolvido em dois afluentes de grande expressividade da bacia do rio Mamuaba, a fim de verificar se a evolução da drenagem e do relevo da área de estudo ocorreu sob influência da tectônica recente. O diagnóstico morfotectônico foi apoiado na análise e interpretação de dados numéricos obtidos na carta topográfica e em seus produtos derivados (cartas temáticas hipsométrica e clinográfica e no modelo em 3D), que forneceram os principais dados utilizados durante a pesquisa. Valores elevados, superiores a 10, encontrados a partir da aplicação do índice RDE apontam para fortes indícios de influência da tectônica recente da área, além de questões qualitativas também indicativas de ajustes estruturais como assimetria, padrões em treliça e radial da rede de drenagem.

Palavras chave: Rio Mamuaba/PB; Morfotectônica; Morfometria; Neotectônica.

ABSTRACT. *Morphological and morphometric evaluation of the watershed of Mamuaba river – Paraíba State, for detection of probable neotectonic deformations.* This research aims the morphological and morphometric analysis of the hydrographic watershed of Mamuaba River, which is situated on the eastern edge of the state of Paraíba. The investigated basin is located in Mamuaba river topographic map, scale 1:25,000. This analysis was applied through the junction of qualitative information based on the patterns and anomalies of the drainage network and quantitative, based on morphometric index Relation –Declivity - Extension (RDE). This calculation was developed in two expressive affluents of Mamuaba river in order to check if the evolution of drainage and relief of the study area occurred under the influence of recent tectonic. The morphotectonic diagnosis was supported on the analysis and interpretation of numerical data obtained from topographic maps and their derivatives (thematic, hypsometric and clinographic maps and 3D model), which provided the main data used during the search. High, greater than 10, found from the application of RDE index point to strong evidence of recent tectonic influence of the area, in addition to qualitative questions also indicative of structural adjustment as asymmetry, patterns in trellis and radial of the drainage network.

Keywords: Mamuaba River; Morphotectonic; Morphometry; Neotectonic.

INTRODUÇÃO

Este estudo objetivou a análise da atuação de movimentos neotectônicos e sua relação com os aspectos geomorfológicos e o padrão de drenagem, considerando a direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas na área. A caracterização morfológica e morfométrica da área possibilita conhecer com maior nível de detalhe o relevo e a geometria dos padrões de drenagem da região, proporcionando a visualização de possíveis áreas de risco de

ocupação do uso da terra e demais interferências antrópicas, permitindo que se tenha um melhor diagnóstico da evolução natural da paisagem. Este tipo de análise qualitativa e quantitativa permite que se conheça a influência da geologia (tipo de rocha e lineamentos) e da possível atuação da tectônica recente no desenvolvimento da morfologia do relevo e da rede de drenagem da área.

Nessa pesquisa, a bacia hidrográfica do rio Mamuaba foi escolhida para aplicar as análises dos índices morfométricos e estudos de

morfologia, sabendo que os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação do relevo terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980). A mesma está situada na borda oriental do estado da Paraíba, nordeste do Brasil. As análises morfológicas e morfométricas foram aplicadas procurando-se detectar áreas afetadas por atividades de tectônica recente, por isso, essa bacia foi proposta porque possuem evidências morfológicas indiscutíveis da ocorrência de possíveis movimentos neotectônicos, como por exemplo, padrão de drenagem assimétrico, afluentes da margem sul bem mais expressivos que os afluentes da margem norte e forte inflexão de alguns afluentes da bacia, como é o caso do baixo curso do rio Vermelho.

Para apoiar a pesquisa fez-se uma análise da neotectônica nas bacias hidrográficas utilizando como base o índice Relação Declividade-Extensão (RDE). Este índice morfométrico tem grande referência na literatura internacional e brasileira e foi proposto por Hack (1973). Esse índice já foi aplicado em várias localidades do mundo, destinado à análise de natureza tectônica, e no Brasil, especificamente na Paraíba, já existem estudos semelhantes na bacia do rio Paraíba (ANDRADES FILHO, 2010). Além dos parâmetros morfométricos verificados, também foram levados em consideração à análise da morfologia da área.

Os cálculos morfométricos foram propostos nesse trabalho para detecção de tectônica recente na área investigada, assim como também foram realizadas a confecção de produtos cartográficos apoiados em técnicas de geoprocessamento que auxiliaram nessa avaliação, tais como: cartas de declividade, altimetria e modelo em 3D do terreno. Atualmente, os estudos neotectônicos tem ganhado evidência por diversos autores (BARBOSA et. al, 2011; ETCHEBEHERE et.al, 2000, 2004, 2006; FURRIER et. al, 2006; SOUZA et. al, 2010), com a aplicação de índices morfométricos nas bacias e redes de drenagem. As redes de drenagem representam um dos mais importantes agentes de modelagem do relevo, concebendo, sob a ação da gravidade, a esculturação dos vales e a formação de depósitos aluviais. Por isso, este elemento é de grande importância para comprovar eventos de cunho tectônico, pois a hidrografia se ajusta rapidamente a quaisquer deformações crustais, reagindo de imediato a processos deformativos incluindo aqueles mais tênues (ETCHEBEHERE et. al, 2006). Essas características tornam a hidrografia um excelente elemento para análise de áreas que foram submetidas a movimentações de natureza tectônica.

A ÁREA DE ESTUDO

A área investigada corresponde às bacias hidrográficas dos rios Vermelho e do Buraco que fazem parte da bacia do rio Mamuaba. Dois afluentes da bacia foram selecionados para aplicação dos cálculos morfométricos, e os mesmos se encontram em sua totalidade dentro da área da carta topográfica Rio Mamuaba na escala de 1:25.000 (SB.25-Y-C-III-1-SO) confeccionada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1974). A área estudada localiza-se na Mesorregião da Zona da Mata Paraibana, Nordeste do Brasil.

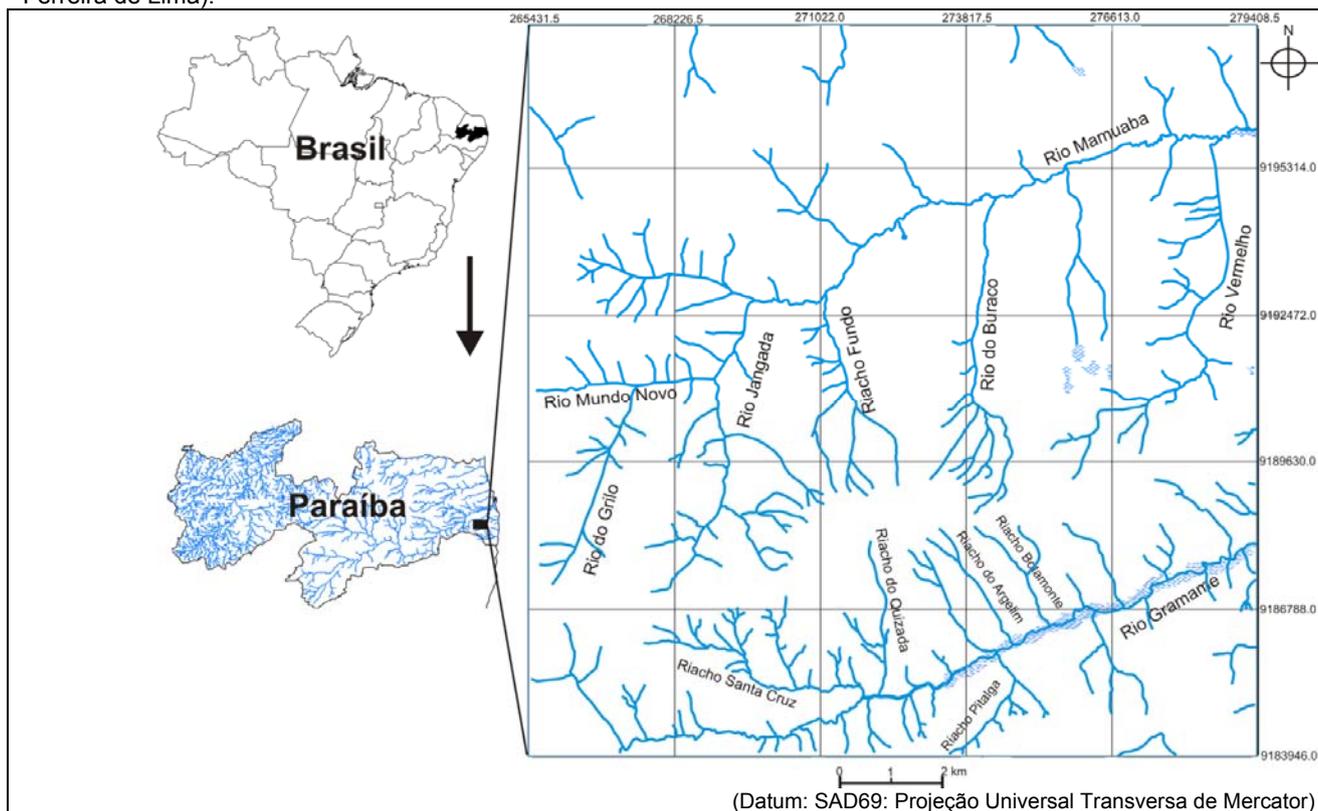
A bacia hidrográfica do rio Mamuaba é composta por vários afluentes sendo os mais expressivos: rio Vermelho, Fundo, do Buraco, Jangada, Mundo Novo, do Grilo, riacho Santa Cruz e demais córregos secundários que não possuem denominações, pela sua menor expressividade dentro da bacia (figura 1). Destes, as bacias dos rios Vermelho e do Buraco foram selecionadas para aplicação dos cálculos morfométricos, por apresentarem forte assimetria, bruscas inflexões e seus cursos principais serem subsequentes.

A bacia do rio Mamuaba deságua no baixo curso do rio Gramame que logo em seguida deságua na praia de Barra de Gramame, limite entre os municípios de João Pessoa e do Conde. A mesma bacia possui peculiaridades morfológicas bastante expressivas e facilmente visíveis como, por exemplo, o seu padrão de drenagem assimétrico, com os afluentes da margem sul mais expressivos que os afluentes da margem norte, e a forte inflexão de um dos seus afluentes no seu médio curso (rio Vermelho), onde ele muda bruscamente sua direção de SW-NE para S-N.

O clima atuante na área de estudo é o tropical úmido, e as médias das temperaturas anuais situam-se em torno de 25°C, apresentando índices pluviométricos que oscilam entre 1500 e 1700 mm, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano sendo mais intensas nos meses de inverno e sem apresentar meses totalmente secos (MELO, 2003).

Também na área em análise é possível observar com muita nitidez uma estrutura dômica cujo cume central está o ponto mais alto da área em análise, com 213 m, que foi denominado "Domo da Embratel" por Brito Neves et al. (2009). A mesma estrutura tem forte influência na disposição da rede de drenagem local, onde praticamente todos os canais situados ao sul da bacia possuem suas nascentes no alto dessa estrutura dômica, formando assim uma rede de drenagem radial.

Figura 1. Visualização de toda a rede de drenagem da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000. (Org.: Vinicius Ferreira de Lima).



Contexto geológico-geomorfológico da área

A região que corresponde à área de estudo se encontra inserida na Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, Sub-Bacia de Alhandra, correspondendo em quase toda sua totalidade por sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, unidade litoestratigráfica, de idade miocênica, caracterizada por extensos tabuleiros geralmente com topos aplainados. A Formação Barreiras ocorre desde o estado do Amapá até o norte do estado do Rio de Janeiro (ARAI, 2006).

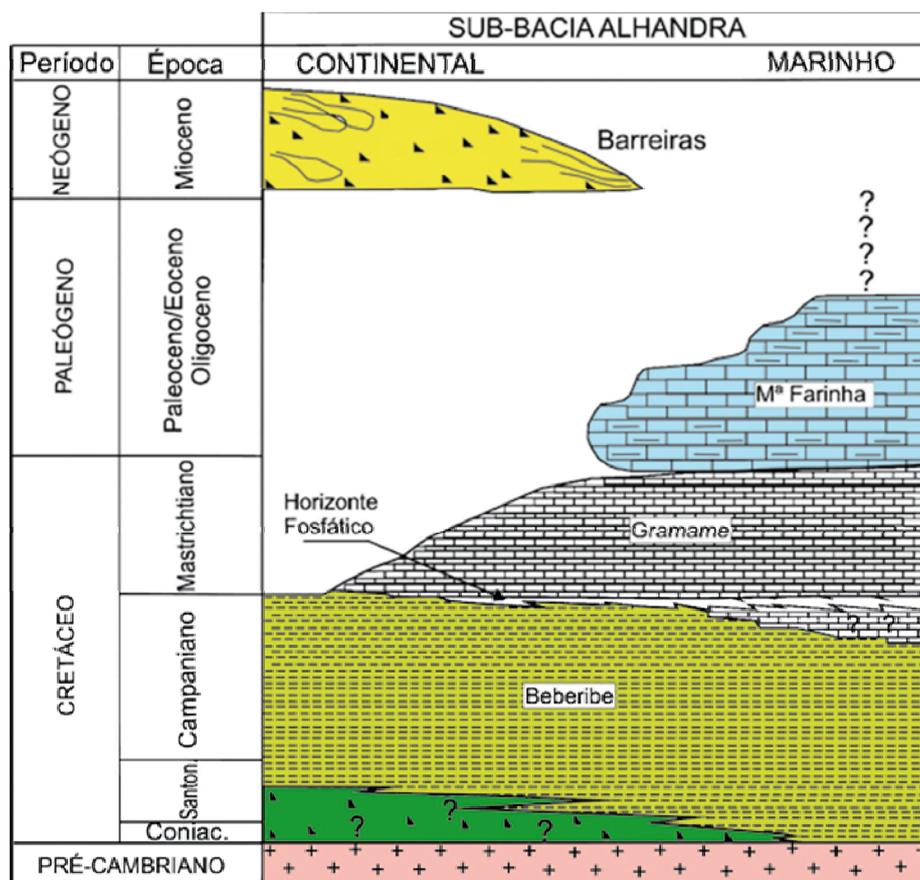
Na porção correspondente ao litoral paraibano, essa unidade litoestratigráfica repousa de forma discordante, sobre o embasamento cristalino e sobre a bacia marginal Pernambuco Paraíba que segue o sentido de oeste para leste (FURRIER et al., 2006). No sentido leste-oeste, a Formação Barreiras alcança extensões variáveis entre 30 a 50 km (BRASIL, 2002). Na porção que corresponde ao baixo curso do rio Mamuaba, segundo Brito Neves et al. (2009), é possível verificar o afloramento da Formação Beberibe em toda a extensão do canal fluvial. Essa formação sedimentar diferisse da Formação Barreiras devido a composição mineralógica (ROSSETTI, 2012).

Em relação à origem da Formação Barreiras existem várias teorias. Segundo Alheiros et al. (1988), a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras se deu através da deposição de rios em

sistemas entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais. Para Gopinath et al. (1993), as partículas sedimentares que fazem parte da Formação Barreiras têm origem nos produtos resultantes do forte intemperismo sobre o embasamento cristalino, localizado no interior do continente, mais precisamente no Planalto da Borborema. Arai (2006) coloca que a Formação Barreiras possui forte influência das oscilações marinhas no seu processo de deposição. Barbosa et al. (2004) estabeleceram, através de estudos pormenorizados a coluna estratigráfica da Sub-bacia Alhandra (Figura 2).

Em relação à morfotectônica regional, com o auxílio da carta topográfica, do mapa geológico do estado da Paraíba é dos resultados e mapeamentos realizados por Brito-Neves et al. (2009) foi possível inferir na área de estudo e adjacências, uma disposição marcante de altos e baixos estruturais. Sobre a Formação Barreiras são desenvolvidos os baixos tabuleiros, geralmente com topos aplainados, ora soerguidos, ora rebaixados ou basculados por evidente atuação da tectônica recente (FURRIER et al., 2006; FURRIER, 2007). Esses tabuleiros, ora soerguido, rebaixados e basculados deram origem ao sistema de grábens e horsts do rio Mamuaba de direção NNE-SSW, seguindo para a confluência Mamuaba-Gramame (BRITO-NEVES et al., 2009).

Figura 2. Coluna estratigráfica da Sub-bacia Alhandra, uma das sub-bacias que compõem a Bacia Pernambuco-Paraíba. (Adaptado de BARBOSA et al., 2004).



MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, para fundamentar a pesquisa, foi indispensável realizar uma revisão bibliográfica referente à área de estudo no que diz respeito aos aspectos físicos, geológicos e tectônicos e estruturais, bem como consultar materiais cartográficos e imagens orbitais como a do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) que amparassem a análise e interpretação da área. Logo em seguida, foi exercida a fase de digitalização da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, com equidistância das curvas de nível de 10 m. Nessa etapa, a referida carta topográfica foi introduzida no computador através de um *scanner*, e posteriormente foi vetorizada em *software* específico.

Portanto, para alcançar o objetivo proposto foi realizada uma medição e quantificação de aspectos morfológicos, através de resultados morfométricos adquiridos nas cartas hipsométrica e clinográfica e aplicação do índice RDE. Os resultados obtidos podem não só evidenciar as atividades neotectônicas nas bacias hidrográficas em estudo, mas também torna possível quantificá-las e compará-las com outras bacias

hidrográficas estudadas em regiões distintas, submetidas aos mesmos eventos.

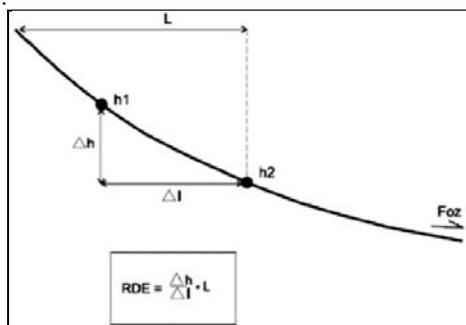
A pesquisa se apoiou na elaboração de produtos cartográficos digitais, obtidos a partir da vetorização da carta topográfica Rio Mamuaba, vetorizada manualmente sendo a responsabilidade do traçado do operador do *software*. A partir da vetorização da carta base, tornou-se possível através da utilização do *software* SPRING 5.1.7, elaborar cartas temáticas de altimetria e declividade (hipsométrica e clinográfica), e o Modelo Digital do Terreno (MDT). Ambas as cartas foram produzidas com a utilização das curvas de nível da carta topográfica do Rio Mamuaba (SB.25-Y-C-II-4-NE). As coordenadas utilizadas foram UTM e o Datum empregado foi SAD69. O trabalho também consistiu na mensuração dos canais fluviais utilizando o índice morfométrico Relação Declividade-Extensão (RDE). Os canais escolhidos para os cálculos morfométricos foram o rio do Buraco e o rio Vermelho, sendo eles afluentes do rio Mamuaba.

Para a elaboração da carta clinográfica foram adotadas as classes de declividade propostas por Herz e De Biase (1989), e foram delimitadas e especificadas da seguinte forma: 0-12%, 12-30%,

30-47%, 47-100% e > 100%. Essas classes foram amarradas a limites usados internacionalmente, bem como a trabalhos de pesquisa desenvolvidos por pesquisadores nacionais, e a leis vigentes no Brasil. Após a finalização da confecção dos produtos cartográficos, assim como também dos cálculos morfométricos, o procedimento adotado foi a análise qualitativa e quantitativa de seus respectivos conteúdos, o que forneceu informações com um bom nível de detalhamento da área em questão, apresentando dados sobre a configuração geomorfológica e morfotectônica, permitindo caracterizar os padrões de drenagens, as declividades das vertentes e a altimetria da área estudada, a fim de compreender a evolução morfológica do terreno.

O cálculo morfométrico utilizado foi o índice RDE que é obtido na diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso de água, ou seja, é a diferença altimétrica da nascente do rio até a sua foz, representado por ΔH , e na projeção horizontal da extensão do referido segmento (ΔL). Assim, $\Delta H/\Delta L$ corresponde ao gradiente da drenagem no trecho. O logaritmo natural da extensão total do curso de água é definido por $\ln L$. A letra "L" corresponde à extensão total do canal da nascente até o ponto final do trecho para onde o índice RDE está sendo calculado (MARTINEZ, 2005). Para o cálculo de "L", o ponto de partida do segmento de drenagem pode ser o ponto médio da extensão do referido segmento até a nascente do rio (EL HAMDOUNI et al., 2008) (Figura 3).

Figura 3. Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE para segmento de drenagem (ETCHEBEHERE, 2000).



Para efetuar a aplicação do índice RDE na bacia hidrográfica do rio Mamuaba, se considerou dois importantes afluentes de grande porte, extensão e hierarquia fluvial, e efetuou-se o cálculo de RDE(total). Em seguida eles foram divididos em três segmentos, cada um de tamanhos semelhantes e calculou-se o RDE (trecho) de todos os segmentos. A fórmula utilizada para o cálculo de ambos foi respectivamente:

$$\text{RDE(total): } (\Delta H/\ln L)$$

e

$$\text{RDE(trecho): } (\Delta H/\Delta L) \times L$$

A metodologia empregada para verificação do índice RDE foi dividida em três passos. Inicialmente, foi eleito o rio do Buraco e o rio Vermelho como alvo da averiguação por representarem os canais fluviais de grande expressividade dentro da bacia. Os rios selecionados pertencem à porção sul da bacia, onde se observa os maiores indicativos de atividade de tectônica recente, evidenciadas através da análise de produtos cartográficos e de imagens em 3D do terreno. Em seguida, com o auxílio do *software* Spring 5.1.7, mediu-se a extensão horizontal de cada segmento de drenagem. As cotas das nascentes e dos pontos terminais dos cursos de água foram medidas de acordo com o valor das curvas de nível adjacentes. Por fim, realizou-se os cálculos obedecendo as fórmulas, e os valores descobertos foram sistematizados em uma tabela para realizar o cálculo dos índices morfométricos e sua posterior análise.

RESULTADOS

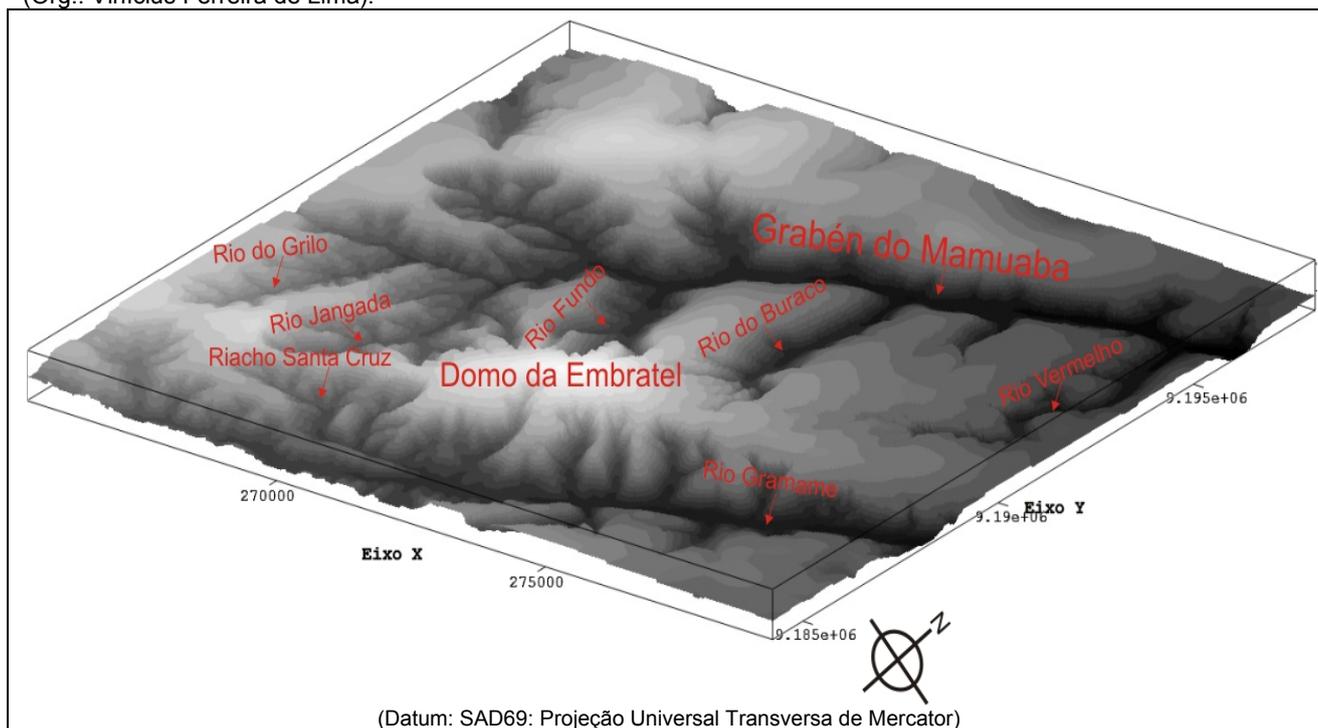
Na área compreendida pela carta topográfica pesquisada onde a bacia do rio Mamuaba está inserida se encontram partes dos municípios de Santa Rita, Pedras de Fogo e Alhandra, todos no estado da Paraíba, e caracteriza-se de modo geral por ser uma área de altimetria relativamente baixa, se comparada a região interiorana do estado, mas se for comparada com as áreas adjacentes, ela se destaca, pois apresenta altitudes que chegam até a 213 m na porção que corresponde ao domo da Embratel.

Análise Morfológica da Área

A partir da análise e interpretação das cartas temáticas, e principalmente da imagem do Modelo Digital do Terreno (MDT), foi possível ter uma percepção de uma estruturação marcante de altos e baixos estruturais ocasionados, segundo Furrier et al. (2006), por reativações tectônicas pós-cretácicas, responsáveis por esses soerguimentos e basculamentos de superfícies geomorfológicas, o que pode ter originado o sistema de grábens do rio Mamuaba.

O sistema de grábens especificado por Brito Neves et al. (2009) possui um sentido geral NNE-SSW em direção à confluência Mamuaba-Gramame. Ao sul está desenvolvida uma interessante estrutura circular com drenagem radial centrífuga, ou seja, as correntes fluviais são do tipo consequentes e se encontram dispostas em raio e divergem, a partir de um ponto elevado, cujo cume central está o ponto mais alto da área com 213 m (figura 4).

Figura 4. Modelo em 3D mostrando a inclinação do relevo na área da bacia hidrográfica do rio Mamuaba e adjacências. (Org.: Vinícius Ferreira de Lima).



Na bacia hidrográfica do rio Mamuaba, estão presentes os padrões de drenagem subdendrítico, treliça e radial. Este último é definido pela combinação dos afluentes do rio Gramame que ocorre ao sul, formado pelo arranjo dômico característico citado anteriormente o que corrobora a ideia de grande influência dessa estrutura na configuração da drenagem local. Segundo Brito Neves *et al.* (2009), esta morfoestrutura e suas imediações devem ser apontadas como áreas de grande potencial de recarga do Aquífero Beberibe, de forma que a grande barragem supridora do abastecimento d'água de João Pessoa (sistema Mamuaba-Gramame, da CAGEPA) tem sido a grande beneficiária e acumuladora dessas águas, que são descarregadas na rede fluvial.

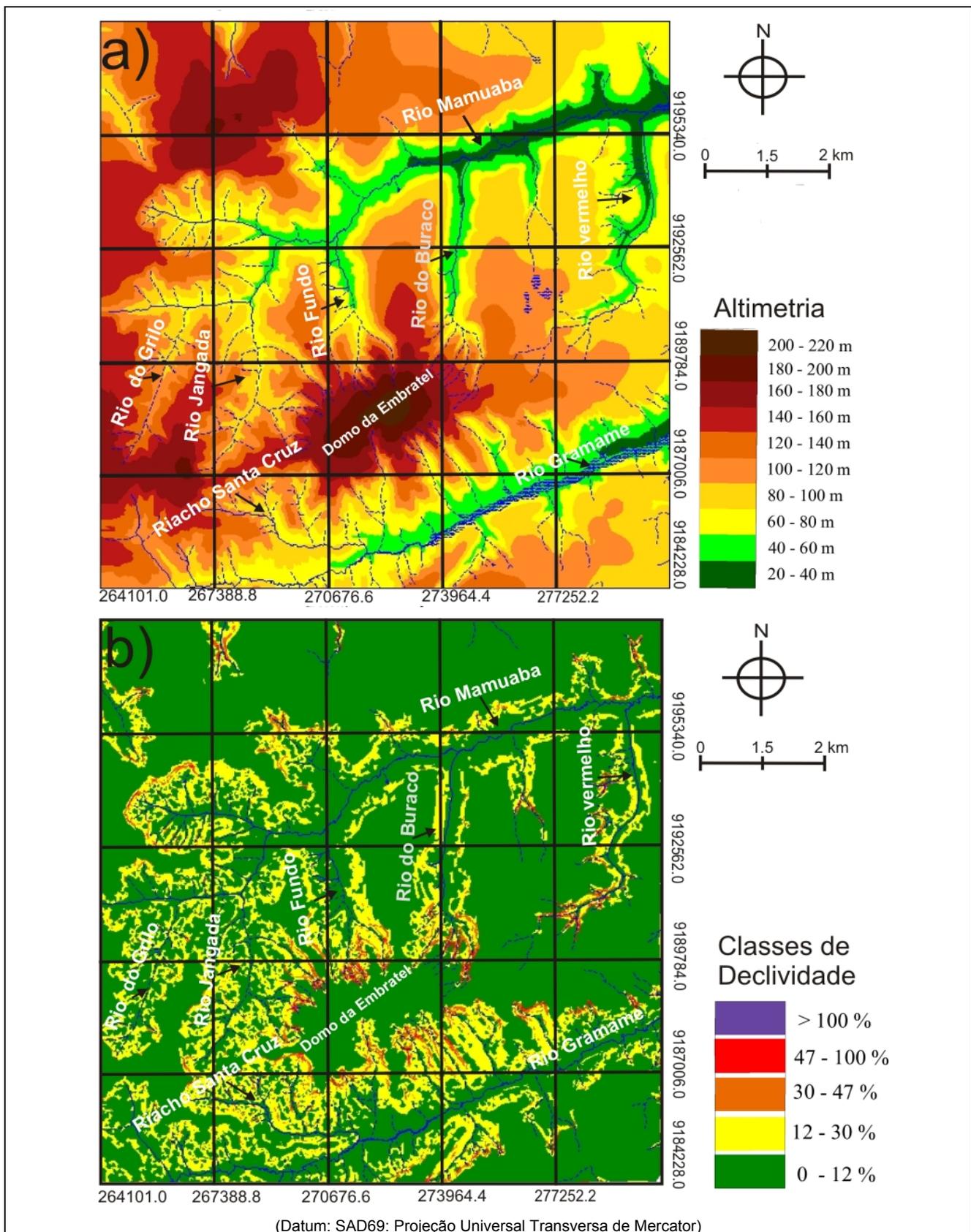
Os produtos cartográficos de declividade e altimetria possibilitaram um entendimento bastante detalhado da geomorfologia da área, mostrando duas características peculiares principais na bacia do rio Mamuaba: o acentuado desnível altimétrico entre os tabuleiros localizados ao sul da bacia do rio Mamuaba, cujas altitudes alcançam até 213 m, e os localizados ao norte da bacia, onde as altitudes máximas são de 130 m, perfazendo, portanto, uma diferença de 83 m entre os dois tabuleiros que confinam o rio Mamuaba. Essa acentuada diferença entre os Tabuleiros Litorâneos corrobora a ideia de reativações pós-cretácica na área de intensidades distintas, já que os tabuleiros possuem a mesma litologia.

Devido à diferença altimétrica entre os tabuleiros que confinam o canal do rio Mamuaba, é possível observar uma rede de drenagem extremamente assimétrica, com os rios oriundos dos tabuleiros localizados ao sul, mais extensos e entalhados, enquanto na porção situada ao norte, encontram-se rios pouco entalhados e pouco expressivos em extensão (figura 5a e 5b).

Na porção onde está situado o domo da Embratel é possível observar as maiores declividades da área em análise, percebendo-se elevados entalhamentos com vertentes que alcançam até 100% de declividade, ou seja, 45 graus, tendo rios fortemente encaixados em seus respectivos vales. É importante ressaltar que a litologia no domo da Embratel é igual ao resto da bacia estudada. É no cume central do domo da Embratel de onde partem os tributários fundamentais do alto curso do rio Gramame e Mamuaba. Outra anomalia em condições de assimetria da bacia é a retinidade apresentada pelo rio do Grilo e pelo rio Vermelho, no seu médio e baixo curso, dando a entender que o curso desses rios é determinado por uma zona de fraqueza, tal como uma falha.

Com o auxílio da carta clinográfica (Figura 5b), é possível mostrar com nitidez os limites norte e sul da bacia onde se observam declividades superiores na borda sul, variando com maior frequência valores entre 47% e 100%, além de exibir com bastante clareza os elevados entalhamentos formados pelos rios Fundo e do Buraco, cujas vertentes alcançam até 100% de declividade.

Figura 5. Cartas de altimetria (a) e de declividade (b), referentes à carta topográfica Rio Mamuaba. (Org.: Vinícius Ferreira de Lima).

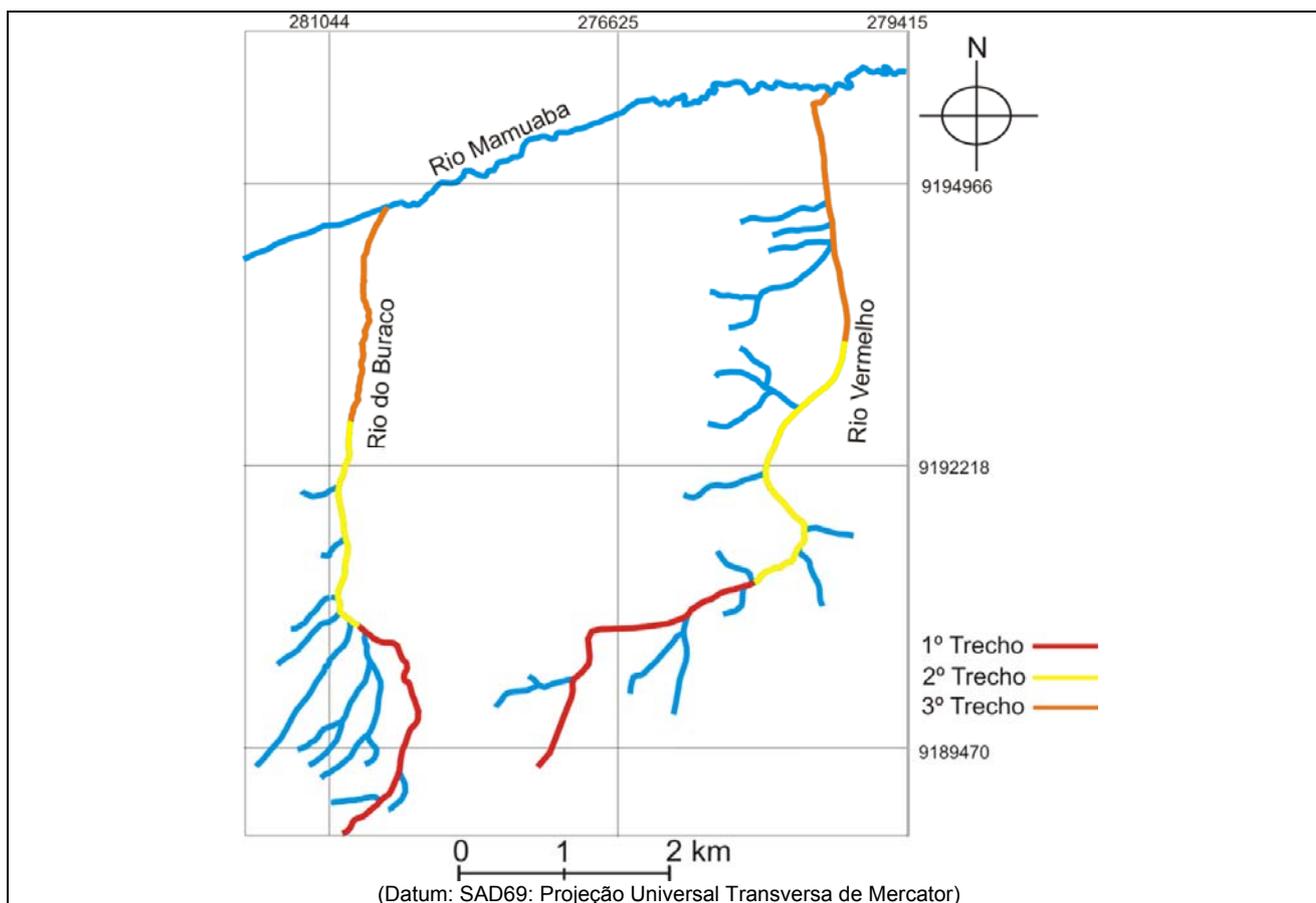


Caracterização Morfométrica

O cálculo morfométrico foi aplicado na área de estudo para a averiguação de possíveis indicativos de atividades de tectônicas recentes, para tanto, tomou-se como guia o cálculo do índice de RDE (Relação Declividade/Extensão) já utilizado em algumas pesquisas com o mesmo propósito, como é o caso de (BARBOSA et al., 2011; ETCHEBEHERE et al., 2006).

Esse cálculo foi aplicado para dois rios afluentes da bacia principal que foram os rios Vermelho e do Buraco. Foram definidos três segmentos de drenagem em cada rio para que pudesse ser aplicado o RDE (trecho). Estes segmentos atingem a extensão total no rio Vermelho de 8685 m, e do rio do Buraco, com 6888 m (Figura 6).

Figura 6. Localização da área dos cursos propostos para o cálculo do RDE, com destaque para os trechos escolhidos. (Org.: Vinícius Ferreira de Lima).



O índice morfométrico RDE pode apontar sensíveis mudanças na declividade de um canal fluvial que pode estar associada a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico e/ou a atividades neotectônicas na área (BARBOSA *et. al.*, 2011). Visto que a área estudada está assentada única e exclusivamente sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras e não ocorrem desembocaduras de tributários de caudal expressivo, esse índice torna-se de grande valia para que possa ser alcançado o objetivo proposto na pesquisa.

A obtenção do índice RDE por trechos apontou que praticamente todos os segmentos, com exceção de apenas um dos trechos, sendo esse o

baixo curso do rio do Buraco, apresentam indícios de anomalias de drenagem, estando eles posicionados tanto no alto, médio ou baixo curso dos rios verificados. Para avaliar os valores do índice de RDE, tomou-se como base o trabalho de Andrades Filho (2010), o qual destaca que os segmentos considerados anômalos são os que obtêm RDE real (RDE trecho/RDE total) maior ou igual a 2. Quanto maior o valor encontrado maior será a intensidade da anomalia.

Os resultados dos cálculos de RDE (total) e RDE (trecho) dos cursos dos rios Vermelho e do Buraco indicam que os mesmos se encontram dentro do padrão anômalo, ou seja, maior que 2, visto que toda a área da bacia está inserida predominantemente sobre uma mesma litologia - sedimentos inconsolidados da Formação

Barreiras. Portanto, presume-se que os altos valores de RDE verificados no curso dos rios estejam ligados a atividades de tectônica recente no desenho da bacia e no padrão de drenagem apresentado pela mesma.

As Tabelas 1 e 2 mostram um panorama das variáveis morfométricas encontradas no curso

total e nos segmentos dos trechos dos rios em análise, assim como também os resultados de RDE trecho, total e real, este último corresponde à realização da divisão entre os valores do RDE trecho pelo RDE total.

Tabela 1. Variáveis morfométricas do rio Vermelho.

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	126	24	102	-	8685	-	11,25	11,25
Trecho 1	126	50	76	3187	3187	65,84	11,25	5,85
Trecho 2	50	34	16	3188	5189	26,04	11,25	2,31
Trecho 3	34	24	10	-2409	8685	-36,05	11,25	3,20

Tabela 2. Variáveis morfométricas do rio do Buraco.

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	170	37	123	-	6888	-	13,92	13,92
Trecho 1	160	60	100	2784	2782	75,89	13,92	5,45
Trecho 2	60	43	15	2162	4203	29,16	13,92	2,09
Trecho 3	43	37	6	1956	6888	21,12	13,92	1,60

Dentre os valores encontrados a partir do cálculo do RDE (total), o mais atípico é o do rio do Buraco que se localiza no setor sul da bacia, onde se encontram também outros canais fluviais muito entalhados, formando vales extremamente encaixados com cotas altimétricas elevadas. A existência de vales amplamente entalhados nessa porção revela uma grande relação entre as características apresentadas por esta drenagem e o domo da Embratel, tendo em vista que o soerguimento desse compartimento apresenta-se como um forte condicionante do padrão de drenagem, cujas cabeceiras dos canais se originam nesse alto estrutural. Outra característica em condição de assimetria do rio do Buraco, é que todos os canais de drenagem dessa bacia estão voltados para o domo da Embratel, corroborando ainda mais a ideia de grande influência desse alto estrutural na disposição da drenagem local.

Alguns estudos recentes sugerem que o Domo da Embratel é uma provável estrutura *push up* e sua origem pode estar relacionada com ativações tardias do *esplay out* do lineamento Congo-Coxixola, no entanto, suas causas necessitam de uma investigação mais apurada de subsuperfície (Brito Neves *et al.*, 2009). Embora sua gênese ainda careça de maiores detalhes, sua influência no padrão da rede de drenagem local é indiscutível e, portanto, a evolução geomorfo-

lógica da área está, também, extremamente relacionada ao mesmo.

Apesar do rio do Buraco ter apresentado maior índice de RDE (total), com uma anomalia registrada de 13,92 que é extremamente alta, foi o rio Vermelho que apresentou os maiores índices de anomalia por trecho, com destaque para o seu alto e baixo curso, apresentando os valores de 5,85 e 3,20 respectivamente. É também no rio Vermelho onde há o maior número de canais secundários que se apresentam fortemente encaixados no relevo. Esse rio dispõe de uma interessante assimetria possuindo uma grande retilinidade no seu médio curso e uma forte inflexão no seu médio e baixo curso, onde a poucos metros da foz, sua direção muda bruscamente de S-N para W-L, o que fortalece as evidências de influência neotectônica em toda a área pesquisada.

A atuação de processos neotectônicos na bacia do rio Mamuaba é fortalecida pelos valores encontrados através da aplicação desse índice morfométrico, já que a mesma está assentada única e exclusivamente sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras e não ocorrem desembocaduras de tributários de caudal expressivo o que poderia influenciar nos valores elevados obtidos.

CONCLUSÕES

O presente trabalho utilizou-se de ferramentas de geoprocessamento para identificação, análise e interpretação morfométrica e morfológica da bacia do rio Mamuaba e seus afluentes. As informações obtidas nas análises morfométricas mostraram que a bacia apresenta um forte entalhamento nos seus cursos de drenagem, principalmente nos situados ao sul da bacia, e acentuada assimetria no seu padrão de drenagem.

Esse estudo vem apoiar outros já existentes nas proximidades da área que por meio de cálculos morfométricos e análises morfológicas atestam que a configuração regional da rede de drenagem está fortemente atrelada ao fator tectônico, mesmo estando à retaguarda de uma margem continental do tipo passiva.

Fica evidente que os estudos de natureza tectônica que envolvam os Tabuleiros Litorâneos esculpidos sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras não devem desprezar totalmente as bacias e redes de drenagem existentes, visto que as propriedades litológicas dessa formação impedem, por muitas vezes, que estruturas deformacionais expostas às fortes intempéries do litoral brasileiro sejam preservadas por tempos geológicos.

Portanto, é de grande importância que os estudos de cunho tectônico nessas regiões litorâneas não desprezem as bacias hidrográficas, visto que as redes de drenagem representam um dos mais importantes agentes de modelagem do relevo, concebendo, sob a ação da gravidade, a esculturação dos vales e a configuração do relevo local. Por isso, esses estudos são de grande importância para comprovar eventos de cunho tectônico, pois a hidrografia se ajusta rapidamente a qualquer deformação crustal, reagindo de imediato a processos deformativos incluindo aqueles de menor magnitude.

Verificando os resultados obtidos com a aplicação do índice morfométrico voltados para a detecção de influências neotectônicas somados à descrição morfológica da bacia, confirmam de maneira expressiva que a neotectônica não pode ser desprezada na área em questão, como também não pode ser desprezada nos estudos de cunho geomorfológico, principalmente aqueles realizados na borda oriental do Nordeste brasileiro, sendo ainda necessário que se realizem diversos outros estudos de campo a fim de avaliar, com mais respaldo a influência da tectônica recente na região.

Por meio da combinação da análise morfológica e do cálculo morfométrico realizado (RDE), foi permitido verificar a possível presença de atividades tectônicas recentes atuantes sobre a área de estudo. Este índice morfométrico se demonstrou de grande valia para que fosse

alcançado o objetivo proposto na pesquisa, mas ainda é pouco utilizado no Brasil. Faz-se então necessário que mais estudos levem em consideração esse tipo de análise em outras áreas da costa paraibana ou em qualquer outro lugar do Brasil para averiguação de possíveis atividades neotectônicas, haja vista, que o território brasileiro não é estável do ponto de vista tectônico e várias pesquisas de cunho geomorfológico publicadas em décadas passadas praticamente desprezaram esse assunto.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através da concessão de bolsa de pesquisa do programa PIBIC. Nós apreciamos os vários comentários e correções feitas por um revisor anônimo, que contribuiu substancialmente para melhorar a versão inicial desse manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- ANDRADES FILHO, C. O. **Análise Morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD.** 2010. 150f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- ARAI, M. A grande elevação Eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1- 6, 2006.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89-198, 2004.
- BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. Análise de bacia hidrográfica como subsídio para detecção de Neotectônica: estudo da bacia hidrográfica do rio Gurujá, Litoral Sul do estado da Paraíba. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 1, p. 10-18, 2011.
- BARBOSA, M. E. F.; VITAL, S. R. de O.; LIMA, J. C. F. de; FREITAS, G. M. A. de; SANTOS, M. da S.; FURRIER, M. Aplicação do índice Relação Declividade-Extensão na bacia hidrográfica do rio

Guruji para detecção de deformações neotectônicas sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, litoral sul do estado da Paraíba, Brasil. **Geología Colombiana**, v. 36, n. 1, edición especial, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. CPRM. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002. 142 p. 2 mapas. Escala 1:500.000.

BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE J. P. T.; COUTINHO J. M. V.; BEZERRA, F. H.R. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). **Geologia USP - Série Científica**, v. 9, p. 63-87, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

EI HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER, E. A. Assessment of relative tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). **Geomorphology**, pp 150-173, 2008.

ETCHEBEHERE, M. L., SAAD, A. R., FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do peixe, região ocidental paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em seguimentos de drenagem. **Revista de Geociências**. v. 5, n.3, p. 271-287, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley, western São Paulo state, Brazil, baseado on the distribuion of late quaternary allounits. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 6, n. 1, p. 109-114, 2000.

ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Aplicação do índice "Relação Declividade - Extensão-RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Geologia USP: Série Científica**, v. 4, n.2, p. 43-56, 2004.

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa - 1: 100.000**. 2007. 213f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no estado da Paraíba. **Geologia USP: Série Científica**, v. 6, n. 2, pp 61-70, 2006.

GOPINATH, T. R.; COSTA, C. R. S.; JÚNIOR, M. A. S. Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993. Natal. **Atas...** Natal: SBG/Núcleo Nordeste, 1993. v. 1, p. 47-48.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and streamgradient index. **U.S. Geol. Survey, Jour. Research**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HERZ, R.; de BIASI, M. **Crítérios e legendas para macrozoneamento costeiro**. Brasília: Ministério da Marinha, Comissão Interministerial para Recursos do Mar, 1989.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil longitudinal**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado) - Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá - Paraná, 2005.

MELO, A. S. T. de. **Paraíba: desenvolvimento econômico e a questão ambiental**. João Pessoa: Grafset, 2003.

ROSSETT, D. F.; GÓES, A. M.; BEZERRA, F. H. R.; VALERIANO, M. M.; BRITO-NEVES, B. B.; OCHOA, F. L. Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. **Acad. Bras. Ciênc. Anais...**, v.84 n.2 Rio de Janeiro, 2012.

SOUZA, D. H. de.; HACKSPACHER, P.C.; TIRITAN, C. D.; RIBEIRO, L.F. B.; CAMPANI, M. M. Aplicação de análise morfométrica – relação declividade vs. extensão e perfil longitudinal das drenagens – na Bacia do Ribeirão das Antas para detecção de deformações neotectônicas no planalto de Poços de Caldas. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1. Esp., 2010.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Folha Rio Mamuaba SB. 25-Y-C-II-4-NE**. Recife: SUDENE, 1974. (1 Carta Topográfica, escala 1: 25.000).