

# CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E MORFOMÉTRICA PARA AVERIGUAÇÃO DE ATIVIDADE TECTÔNICA

*geomorphological and morphometric characterization for finding tectonic activity*

Maria Emanuella Firmino Barbosa \*

Max Furrier \*\*

## Resumo

O presente trabalho refere-se à caracterização geomorfológica, morfoestrutural e morfométrica da região emersa da carta Jacumã (SB-25-Y-C-III-3-NE), localizada no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. A utilização de técnicas de geoprocessamento para avaliação morfoestrutural, além de tentar reforçar as hipóteses levantadas em estudos anteriores, é considerada relevante, pois os produtos gerados são notáveis para evidenciar de maneira concisa a morfologia do relevo, onde a influência morfoestrutural na sua configuração e arranjo é conspícua. As técnicas utilizadas nesta pesquisa consistiram na confecção e análise das cartas hipsométricas, de declividade; análise da rugosidade do relevo, perfis topográficos, cálculos morfométricos e modelo em 3D. Para a confecção dos produtos acima se utilizou da vetorização manual em tela da carta topográfica Jacumã, com escala de 1:25.000 e equidistância entre as curvas de nível de 10 m, e do software livre Spring 5.1.7. Os resultados obtidos a partir das análises dos produtos gerados mostraram que a configuração do relevo e da hidrografia de toda a área está atrelada a uma influência morfoestrutural, incompatíveis com uma evolução baseada única e exclusivamente nos aspectos climáticos.

**Palavras chave:** Geomorfologia; Análise Morfoestrutural; Sistema de Informações Geográficas.

## Abstract

The present study refers to the geomorphological, morphostructural and morphometry characterization the onshore region of Jacumã chart (SB-25-Y-C-III-3-NE), located in the state of Paraíba, Northeast of Brazil. The use of GIS techniques for morphostructural evaluation, besides aiming to reinforce the hypothesis raised by previous studies, is considered relevant because the products generated are notable to concisely highlight the morphology of the relief, where the morphostructural influence in its configuration and arrangement is conspicuous. The techniques used in this study consisted of the elaboration and analysis of the hypsometric and declivity charts; as well as the analysis of the roughness and disposition of the relief, and the analysis of topographic profiles, morphometric calculations and 3D model generated in this study. For producing the above products were utilized manual vectorization in screen of Jacumã topographic chart with scale of 1:25,000 and equidistance between the level curves of 10 m, and Spring 5.1.7 free software. The results obtained from the analysis of the products showed that the configuration of the relief and hydrography of the whole area is linked to a morphostructural influence, incompatible with an evolution based solely on climatic aspects.

**Key words:** Geomorphology; Morphostructural Analysis; Geographic Information System.

## Resumen

El presente trabajo se refiere a la caracterización geomorfológica, morfoestrutural y morfométrica del área terrestre de la plancha Jacumã (SB-25-Y-C-III-3-NE), ubicada en el estado de Paraíba, noreste de Brasil. El uso de técnicas de SIG para evaluación morfoestrutural, además de tratar de fortalecer las hipótesis formuladas en estudios anteriores, se considera relevante porque los productos generados son notables para demostrar de forma concisa la morfología del relieve, donde la influencia morfoestrutural en su configuración y arreglo es visible. Las técnicas utilizadas en esa investigación consistió en la preparación y el análisis de las cartas hipsométrica, de inclinación de las pendientes; análisis de la rugosidad del relieve, perfiles topográficos, cálculos morfométricos y modelo 3D. Para la producción de los productos mencionados anteriormente se utilizó la vectorización manual en la pantalla de la plancha topográfica Jacumã, con una escala de 1: 25.000 y equidistancia entre las curvas de nivel de 10 m, y el software libre Spring 5.1.7. Los resultados obtenidos a partir del análisis de los productos generados demostraron que la configuración del relieve y de la hidrografía de toda la zona está vinculada a una fuerte influencia morfoestrutural, incompatible con la evolución basada únicamente en los aspectos climáticos.

**Palabras clave:** Geomorfología; Análisis morfoestructurales; Sistema de Información Geográfica.

(\*) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Av. Senador Salgado Filho, Capim Macio, CEP: 59.072-970, Natal (RN), Brasil. Tel: (+55 84) 2153807 - mariaemanuellaf@gmail.com

(\*\*) Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária Castelo Branco III, CEP: 58.059-900, João Pessoa (PB), Brasil. Tel: (+55 83) 3216 7750 - max.furrier@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A área de estudo compreende a região emersa da carta topográfica Jacumã 1:25.000 (BRASIL, 1974), que abrange o município do Conde e parte do município de Pitimbu, ambos pertencentes ao estado da Paraíba. O principal objetivo deste estudo é a caracterização geomorfológica, morfoestrutural e morfométrica dos baixos planaltos costeiros, compostos, predominantemente, pelos sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras. Pretende-se, por meio deste estudo, caracterizar, diagnosticar e confeccionar produtos cartográficos para análise geomorfológica da área onde os aspectos morfoestruturais e as evidências de tectônica são conspícuas.

A área de estudo abrange a região emersa da carta topográfica Jacumã, escala 1:25.000, (SB. 25-Y-C-III-3-NE) situada geograficamente entre os paralelos  $7^{\circ}15' / 7^{\circ}22'30''$  de latitude sul e os meridianos  $34^{\circ}45' / 34^{\circ}52'30''$  de longitude oeste. Abarca parte dos municípios do Conde e de Pitimbu, pertencentes, respectivamente, às microrregiões de João Pessoa e do Litoral Sul do estado da Paraíba.

O método empregado no presente trabalho está calcado nas diferentes técnicas para definir e estudar os parâmetros morfológicos como marcador de possíveis eventos tectônicos que influenciam substancialmente na morfoestrutura. Essas técnicas vêm sendo propostas por vários pesquisadores. Mello (2000) considera as formas de relevo como elementos condicionados, principalmente pela (neo)tectônica, cujos indicadores principais estão representados pela rede de drenagem. Essas evidências devem ser estudadas de forma integrada com outras ferramentas e métodos de investigação, visando definir feições estruturais correlacionadas aos depósitos recentes.

A tectônica recente afeta a Formação Barreiras ao longo da costa brasileira, do Amapá ao norte do estado do Rio de Janeiro, sendo relatada em vários trabalhos que descrevem evidências de deformações tectônicas nessa Formação (Nogueira et al., 2006). Os tabuleiros formados sobre a Formação Barreiras não são uniformes, principalmente em sua altimetria, e por isso seu desenvolvimento não pode ser atrelado somente ao clima.

A partir deste estudo é possível obter um melhor conhecimento da dinâmica dos processos geomorfológicos, arranjo estrutural e das evidências tectônicas verificadas na área em questão, o que torna esse trabalho um norteador para outras pesquisas de cunho geomorfológico que não enfatizam as evidências morfoestruturais e tectônicas em uma área muito difundida como passiva e estável onde explica-se o relevo quase que exclusivamente pelo clima, o que não se verificou nessa pesquisa.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A região onde está inserida a carta topográfica Jacumã se encontra integralmente localizada na Bacia Sedimentar Paraíba, também denominada anteriormente de Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba (ASMUS & CARVALHO, 1978; BRITO, 1979; MABESOONE; ALHEIROS, 1988, 1991). Essa bacia também já foi designada por Asmus (1975), como Bacia Recife-João Pessoa. Atualmente, após estudos mais detalhados, utilizando dados Geofísicos, a denominação mais aceita é de Bacia Sedimentar Paraíba (BARBOSA et al., 2003).

Mabesoone e Alheiros (1991) descrevem a Bacia Paraíba como uma estrutura em forma de homoclinal com mergulho suave em direção ao mar, a qual é subdividida pelas falhas transversais de Goiana e Itabaiana-Pilar em três sub-bacias: Olinda, Alhandra e Miriri. A largura média da faixa sedimentar é de aproximadamente 25 km e sua espessura máxima pode atingir até 400 m de profundidade. A área de estudo está totalmente localizada na sub-bacia Alhandra, a qual possui como limites as falhas de Itabaiana, ao norte, e a falha de Goiana, ao sul. (Figura 1).

Segundo Petri e Fúlfaro (1988), a sequência sedimentar mais antiga da faixa costeira da Bacia Paraíba é de espessura relativamente reduzida e pertence ao intervalo Campaniano, ou Turoniano-Paleoceno, em contato com o embasamento cristalino pré-cambriano. É composta, desde o substrato



até seu topo, pelas formações Beberibe, Gramame e Maria Farinha, sendo a primeira de composição clástica e as duas últimas formadas por calcários e margas, o que já atesta que essa área vem sofrendo influências tectônicas desde a abertura do Atlântico. Com o movimento da América do Sul para oeste, essa tectônica continua ativa.

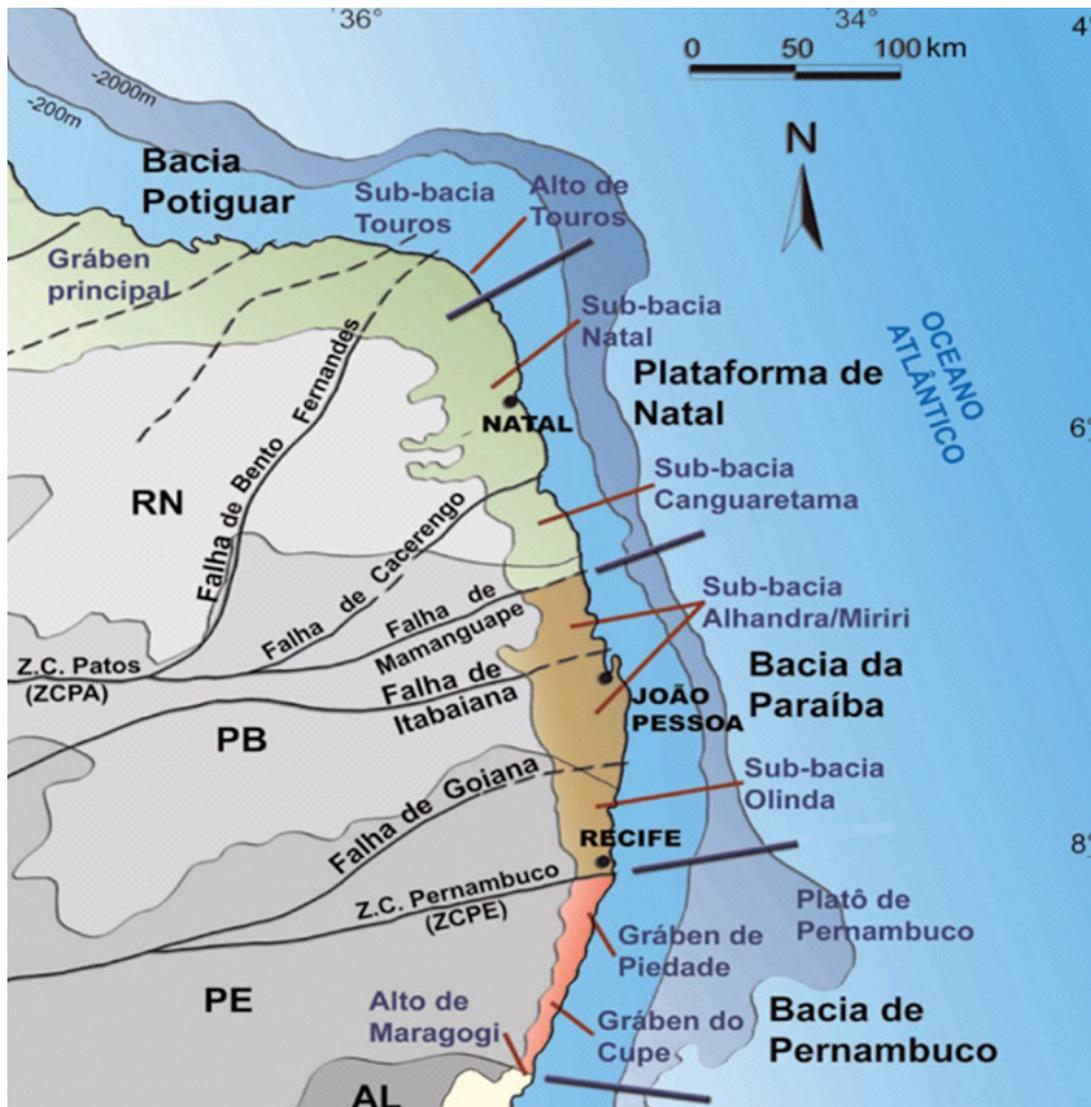


Figura 1 – Sub-bacias que fazem parte da Bacia Paraíba  
Fonte: Barbosa e Lima Filho (2006).

A área de estudo está inserida, em sua maior parte, no domínio dos sedimentos arenoargilosos mal consolidados da Formação Barreiras, uma cobertura residual de plataforma capeadora de várias bacias marginais brasileiras, entre elas a Bacia Paraíba (Figura 2). Na área de estudo, a Bacia Paraíba encontra-se sotoposta à Formação Barreiras de forma discordante, pois abaixo dela encontra-se a Formação Maria Farinha, do Paleoceno, e enquanto datações absolutas em concreções ferruginosas e datações relativas colocam a Formação Barreiras no Mioceno (ARAI et al., 1988).

Segundo Petri e Fúlfaro (1988), as Formações Beberibe, Gramame e Maria Farinha podem ser capeadas diretamente por depósitos do “Paleógeno”, conhecidos como Barreiras e atualmente os estratos quaternários são designados informalmente como Sedimentos Pós-Barreiras (ROSSETTI et al., 2007) situados sobre essa Formação, mesmo que pouco descritos, com algumas divergências entre pesquisadores e ainda fora do léxico estratigráfico brasileiro elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).



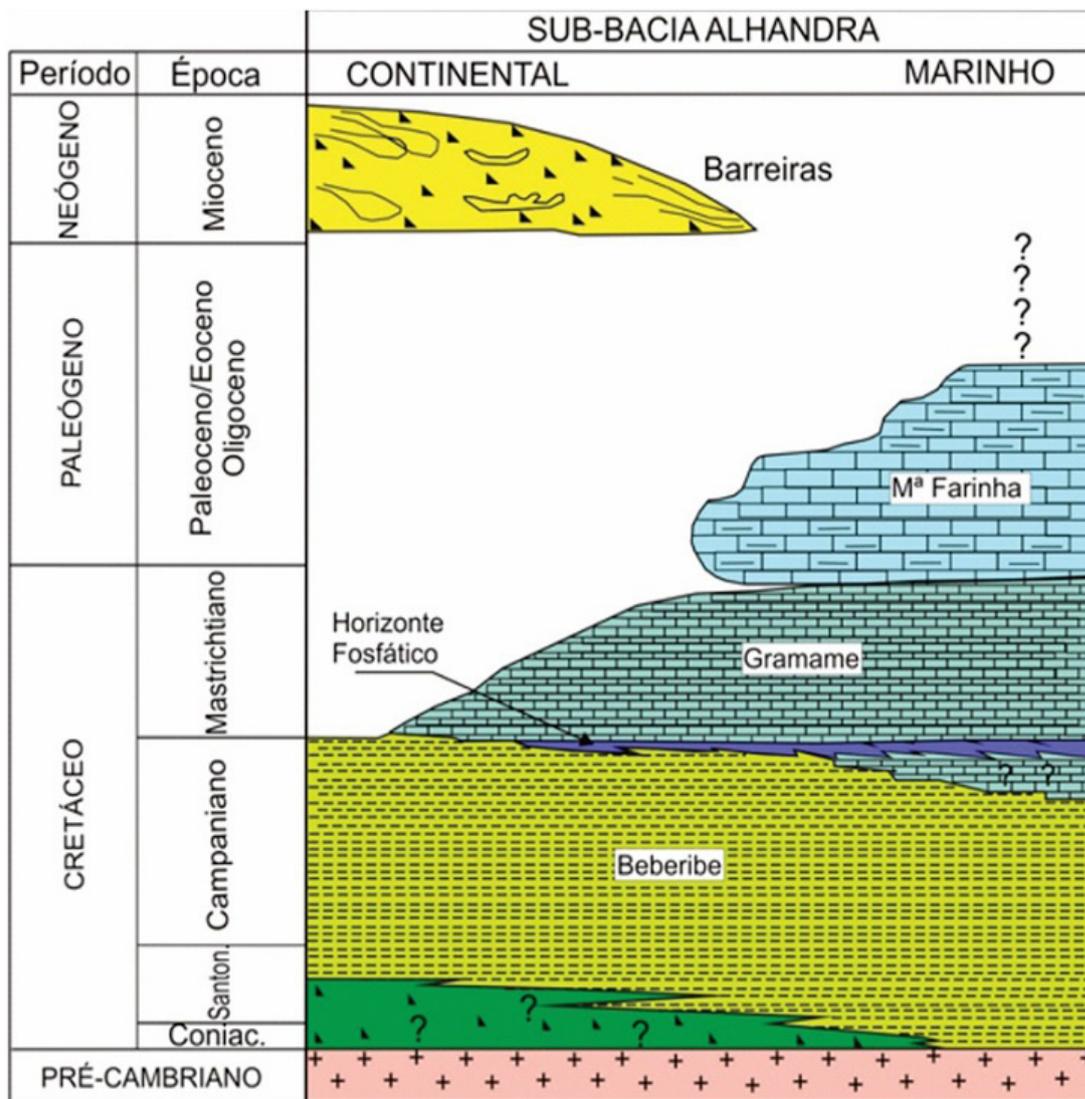
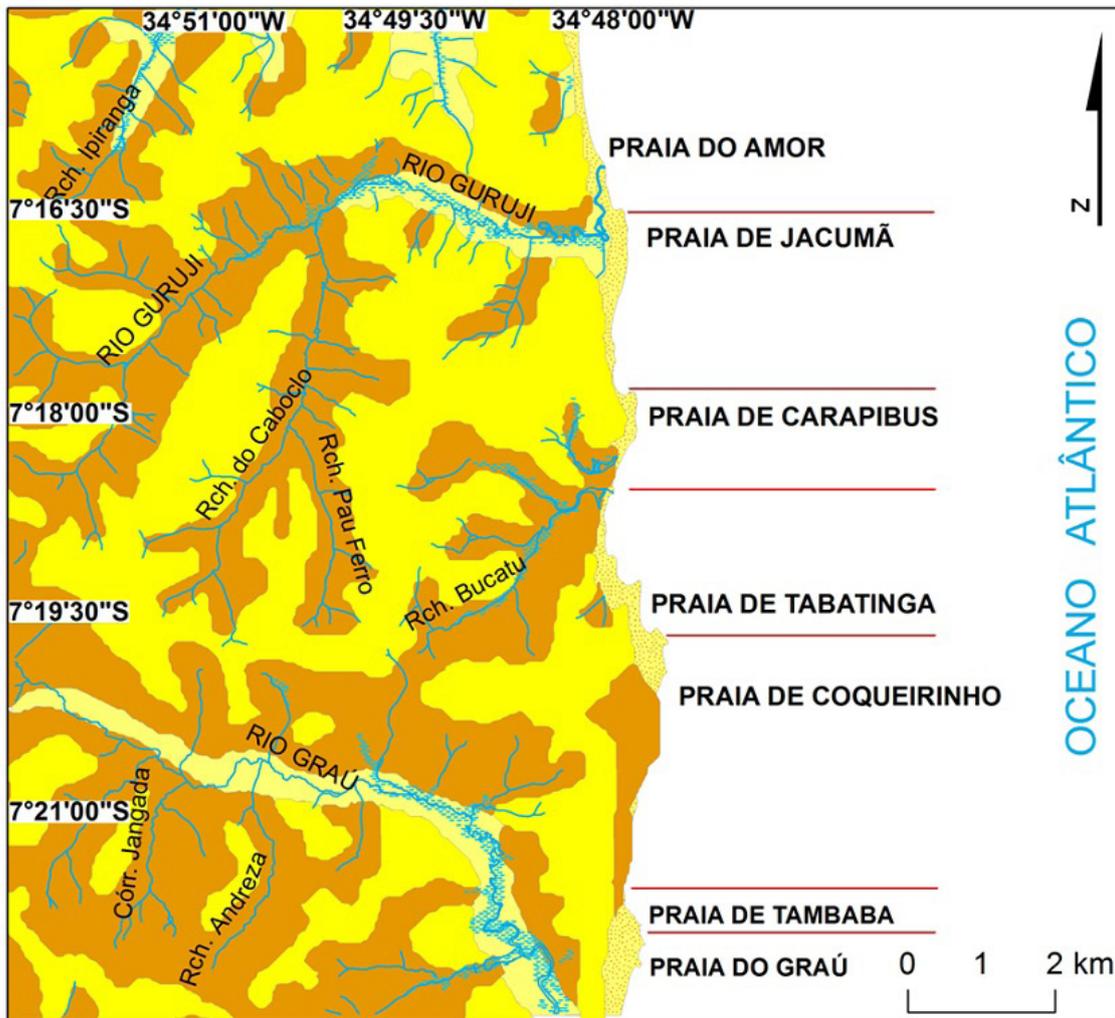


Figura 2 – Coluna estratigráfica da sub-bacia Alhandra, setor central da Bacia Paraíba  
 Fonte: Modificado de Barbosa et al. (2003).

Segundo Alheiros et al. (1988), a Formação Barreiras é caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e transicional para leques aluviais, constituídas por depósitos de granulometria variada, apresentando cascalhos, areias grossas e finas, de coloração creme amarelada, com intercalação de microclastos de argila/silte.

Os sedimentos da Formação Barreiras provêm basicamente dos produtos resultantes da ação do intemperismo sobre o embasamento cristalino arqueado, localizado mais para o interior do continente. No estado da Paraíba, esse embasamento arqueado é composto pelas rochas cristalinas do Planalto da Borborema. Por meio de análises sedimentológicas na Formação Barreiras, constatou-se que as fontes de seus sedimentos seriam granitos, gnaisses e xistos, litologias predominantes no Planalto da Borborema (GOPINATH et al., 1993).

Há uma vertente de pesquisadores que atribui outra origem para a Formação Barreiras que teria forte influência marinha relativa à transgressão miocênica (ROSSETTI et al., 1990). Essa divergência sobre a origem da Formação Barreiras não cabe aqui, nessa pesquisa, aprofundar, haja vista que se trata de um trabalho de cunho geomorfológico cujo enfoque está na atual configuração do relevo e à influência morfoestrutural e tectônica. Quanto à Formação Barreiras, não há divergência que a sua litologia é, predominantemente, arenoargilosa mal consolidada, constituindo-se em uma formação de litologia branda, facilmente erodida por processos superficiais e exposta ao intemperismo químico intenso, uma vez que a temperatura média anual para a área é de 25°C e pluviosidade média anual de 1691,9 mm (SUDENE, 1990). Cite dados mais atuais do INMET.



### Unidades Litoestatigráficas

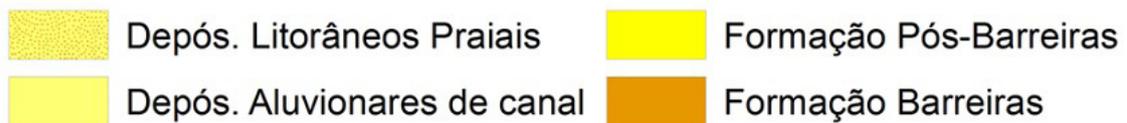


Figura 3 – Carta geológica da área de estudo.  
 Fonte: Adaptado de Rossetti et al. (2011).

Os depósitos quaternários, na área compreendida pela carta Jacumã, são reduzidos em comparação à abrangência da Formação Barreiras e podem ser divididos em dois conjuntos: o dos depósitos marinhos transicionais (terraços pleistocênicos, recifes rochosos, depósitos de mangue e areias praias) e o dos depósitos coluviais e os produtos eluviais que são os mais abrangentes e se encontram sobre a Formação Barreiras tendo sua gênese em processos de Etchplanation.

Na sua conceituação original, o aplainamento de corrosão (Etchplanation) representaria uma superfície de gradiente suave, sem qualquer relevo que se destacasse de forma conspícua, numa paisagem de clima sazonal, onde o movimento da água seria predominantemente vertical e intenso, favorecendo a alteração química das rochas e o aprofundamento do perfil (PASSOS e BIGARELLA, 2001).



## PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS

O material cartográfico produzido neste trabalho foi confeccionado com auxílio do software livre Spring versão 5.1.7. Todos os produtos confeccionados foram gerados a partir das curvas de nível com equidistância de 10 m, extraídas da carta topográfica Jacumã (BRASIL, 1974), escala 1:25.000. As coordenadas utilizadas foram as da projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

No processo de vetorização manual da carta topográfica Jacumã foi utilizado o software gratuito DraftSight. Outro software usado durante a pesquisa foi o ProGrid, desenvolvido para o sistema operacional Windows, que permite a transformação de coordenadas entre os sistemas de referência oficiais em uso no Brasil: Córrego Alegre, SAD69 e SIRGAS2000.

Foi gerado o Modelo Numérico do Terreno (MNT) com auxílio do software Spring 5.2 e a partir deste foram confeccionadas as cartas clinográfica, hipsométrica, geomorfológica, além de perfis topográficos e cálculos morfométricos, modelo sombreado do terreno e modelo em 3D. As análises desses produtos cartográficos e cálculos morfométricos foram de fundamental importância na elaboração deste trabalho, uma vez que se puderam observar várias discrepâncias topográficas, diferentes níveis de entalhamento e de declividade e o padrão assimétrico e anômalo das bacias hidrográficas, todos incompatíveis com a clássica Geomorfologia Climática difundida no Brasil.

Para a confecção da carta geomorfológica foram necessárias a sobreposição e a interpretação de diversos produtos cartográficos e, além disso, atividades de campo. A carta geomorfológica produzida nesta pesquisa foi elaborada de acordo com a metodologia desenvolvida por Ross (1996), que utilizou os conceitos de Mescerjakov (1968), com ajustes propostos por Furrier (2007) para adaptação à escala e ao relevo predominantemente tabular da área. Para um melhor entendimento todo o processo da elaboração da carta geomorfológica será descrito a seguir explicando a definição e delimitação de cada táxon referente à metodologia adotada:

1º Táxon: determinação do 1º táxon, referente à morfoestrutura.

2º Táxon: determinação da mofoescultura, das grandes formas de relevo que predominam na área.

3º Táxon: determinação dos padrões de forma do relevo. Para determinação desse táxon foram necessários o uso de imagem sombreada do programa Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), imagem de satélite e da carta topográfica, nas quais puderam-se observar os padrões morfológicos do relevo e dessa maneira dividi-los em polígonos de denudação e de acumulação.

4º Táxon: determinação dos tipos de forma de relevo. Neste trabalho foram classificadas ao todo cinco formas de acumulação (formas de planície intermaré; formas de planície fluvial; formas de terraço e planície marinha; formas de colúvio, terraço e planície fluvial; e, formas de colúvio e terraço fluvial). As formas de denudação no presente trabalho dividem-se em dois tipos: formas tabulares e semiconvexas. Dentro dessa divisão existem subdivisões: traça-se uma reta na região central do curso principal de uma determinada bacia, em seguida observa-se a diferença altimétrica entre as duas extremidades da reta (Tabela 1), na coluna vertical encontra-se a classe do entalhamento médio dos vales, que vai de muito fraco até muito forte, em seguida é medido o comprimento médio dos divisores de água, o qual se refere à linha horizontal na tabela, que diz respeito à dimensão interfluvial média, que vai desde muito grande até muito pequena.



Tabela 1 – Matriz dos índices de dissecação das formas de relevo

Grau de Entalhamento dos Vales	Dimensão Interfluvial Média				
	Muito Grande (1) > 1500 m	Grande (2) 1500 a 700 m	Média (3) 700 a 300 m	Pequena (4) 300 a 100 m	Muito Pequena (5) ≤ 100 m
Muito fraco (1) < 20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 – 40 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 – 80 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 40 – 160 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 160 m	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1996).

5º Táxon: o quinto táxon não será detalhado no mapa geomorfológico produzido nesse trabalho por limitações gráficas. Esse táxon será analisado nos perfis topográficos N-S e corresponde às vertentes ou setores de vertentes que compõem os Tipos de Formas de Relevo Individualizados. Uma vertente, ou mesmo um setor de vertentes é individualizado pelas características geométricas, genéticas e dinâmicas.

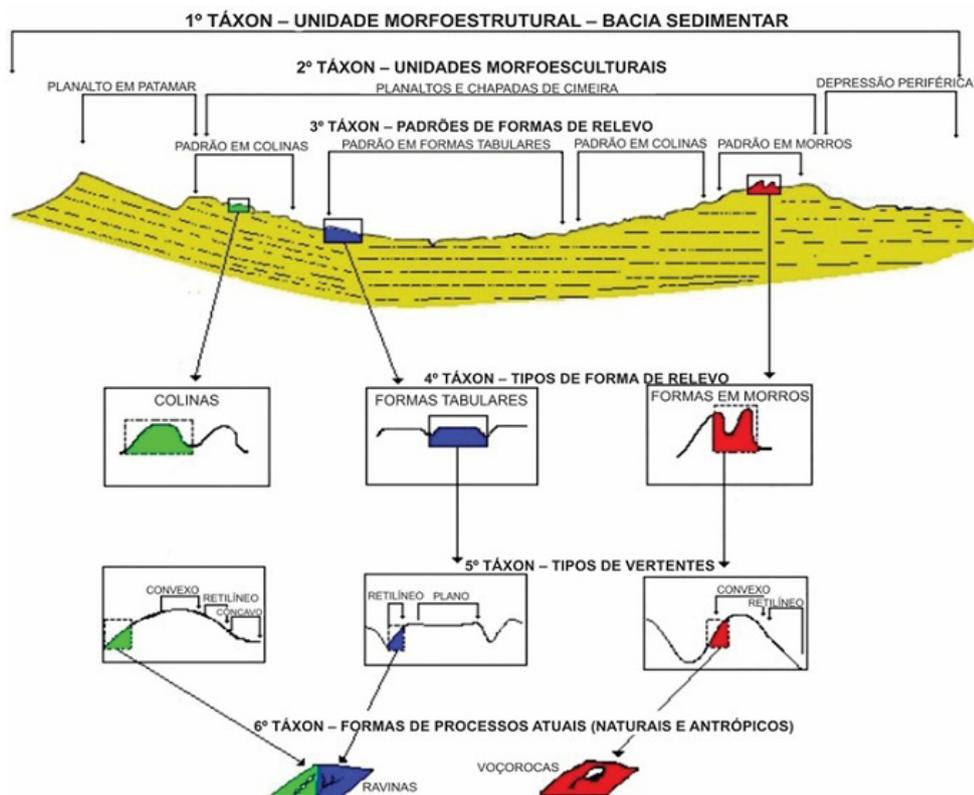


Figura 4 – Unidades taxonômicas de classificação do relevo.

Fonte: Adaptado de Ross (1992).

6º Táxon: representa as menores formas mapeáveis. São formas produzidas pelos processos erosivos ou deposicionais atuais. Como exemplos desse táxon podem ser citadas formas causadas por agentes naturais, tais como: voçorocas, ravinas, cicatrizes de deslizamentos, assoreamentos, bancos de sedimentação atual e, as formas antrópicas, como o corte, aterros, desmontes de morros, entre outras (Figura 5). A representação cartográfica do sexto táxon possui os mesmos problemas relatados no quinto táxon, ou seja, somente podem ser representados em escalas grandes, nas quais a fotografia aérea e as imagens orbitais de alta resolução são ferramentas indispensáveis. Sua representação cartográfica, quando possível, é feita por meio de símbolos.

O sexto táxon são as feições estruturais identificáveis. Nesse caso, o material usado foi imagem de satélite CBERS 2B e atividades de campo, onde as formas foram verificadas e analisadas.

## ANÁLISES MORFOMÉTRICAS

Os aspectos quantitativos, segundo Florenzano (2008), referem-se à morfometria, representada pelas variáveis relacionadas a: medidas de altura, comprimento, largura, superfície, volume, inclinação (declividade), curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas. Algumas dessas variáveis são imprescindíveis na análise que se propõe realizar nesta pesquisa. Os valores relacionados às variáveis apresentadas são em parte obtidos por meio de índices morfométricos que auxiliam na análise morfotectônica. Esses índices podem auxiliar na identificação de terrenos com efeito tectônico, embora outras causas possam também estar envolvidas (ANDRADES FILHO, 2010).

Tal como propõe Keller e Pinter (1996 apud RINCÓN; VEGAS, 2000), a quantificação da morfologia do terreno e a morfometria permitem comparar distintos ambientes para caracterizar, assim, as áreas com comportamentos particularmente característicos. Por isso, o presente trabalho está também calcado no índice morfométrico Relação Declividade/Extensão (RDE) aplicados a estudos de tectônica recente, como os desenvolvidos e aplicados por diversos pesquisadores como: Hack (1973), Bull e McFadden (1977) e Etchebehere et al., (2005).

Torna-se importante mencionar que a maioria dos estudos que se utilizam de índices morfométricos em estudos geomorfológicos obtém os valores em locais específicos, como uma bacia fluvial ou em um perfil de um rio (EL HAMDOUNI et al., 2008). Segundo esses autores esses índices podem detectar anomalias causadas por tectônica ativa no sistema fluvial. No presente trabalho foi utilizado o índice Relação Declividade/Extensão (RDE) por ser o mais utilizado no Brasil constatado em análises de periódicos indexados.

## ÍNDICE DA RELAÇÃO DECLIVIDADE/EXTENSÃO (RDE)

Etchebehere et al. (2006) relatam que o RDE pode ser aplicado a toda a extensão da drenagem (RDEtotal ou RDEt), o que possibilita uma avaliação regional de grandes áreas ou apenas RDE de segmentos de drenagens (RDEsegmento ou RDEs), que têm relação mais local, aplicando-se à análise tectônica de detalhe.

Na fórmula apresentada para obtenção do RDEt,  $\Delta h$  é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso de água (cabeceira e a foz),  $\ln$  corresponde ao logaritmo natural do canal e  $L$  é a distância entre a cabeceira e a foz. De forma similar, para o RDEs,  $\Delta h$  é a diferença altimétrica entre dois pontos do canal em que o índice está sendo calculado,  $\Delta l$  corresponde à projeção horizontal do segmento em evidência e  $L$  é o comprimento total do curso de água a montante do ponto para o qual o índice está sendo calculado (Figura 5).

Para Andrades Filho (2010), o índice RDE é um indicador sensível de mudanças na declividade do canal fluvial, que podem estar associadas às diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato rochoso e/ou à atividade tectônica. O valor de RDEsegmento considerado anômalo será aquele que, dividido pelo RDEtotal, obtiver valor igual ou superior a 2 (MARTINEZ, 2005). Para esse trabalho, foram estipuladas três classes de anomalia fluvial para diagnosticar com mais detalhe cada curso de água onde esse índice foi aplicado ( $\leq 2$  RDE < 4,  $\leq 4$  RDE < 6 e RDE  $\geq 6$ ).



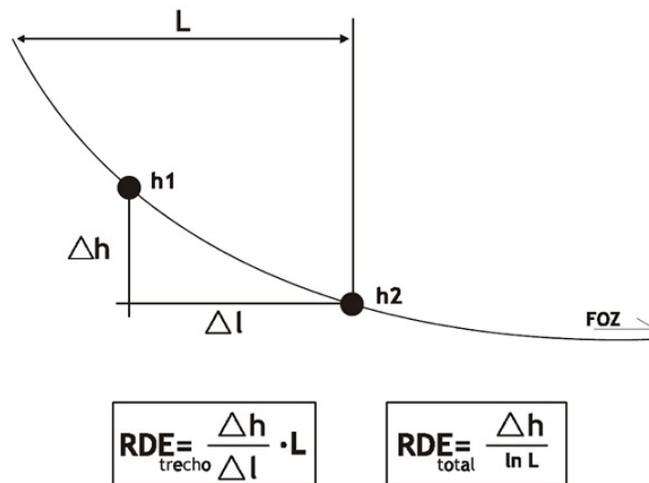


Figura 5 – Parâmetros para o cálculo do índice Relação Declividade/Extensão (RDE)

Nota: Os pontos h1 e h2 representam duas isolinhas altimétricas subsequentes.

Fonte: Martinez (2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente item serão abordados os resultados e a discussão relativa à análise qualitativa dos dados oriundos das cartas temáticas geradas a partir do MNT e da carta geomorfológica, além dos dados qualitativos gerados a partir do índice morfométrico aplicado para avaliação tectônica recente e de extensos trabalhos de campo realizados na área.

### Imagem sombreada

O primeiro produto analisado foi a imagem sombreada do terreno (Figura 6), na qual pode-se observar nitidamente o forte entalhamento dos canais das duas maiores bacias hidrográficas localizadas na área de pesquisa (Guruji e Graú), e também o forte entalhamento do riacho Pau Ferro. Ainda sobre esse riacho, outra característica singular é que ele possui afluentes que produzem acentuados entalhes, gerando vertentes com as mais elevadas declividades que serão quantificadas na análise da carta clinográfica. O riacho Pau Ferro se origina na porção central da carta, onde existem patamares tabulares elevados para a área em questão, chegando a 94 m, com topos que chegam a 121 m.

É bastante nítida na imagem sombreada, a divisão geomorfológica da área em duas morfoesculturas básicas divididas pelo Alto Estrutural Coqueirinho. No setor norte da área, formam-se tabuleiros típicos amplamente difundidos em livros básicos como Tabuleiros Litorâneos ou Costeiros, desenvolvidos sobre a Formação Barreiras. Já no setor sul, predominam exclusivamente, morfoesculturas semiconvexas, também desenvolvidas sobre a Formação Barreiras, com altitudes que serão discutidas posteriormente, também distintas em relação ao setor norte.

A morfologia e a densidade da rede de drenagem mudam bruscamente entre esses dois setores, tendo o setor sul, rede de drenagem mais densa, com fortes entalhes erosivos onde não são encontradas planícies fluviais avantajadas. Nesse compartimento, os cursos de água entalham fortemente seus leitos, chegando a exumar as formações sedimentares sotopostas da Bacia Paraíba (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006; FURRIER, 2007). Esses entalhes erosivos não ocorrem no compartimento localizado ao norte desse alto estrutural, onde os cursos fluviais também entalham fortemente o relevo, mas não exumam as formações sedimentares sotopostas. Essas discrepâncias acentuadas não podem ser explicadas simplesmente pelo fator climático, haja vista que a litologia e o clima são exatamente os mesmos, portanto, não há como negar que há um fator morfoestrutural e tectônico que faz o relevo ser distinto em uma área relativamente pequena. Para corroborar essas descrições expostas, adiante serão analisados produtos cartográficos com dados morfométricos e quantitativos a respeito dessa discrepância.



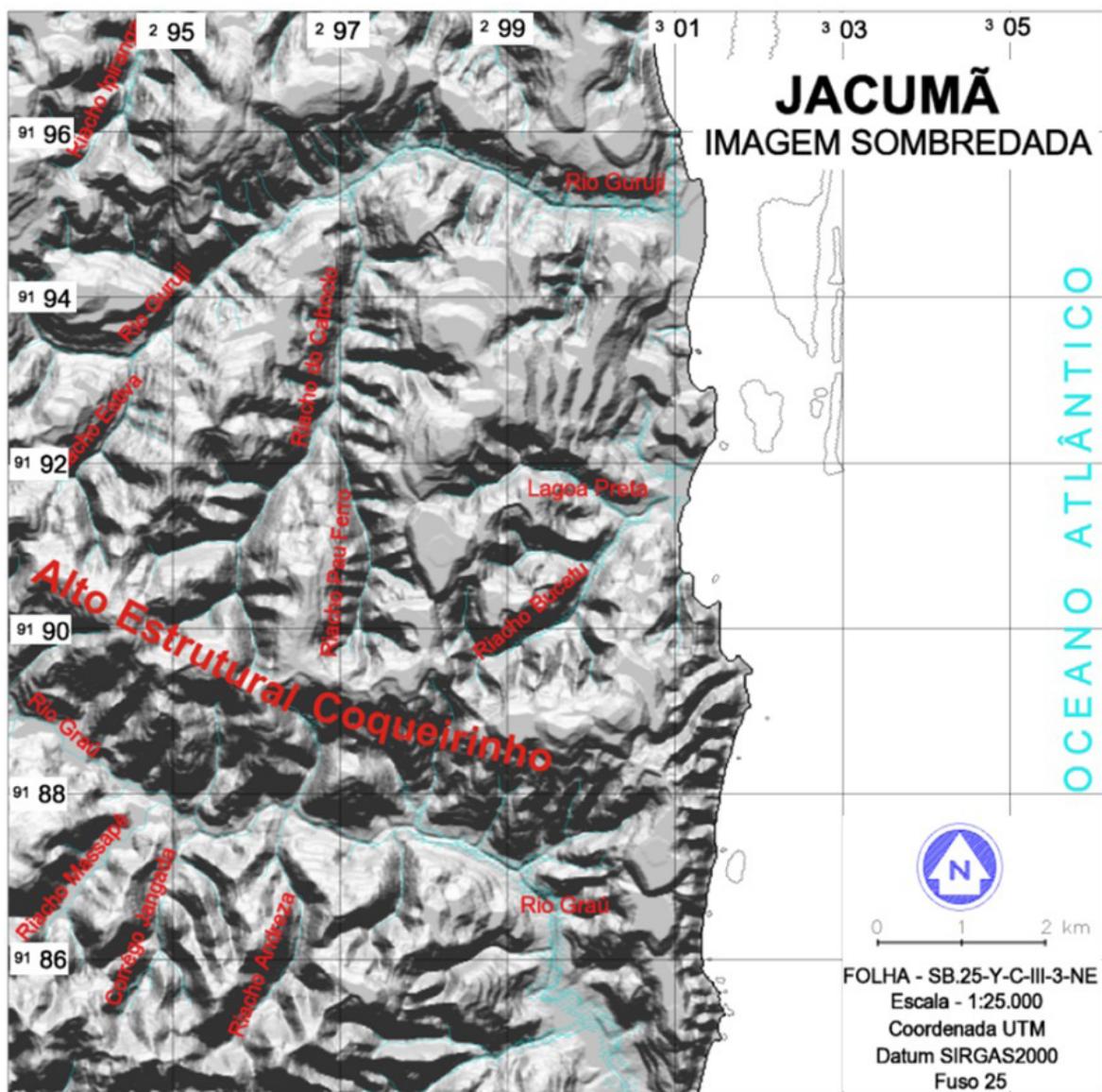


Figura 6 – Imagem sombreada da carta Jacumã, azimute 180° e elevação 45°.

Fonte: Imagem SRTM tratada no software Spring 5.1.7.

### Carta hipsométrica

A carta hipsométrica (Figura 7), permite avaliar vários parâmetros e dimensões morfológicas distintas, dentre eles a porcentagem de área que cada categoria altimétrica abrange. O resultado obtido mostra que a classe altimétrica que varia entre 20-40 m obteve o maior valor areal, aproximadamente 27,90 km<sup>2</sup>, e o menor valor, com menos de 1% de área (0,0044 km<sup>2</sup>), é a classe altimétrica que varia entre 120-140 m, área que se refere ao ponto mais alto da carta Jacumã, que é de 121 m (Tabela 2). Cabe salientar que o software quantificou somente a parte emersa da área, sendo a parte oceânica suprimida.

Outros valores encontrados foram: 18,19 km<sup>2</sup> na classe altimétrica de 0-10 m, que se refere às áreas das planícies e terraços fluviais, mangues e praias. A classe altimétrica que varia 10-20 m, que ainda retrata as áreas de terraços e planícies fluviais no médio e baixo curso dos rios e seus afluentes, abrange uma área de 13,07 km<sup>2</sup>. Os valores entre 40 e 60 m ocupam uma área de 27,25 km<sup>2</sup>, sendo a maior classe altimétrica em espaço geográfico e corresponde aos tabuleiros já erodidos, rebaixados ou não soerguidos por atividades tectônicas. A classe altimétrica de 60-80 m possui uma área de 21,53 km<sup>2</sup>; entre 80-100 m abrange 6,40 km<sup>2</sup>; e, por fim, os valores da classe altimétrica entre 100-120 m referem-se apenas a 0,71 km<sup>2</sup>.

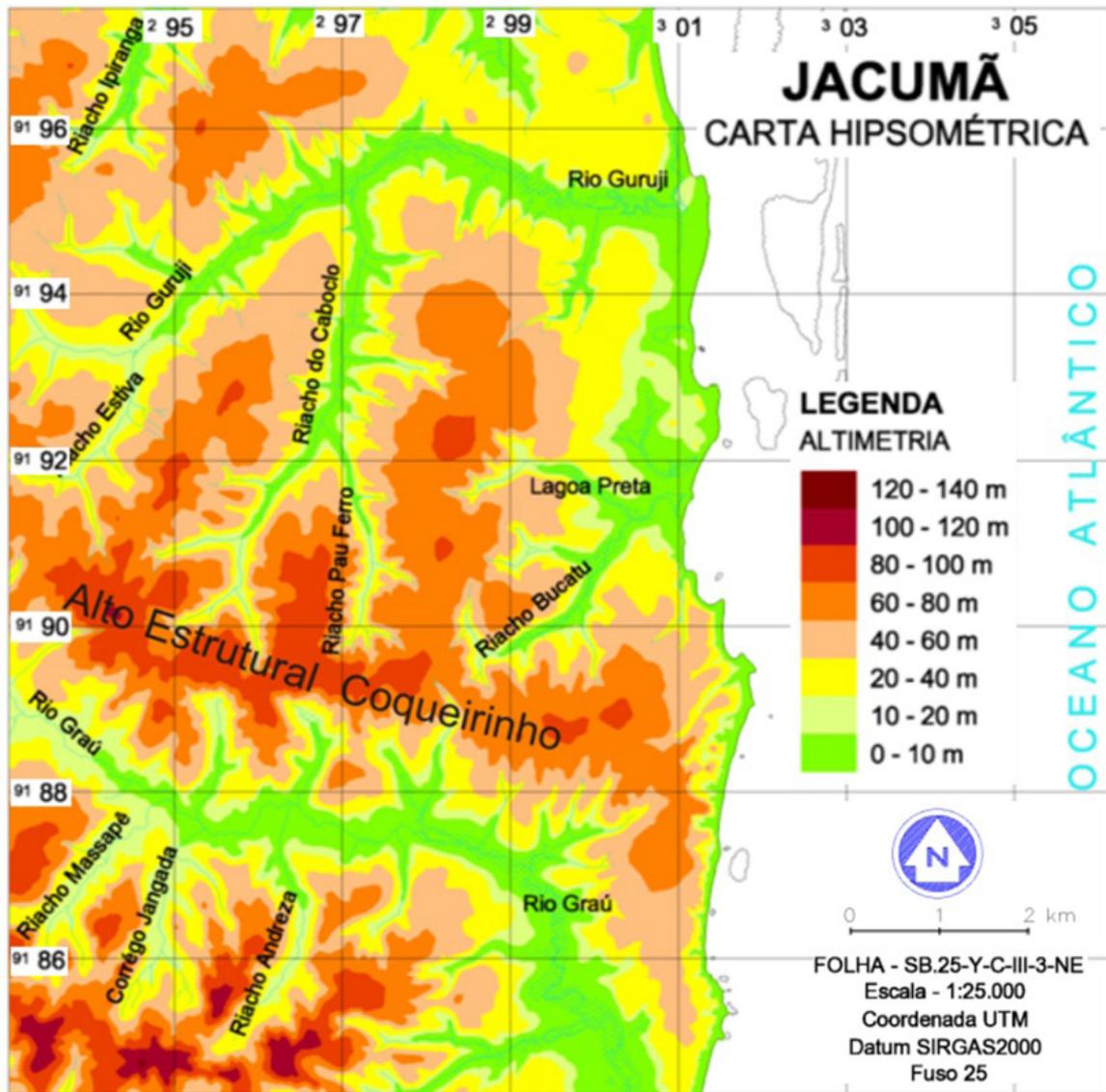


Figura 7 – Carta hipsométrica da área de estudo

Tabela 2 – Área correspondente a cada classe altimétrica

Classes Altimétricas	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
0 – 10	18,1899	9,455
10 – 20	13,0713	6,795
20 – 40	27,8964	14,501
40 – 60	27,2507	14,165
60 – 80	21,5262	11,190
80 – 100	6,3830	3,318
100 – 120	0,7080	0,368
120 – 140	0,0044	0,002
<b>Total</b>	<b>115,0299</b>	<b>59,794</b>

Na área abrangida pelo Alto Estrutural Coqueirinho vários patamares com altitudes superiores a 120 m são encontrados, porém fora da área de estudo. O ponto culminante dentro da área de pesquisa é de 121 m. Portanto, ou esse alto estrutural reflete um resquício da altitude anterior que alcançava os tabuleiros da área, ou é um relevo morfotectônico atual corroborado pelos índices morfométricos dos riachos que possuem suas nascentes nas proximidades de seu topo, a as orientações das drenagens estão fortemente atreladas a esse alto estrutural com direção S – N.



Esse alto estrutural avança até a praia de Coqueirinho formando as falésias mais elevadas de todo o estado da Paraíba, alcançando em certos pontos 70 m de altura. Defronte a essa praia, próximas à linha de costa, são visíveis belas exposições da Formação sotoposta Maria Farinha, que alcançam alturas de até 10 m. Não há, em todo o litoral da Paraíba, exposições da Formação Maria Farinha tão elevadas quanto as encontradas defronte à praia de Coqueirinho.

Os patamares mais elevados dentro da área de estudo estão localizados ao sul do rio Graú (setor sul), com altitudes superiores a 120 m, onde também se observa que os topos diferem significativamente do restante da área, com morfologias e dimensões reduzidas, se comparados aos topos encontrados no compartimento ao norte do alto estrutural. Por essa área possuir maiores altitudes, observa-se um maior entalhamento médio dos vales e elevadas declividades das vertentes. Nesse setor o relevo apresenta-se bastante dissecado, com uma alta densidade da rede de drenagem, diferenciando-se praticamente de todos os outros topos tabulares da área de estudo. As formas predominantes são constituídas por relevo com topos tabulares bastante reduzidos, às vezes aproximando-se de formas colinosas pouco evoluídas. Esse modelado, segundo Kaizuca (1963, apud SUGUIO, 1999), representaria a sequência evolutiva de superfícies geomorfológicas em soerguimento, equivalente à fase intermediária entre as superfícies tabular e colinosa, e nesse trabalho denominadas de semiconvexas.

## CARTA CLINOGRÁFICA

Como suporte para a caracterização mais ampla e detalhada do relevo, foi elaborada uma carta clinográfica da área que auxiliou na identificação e correlação das declividades com as feições geomórficas e sua possível relação com a tectônica, haja vista, a enorme heterogeneidade de classes de declividade encontradas.

A definição das classes de declividade usadas neste trabalho foi baseada em Herz e De Biasi (1989), que estabeleceram classes segundo limites usados internacionalmente, bem como de acordo com trabalhos desenvolvidos por institutos de pesquisa nacionais e as leis vigentes no Brasil. As classes de declividade apresentadas por esses pesquisadores estão expressas em porcentagens, mas as mesmas podem ser convertidas em graus, caso haja necessidade ou interesse de algum profissional para uma melhor compreensão.

Analizadas as classes de declividade encontradas a maior área geográfica encontra-se no intervalo de 0-12% (0-7,25°) que corresponde às áreas tipicamente tabulares e aos setores de relevo agradacional, como as planícies e terraços fluviais, por exemplo, abrangendo uma área de 75,02 km<sup>2</sup>. A segunda maior classe de declividade verificada corresponde ao intervalo de 12-30% (7,25°-17°), que corresponde às vertentes com inclinação moderada e ocupa uma área de 27,90 km<sup>2</sup>. Esse intervalo de declividade encontra-se nas áreas de vertentes de cursos fluviais mais afastados do Alto Estrutural Coqueirinho. (Tabela 3).

Tabela 3 – Área correspondente a cada classe de declividade.

Classes de Declividade	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
0 – 12%	75,018025	39,00
12 – 30%	27,904450	14,50
30 – 47%	8,158375	4,24
47 – 100%	2,870100	1,49
> 100%	0,170175	0,09
<b>Total</b>	<b>114,121125</b>	<b>59,32</b>

Na carta clinográfica (Figura 8) observa-se que as maiores declividades estão nas vertentes das cabeceiras de drenagem do setor sul da bacia do rio Guruji e em praticamente toda extensão das vertentes do vale do rio Graú (setor sul da área de estudo). Avaliando toda a área verifica-se,

nitidamente, que ao sul do Alto Estrutural Coqueirinho as declividades das vertentes são mais elevadas que no setor norte, e que nas vertentes dos cursos fluviais que possuem suas cabeceiras no alto estrutural as mesmas também possuem declividades mais acentuadas.

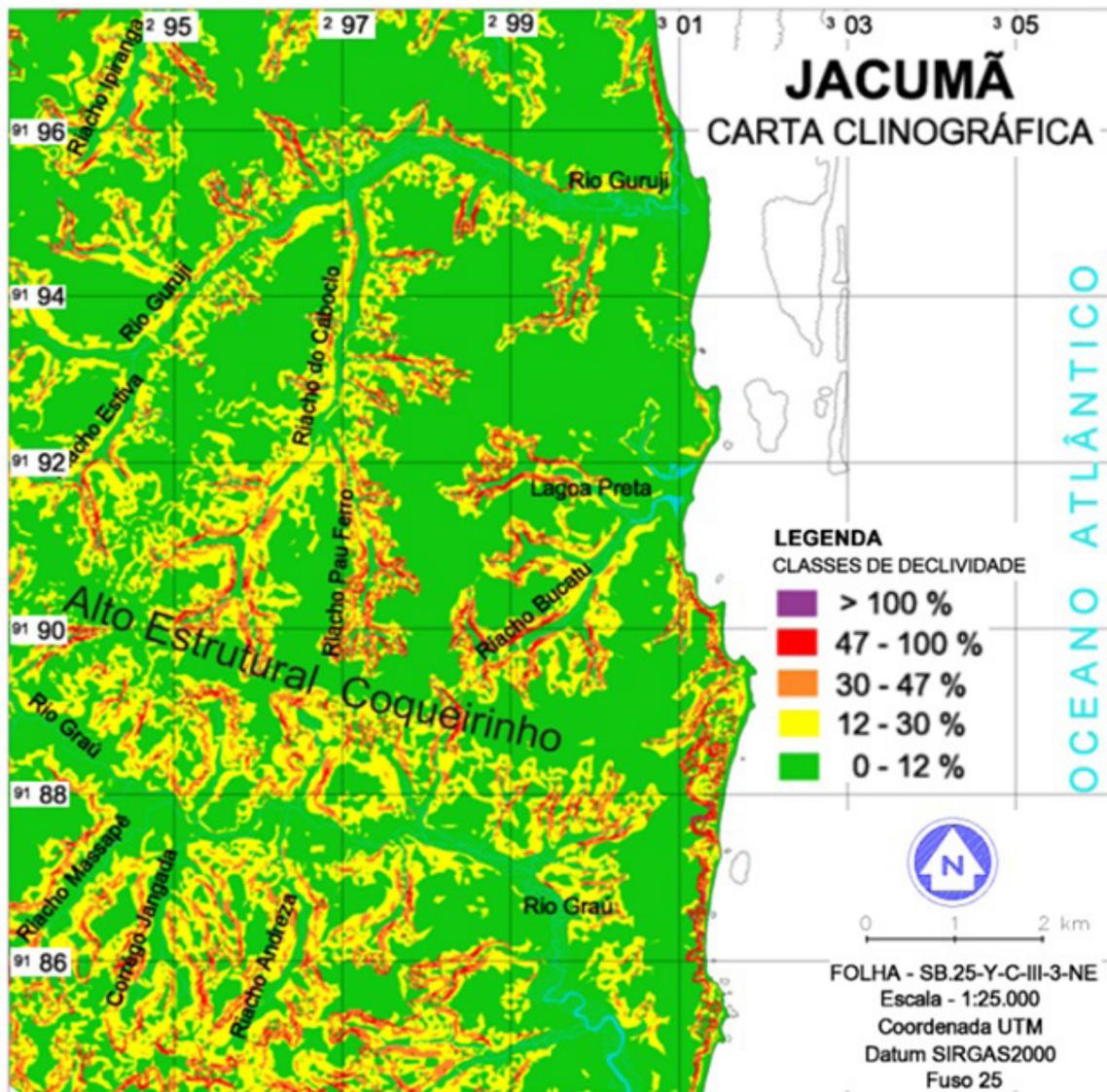


Figura 8 – Carta clinográfica da área de estudo

Uma área bastante peculiar é a sub-bacia do riacho Pau Ferro, que pertence à bacia do rio Guruji e sua nascente que se encontra na borda norte do Alto Estrutural Coqueirinho (Figura 9), onde os índices de declividade atingem valores de até 100% (45°), principalmente nas proximidades de suas cabeceiras e nas vertentes de seu alto curso. Em todo o seu curso principal verificam-se essas declividades bastante elevadas e anômalas, diminuindo esse índice quando o seu curso principal deságua no riacho do Caboclo. Outra característica peculiar é seu sentido norte, destoante do padrão de drenagem principal da área que possui sentido leste. Essas declividades elevadas apontam para um recuo de cabeceira acelerado e francamente ativo, provavelmente atrelado ao Alto Estrutural Coqueirinho, onde se encontram outros vários cursos de primeira ordem de várias bacias hidrográficas da área (Figura 8).

O riacho Pau-Ferro, assim como o riacho do Caboclo, faz parte da bacia do rio Guruji (Figura 8). Uma bacia morfológicamente anômala e extremamente assimétrica, com seus afluentes muito mais longos, que aprofundam seus vales e possuem sentido norte. Outra anomalia constatada é a forte inflexão de 90° que apresenta o curso do rio Guruji a apenas 230 m da linha de costa, que altera

seu sentido bruscamente de leste para norte. Essa inflexão é ocasionada por uma falha normal cujo rejeito expõe de maneira nítida a Formação sotoposta Maria Farinha. O rejeito dessa falha obstruiu o curso do rio Guruji desviando-o para norte.

Quando o falhamento é rápido e contrário ao escoamento da drenagem, o rio poderá ter o seu curso desviado ou represado (PENTEADO, 1974). A assimetria tão discrepante en-contrada na bacia do rio Guruji somada às formas retilíneas e algumas bruscas inflexões em seus cursos de água visualizadas nos canais de drenagem no sul dessa bacia hidrográfica refor-çam a hipótese dessa configuração assimétrica ser resultado da atuação de eventos tectônicos. A morfologia assimétrica de bacias hidrográficas foi muito bem investigada por El Hamdouni et al. (2008) na região sul da Espanha, uma região de margem continental ativa, onde as formas assimétricas encontradas por esses autores são similares às encontradas na bacia do rio Guruji. Não há como explicar a forte assimetria da bacia do rio Guruji apenas pelo fator climático, pois a mesma possui dimensão reduzida, está sob o mesmo clima e com a mesma litologia (Forma-ção Barreiras).

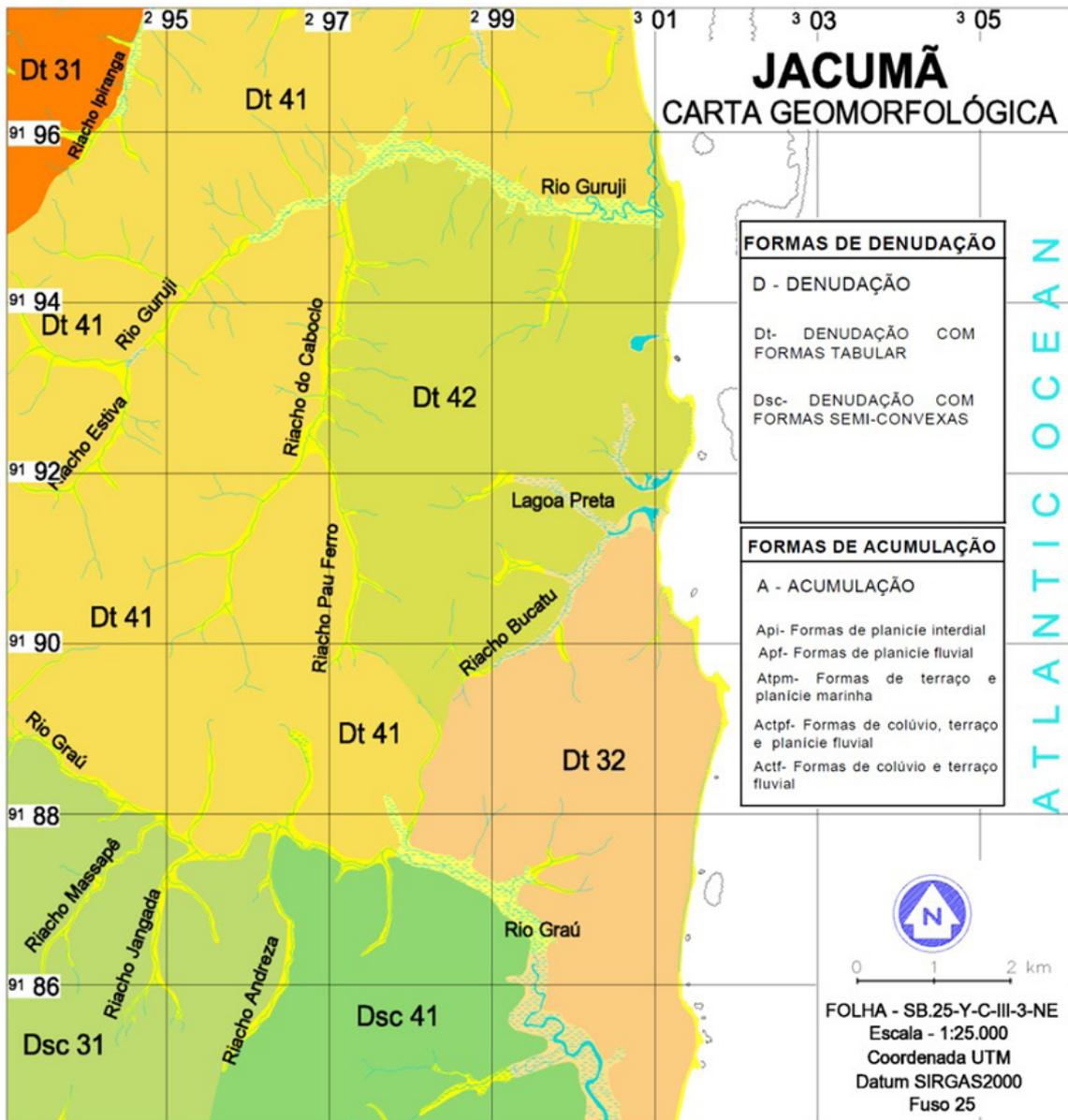
### Carta geomorfológica

Analisando-se a carta geomorfológica (Figura 9), existem no 1º táxon três classes morfoes-truturais, que são: os depósitos sedimentares quaternários, a cobertura sedimentar de plataforma (Formação Barreiras) e a Bacia Paraíba. O 2º táxon é composto basicamente por duas classes mor-foesculturais, que são: a baixada litorânea, formadas por sedimentos inconsolidados do Quaternário e os baixos planaltos costeiros (ou tabuleiros), desenvolvidos sobre a Formação Barreiras.

O 3º e o 4º táxon correspondem respectivamente aos padrões e aos tipos de forma de relevo, respectivamente. Para um melhor entendimento eles serão analisados conjuntamente. Podem-se observar seis formas de denudação, que são:

- Dt 31: formas de dissecação tabular com entalhamento médio dos vales de 40 a 80 m de profundidade e dimensão interfluvial muito grande, superior a 1.500 m de distância entre os di-visorios topográficos. Esse tipo de forma está localizado na margem oeste do riacho do Ipiranga, no extremo noroeste da Folha (Figura 8), ocupando uma área de aproximadamente 4,16 km<sup>2</sup>.
- Dt 32: forma de dissecação do tipo tabular com entalhamento médio dos vales classificada como do tipo média (40 a 80 m) e a dimensão interfluvial classificada como grande, entre 1.500 a 700 m. Essa compartimentação geomorfológica está localizada entre a bacia do rio Graú, setor sul, e a bacia do rio Bucatu no setor norte (Figura 4), abrangendo, o setor leste do Alto Estrutural Coqueirinho, com uma área de 13,88 km<sup>2</sup>.
- Dt 41: dissecação com formas tabulares, com entalhamento médio dos vales de grau forte (80 a 160 m) e dimensão interfluvial muito grande (> 1500 m). Esse tipo de forma pode ser encon-trado em todo setor central da carta, na área ao norte da bacia hidrográfica do rio Guruji e na margem norte do médio curso do rio Graú, ocupando uma área de aproximadamente 45,74 km<sup>2</sup>.
- Dt 42: representa uma unidade denudacional de formas tabulares, entalhamento dos vales entre (80 a 160 m), classificado entalhamento fluvial forte e dimensão interfluvial de tamanho grande (1500 a 700 m). Está localizada na área central da carta, delimitando-se ao norte pelo rio Guruji, ao sul pelo riacho Bucatu e a oeste pelo riacho Pau Ferro e Caboclo. Abrangendo uma área de 19,43 km<sup>2</sup>, sendo relevo tabular mais dissecado.





1º TÁXON	2º TÁXON	3º TÁXON	4º TÁXON	5º TÁXON
MORFOESTRUTURA	MORFOESCULTURA	PADRÕES DE FORMA DE RELEVO	TIPOS DE FORMA DE RELEVO	TIPOS DE FORMA DE VERTENTE
<p>SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS</p> <p>COBERTURA SEDIMENTAR DE PLATAFORMA (Formação Barreiras)</p> <p>BACIA SEDIMENTAR PARAÍBA</p>	<p>BAIXADA LITORÂNEA</p> <p>BAIXOS PLANALTOS COSTEIROS (Tabuleiros Litorâneos)</p>		<p>Api</p> <p>Apf</p> <p>Atpm</p> <p>Actpf</p> <p>Actf</p> <p>Dt 31</p> <p>Dt 32</p> <p>Dt 41</p> <p>Dt 42</p> <p>Dsc 31</p> <p>Dsc 41</p>	<p>VER PERFIS</p>

Figura 9 – Carta geomorfológica da área de estudo



- Dsc 31 e Dsc 41: além das formas tabulares, também podem ser encontrados padrões do tipo semiconvexo no sul da carta Jacumã, no sul da bacia do rio Graú. O Dsc 31, com aproximadamente 11,28 km<sup>2</sup> de área, caracteriza-se por apresentar entalhamento fluvial médio (40 a 80 m) e dimensão interfluvial grande (> 1.500m). Já o Dsc 41 possui formas semiconvexas, porém com forte entalhamento médio dos vales (80 a 160 m) e grande dimensão interfluvial (> 1.500 m), ocupando uma área de aproximadamente 11,28 km<sup>2</sup>.

As áreas de formas de acumulação na área de estudo são diferenciadas por cinco tipos de ambientes: área de planície intermarés (Api), área de planície de acumulação fluvial (Apf), área de terraço e planície marinha (Atpm), área de colúvio, terraço e planície fluvial (Actpf) e área de colúvio e terraço fluvial (Actf).

A Api é composta de planícies intermarés (mangue), e ocupa uma área de aproximadamente 2,16 km<sup>2</sup>. Caracteriza-se por ser uma área desenvolvida sobre a calha de um vale preenchido por terrenos aluvionares e que apresenta meandros fluviais divagantes, devido à baixa declividade do curso do rio que, em épocas de cheia, extravasa do canal fluvial e inunda as áreas próximas. Esse tipo de planície ocorre normalmente no baixo vale do rio, onde o relevo possui baixa altitude e apresenta pequeno gradiente topográfico. Em consequência, a energia fluvial é atenuada e não consegue carregar muito da carga sedimentar do rio que é depositada, colmatando o vale com sedimentos fluviais e, por vezes, recebendo forte influência marinha, principalmente nas marés altas.

A área de planície de acumulação fluvial (Apf) ocupa uma área de 2,19 km<sup>2</sup>. Pode-se encontrar esse tipo de área de acumulação em praticamente todas as bacias hidrográficas que fazem parte da área de estudo. A planície fluvial caracteriza-se por ser formada pela deposição de material aluvial erodido em áreas mais elevadas (DNAEE, 1976). Segundo Guerra e Guerra (2006), são aquelas justapostas ao canal fluvial, têm formas alongadas (quando de nível de base local) e são produzidas pelos depósitos deixados pelos rios, quando os mesmos perdem sua capacidade erosional e passam a depositar sedimentos.

O terceiro tipo de forma de acumulação é o Atpm, (terraços e planícies marinhas). Achou-se conveniente essa junção de formas por causa da escala de estudo. Os terraços e as planícies marinhas são caracterizados por serem depósitos sedimentares de origem marinha situados acima do nível médio atual do mar adjacente e ainda onde há atuação marinha. Na área de estudo essas formas encontram-se nas praias e retaguardas próximas, compreendendo uma área geográfica de 0,82 km<sup>2</sup>.

O tipo Actpf equivale a áreas de colúvio, terraço e planície fluvial. As áreas de colúvio são porções de terra formadas pelo material transportado, principalmente pela gravidade. O material coluvial aparece no sopé de vertentes, e pela escala adotada, muitas vezes fica impossibilitado de mapeá-lo com a precisão adequada, separando-o de terraços e planícies adjacentes. Os terraços são superfícies horizontais ou levemente inclinada, construídos por depósitos sedimentares, ou superfície topográfica modelada pela erosão fluvial. Esse tipo de forma ocupa uma área de 5,25 km<sup>2</sup> e está localizada, principalmente, nas áreas de cabeceiras de drenagem que possuem elevada declividade e, também, nos rios e riachos que entalham fortemente o relevo produzindo vertentes com elevadas declividades onde ocorrem os mais diversos tipos de movimentos de massas que produzem diversas formas de acumulação, entre elas as mais comuns são os depósitos coluvionares.

O 5º táxon refere-se aos setores das vertentes e será descrito na seção seguinte (perfis topográficos). O 6º táxon corresponde às pequenas formas de relevo, como aquelas resultantes de processos atuais, por exemplo: ravinas, voçorocas, bancos resultantes de assoreamento, falésias (ativas e inativas), além de formas produzidas pelo homem, como cortes e aterros, entre outras.

As primeiras formas a serem identificadas foram as falésias, que na área de estudo podem-se encontrar dois tipos: ativas e inativas.

As falésias ativas são aquelas em processo de erosão marinha atual. Na área de estudo foram identificados três trechos de falésias nessa situação, com aproximadamente 641 m. As praias que



possuem falésias em processo de erosão marinha na área da carta Jacumã são aquelas encontradas na retaguarda da praia do Amor, Carapibus e Tabatinga.

As falésias inativas somam aproximadamente 6,95 km de extensão e são predominantes na área de estudo. Embora não apresentem erosão marinha estão em processo acelerado de erosão continental, principalmente pela elevada precipitação (1.600 mm/ano) e pela Formação Barreiras ser constituída por sedimentos mal consolidados o que facilita a erosão pluvial. As falésias ativas são facilmente identificadas por suas declividades elevadas, praticamente na vertical e por não conterem nenhum tipo de vegetação pioneira, pois a erosão é intensa e rápida, não havendo tempo hábil para a fixação de vegetação. Já as falésias inativas possuem declividades acentuadas, mas em menor grau que as falésias ativas, além de possuírem significativa presença de vegetação pioneira (Figura 11).

A comparação das falésias ativas com as falésias inativas é mais uma evidência que corrobora a influência tectônica na área, pois todas as falésias ativas possuem alturas muito inferiores às falésias inativas. As diferenças altimétricas encontradas não podem ser atribuídas somente ao fator climático, pois todas as falésias são formadas sobre a Formação Barreiras. Como exemplo dessas discrepâncias altimétricas pode-se citar, por exemplo, as falésias da praia do Amor, que atingem 15 metros, e as falésias da praia de Coqueirinho, que atingem até 60 m, perfazendo um desnível de 45 m entre uma falésia ativa e outra inativa (Figura 10a e 10b).



Figura 10 - Falésia ativa na praia do Amor (11a) e falésia inativa com vegetação pioneira na praia de Coqueirinho (11b).  
Fonte: Fotos de Ricardo Paulo (2002).

Outro tipo de forma muito comum na área são as voçorocas e ravinas. As voçorocas, quando em grande número e relativamente paralelas, dão aparecimento a áreas similares aos badland. Tais voçorocas são encontradas principalmente na retaguarda da praia de Coqueirinho, onde se encontram as mais elevadas falésias, e apenas uma na praia do Amor.

Ao todo foram verificadas na área 7 voçorocas, sendo 6 nas falésias da praia de Coqueirinho. Quase todas as voçorocas mapeadas estão direcionadas no sentido leste ou, do oceano. Já as ravinas são mais comuns e muitas possuem sentido norte, obedecendo a inclinação da Formação Barreiras que se encontra basculhada ao norte do Alto Estrutural Coqueirinho. Em algumas voçorocas já é possível observar a formação de pequenos cursos de água, sendo essa uma evidência de que em prazo relativamente curto de tempo venham a formar pequenos córregos evoluindo para uma bacia hidrográfica.

A maior voçoroca da área encontra-se à retaguarda da praia de Coqueirinho e possui sentido nordeste, anômala a várias outras verificadas. Seu sentido muda bruscamente para leste após sofrer uma forte inflexão (Figura 11). Essa voçoroca segue a inclinação das camadas basculadas da Formação Barreiras (Figura 12) verificadas na área e seu alto curso encontra-se no Alto Estrutural Coqueirinho. A evolução dessa voçoroca acarretará na captura de drenagem de um afluente ob-

sequente (Figura 13) cuja nascente também se encontra no alto estrutural. A distância entre esse curso de água e a cabeceira da voçoroca é de apenas 50 m e pela direção verificada entre o pequeno afluente e a voçoroca, é bem provável que ambos estão atrelados a uma linha de falha.



Figura 11 – Imagem de satélite de uma voçoroca na retaguarda da praia de Coqueirinho  
 Fonte: Google Earth. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 01 out. 2015.

A voçoroca está localizada entre as coordenadas 301705,97 m E e 9189426,58 m S, na retaguarda da praia de Coqueirinho, possuindo comprimento de 668,64 m e largura máxima de 160,23 m (Figura 13), sendo essa a maior do estado da Paraíba. Essa voçoroca ainda apresenta outras peculiaridades, tais como: um grande sistema de falhas identificadas in loco. Essas falhas foram muito bem descritas por Balsamo et al. (2013) o que comprova uma tectônica recente, pós deposição da Formação Barreiras.

Na fotografia aérea, é bastante nítido o arranjo anômalo das bacias hidrográficas do rio Guruji, ao norte, e do rio Graú, ao sul. Na bacia do rio Guruji observa-se o sentido sul dos riachos do Caboclo e Pau Ferro, além do sentido nordeste do riacho Bucatu. Ao sul, essa anomalia também é verificada, nos afluentes do rio Guruji, onde se visualiza um riacho, sem denominação, de sentido sudoeste, com sua cabeceira no Alto Estrutural Coqueirinho a 50 m da maior voçoroca do estado.



Figura 12 – Formação Barreiras com nítido basculamento com o setor sul soerguido e o setor norte rebaixado. Retaguarda da praia de Coqueirinho.



Figura 13 – Fotografia aérea da praia de Coqueirinho e adjacências  
Fonte: Adaptado de INCRA/TERRAFOTO, (1985).

É na linha de costa dessa área, onde mais se visualiza os afloramentos da Formação Maria Farinha. Exatamente onde estão as falésias mais elevadas de todo o estado. Não há como negar que os mais elevados afloramentos da Formação Maria Farinha estão atrelados às mais elevadas falésias e ao Alto Estrutural Coqueirinho. Basculamentos da Formação Barreiras, falhas visualizadas nas



falésias e na voçoroca descrita, rio obsequente e o sentido nordeste da maior voçoroca corroboram, de forma conspícua, que essa área está sobre influência tectônica, pois tais verificações são impossíveis de explicar apenas através do fator climático e estrutural.

As várias exposições da Formação Maria Farinha, que na área da praia de Coqueirinho atingem até 10 m acima do nível médio do mar ajudam a configurar toda a geomorfologia costeira da área, formando pequenas baías, enseadas e tômbolos, diferenciando essa parte do litoral paraibano das demais áreas onde a Formação Maria Farinha não aflora.

### *Perfis topográficos*

Para corroborar na interpretação da carta geomorfológica confeccionada, principalmente na interpretação mais apurada do 5º táxon (Tipos de Vertentes) e para uma maior precisão e aferimento de basculamentos tectônicos que influem na morfologia do relevo e disposição de muitos cursos de água. Foram construídos dois perfis topográficos através do software livre Spring 5.1.7. Esses perfis corroboram, de maneira concisa, que a área investigada está dividida em dois compartimentos morfológicos completamente distintos, sendo um com relevo tabular e outro com relevo semiconvexo, com acentuados entalhes fluviais separados por um alto estrutural (Figura 14).

No perfil 295000 encontram-se vertentes com forma convexa, no setor sul, incompatibilizando com o termo tabuleiro tão apregoado para as formas esculpidas sobre a Formação Barreiras, formando vertentes côncavas e retilíneas. O rio Guruji forma um vale côncavo, provavelmente atribuído ao modelo clássico de evolução de vertentes, mas ao se afastar do vale, é visível a inclinação da Formação Barreiras num basculamento com soerguimento de sentido sul, onde se encontra o Alto estrutural Coqueirinho, fato este não explicável pelo fator climático e sim tectônico. No vale do córrego da Jangada (setor sul), podem-se identificar dois tipos de formas de vertentes: a parte norte apresenta forma retilínea e a porção sul apresenta forma convexa nas proximidades do curso do referido córrego, passando posteriormente para retilínea até alcançar seu topo que não possui forma tabular. Além das vertentes podem-se observar nesse perfil que as formas tabulares predominam ao norte do alto estrutural, enquanto que ao sul elas passam de maneira brusca para formas não tabulares.

No perfil 297000 pode-se observar que o vale do rio Guruji possui dois tipos de vertentes: ao norte possui vertentes com forma convexa e ao sul uma pequena vertente convexa, um degrau e em seguida um pequeno topo plano. Pode-se observar de modo nítido a presença da planície do riacho do Caboclo que nesse perfil se encontra paralelo ao mesmo, já que seu sentido é para sul, completamente anômalo ao padrão geral das drenagens. Ainda no mesmo perfil, observando o riacho Pau Ferro, constatou-se que o mesmo também possui dois tipos de vertente: ao norte uma vertente retilínea e ao sul uma vertente convexa. No vale do rio Graú foram constatadas vertentes convexas tanto no norte como no sul. Há que se relatar que no sul do vale deste rio forma-se um conjunto de três vertentes convexas, com altimetria distintas, aumentando a altitude de forma escalonada para o sul. É nítida nesse perfil a discrepância do padrão do relevo entre os compartimentos norte e sul, sendo que neste último não se encontram formas tabulares.



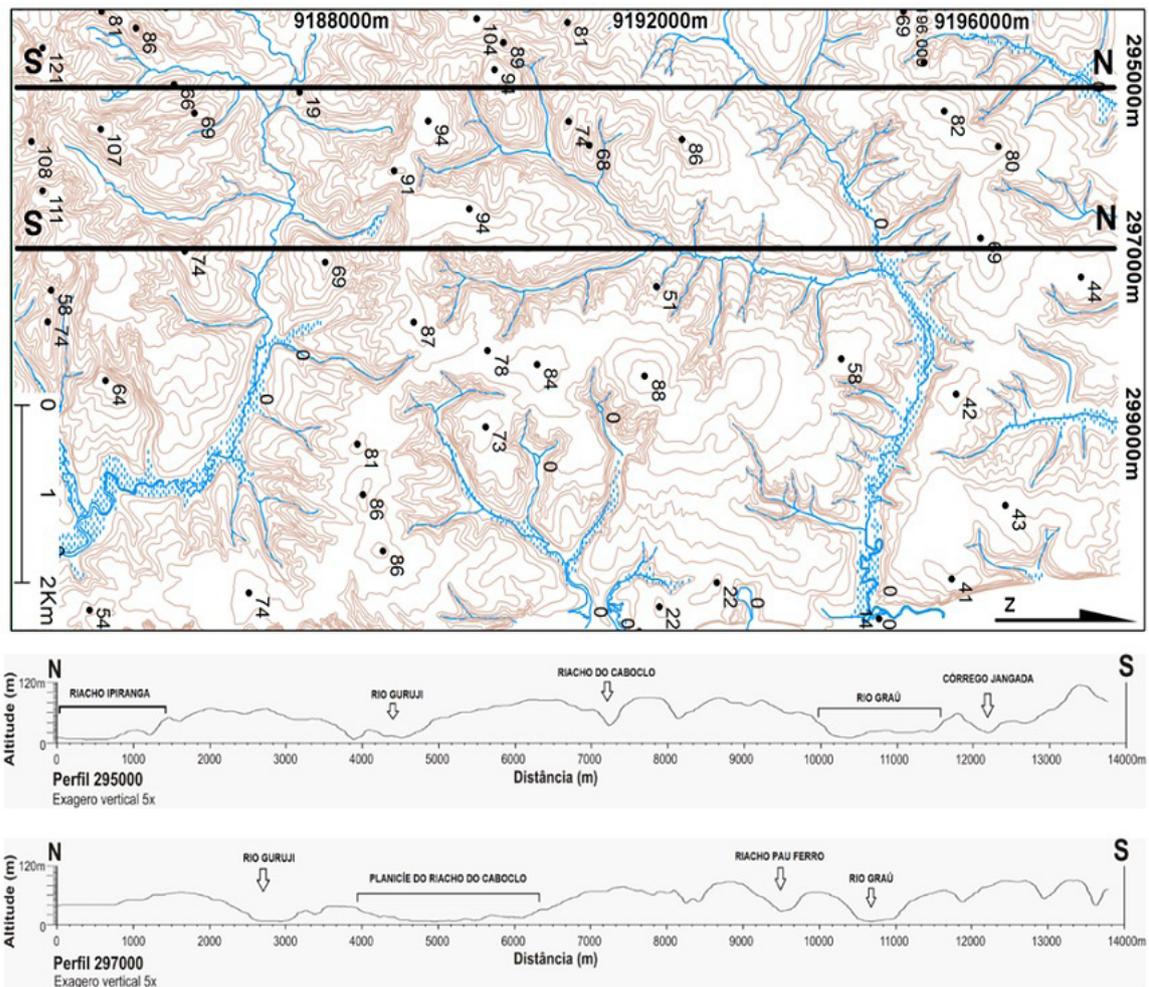


Figura 14 – Perfis topográficos das coordenadas longitudinais (direção: N-S) da carta Jacumã (SB-25-Y-C-III-3-NE), geradas a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) (Exagero vertical – 5x)

## ÍNDICE MORFOMÉTRICO RELAÇÃO DECLIVIDADE/EXTENSÃO (RDE)

A análise quantitativa baseada no índice morfométrico aplicado em alguns rios e riachos na área revelou uma provável influência tectônica na morfologia do relevo e no perfil longitudinal de cada curso de água analisado em diferentes graus de anomalias fluviais. Cabe salientar que o índice morfométrico aplicado na rede de drenagem da área reforça uma influência tectônica, já evidenciada pela morfoestrutura, onde a morfologia do relevo e da rede de drenagem não podem ser explicadas, única e exclusivamente, pelo fator climático.

O índice RDE foi aplicado em nove cursos da área. Foram excluídos da análise o rio principal da bacia do rio Graú, pois a maior parte desse rio está fora da área de estudo, e outros cursos que possuíam pequenos comprimentos de drenagem. Os cursos escolhidos foram: o riacho Ipiranga (trechos A e B), o rio Guruji (trechos A, B e C), o riacho Estiva (trechos A e B), o riacho Pau Ferro (trechos A, B e C), o riacho Bucatu (trechos A e B), o riacho Andreza (trechos A e B), o córrego Jangada (trechos A, B e C) e o riacho Massapé (trechos A, B e C) (Figura 16).

Os resultados encontrados com a aplicação do índice RDE mostraram que todos os cursos estudados apresentam indícios de anomalias de drenagem. No total foram definidos 12 trechos anômalos, ou seja, aproximadamente 54% do total de trechos de rios analisados (Tabela 4). Os rios que se destacaram foram: riacho Ipiranga (trecho A), rio Guruji (trecho A), riacho Estiva (trecho A), riacho Pau Ferro (trecho A), riacho do Caboclo (trecho A), riacho Bucatu (trecho A), riacho Andreza (trecho A), córrego Jangada (trecho A) e riacho Massapé (trecho A).

Tabela 4 - Valores da relação RDE<sub>segmento</sub>/RDE<sub>total</sub>, por segmento de drenagem

Nome	RDE <sub>trecho</sub> /RDE <sub>total</sub>		RDE <sub>trecho</sub> /RDE <sub>total</sub>
	RDE <sub>trecho</sub>	RDE <sub>total</sub>	
Rch. Ipiranga (A)	27,606	6,778	4,0702
Rch. Ipiranga (B)	9,995		1,4737
Rio Guruji (A)	31,393	3,585	8,7978
Rio Guruji (B)	0,533		0,1488
Rio Guruji (C)	-3,339		-0,9313
Rch. Estiva (A)	48,239	3,947	12,1886
Rch. Estiva (B)	3,260		0,8257
Rch. Pau Ferro (A)	5,785	6,424	5,7853
Rch. Pau Ferro (B)	3,896		3,8961
Rch. do Caboclo (A)	54,965	8,587	6,4007
Rch. do Caboclo (B)	19,742		2,2990
Rch. do Caboclo (C)	-5,603		-0,6524
Rch. Bucatu (A)	25,374	5,953	4,2585
Rch. Bucatu (B)	7,4646		1,2537
Rch. Andreza (A)	21,664	3,202	6,7643
Rch. Andreza (B)	-		-
Crg. Jangada (A)	21,462	4,691	4,5744
Crg. Jangada (B)	1,566		0,3338
Crg. Jangada (C)	11,815		2,5184
Rch Massapé (A)	18,374	4,085	4,4972
Rch Massapé (B)	1,908		0,4671
Rch Massapé (C)	7,866		1,9255

A Figura 15 apresenta a classificação dos segmentos de drenagem, segundo os valores obtidos na relação entre o índice RDE por segmento (RDEs) e o índice RDE total (RDEt) dos cursos de água verificados. Os segmentos representados na cor verde obtiveram índices RDE < 2, portanto, não são considerados anômalos. Os segmentos considerados anômalos são os que obtiveram RDE ≥ 2. Devido à expressiva amplitude de valores anômalos, foi possível a distinção das anomalias em índices considerados moderados ( $2 \leq RDE < 4$ ), altos ( $4 \leq RDE < 6$ ) e altíssimo ( $RDE \geq 6$ ).

Os segmentos de drenagem que obtiveram os maiores índices ( $RDE \geq 6$ ) encontram-se nos cursos do rio Guruji (A), riacho Estiva (A) e riacho Andreza (A), os dois primeiros pertencentes à bacia hidrográfica do rio Guruji, porção norte da carta, e o terceiro pertencente à bacia do rio Graú, na porção sul da carta.

Altos valores ( $4 \leq RDE < 6$ ) também são encontrados nos riachos Ipiranga (A), riacho Pau Ferro (A), riacho Bucatu (A), riacho Massapé (A) e córrego Jangada (A), em praticamente todas as bacias que compõem a área de estudo. Outro fato interessante é que todos os valores estão localizados em área de cabeceira de drenagem.

Valores médios ( $2 \leq RDE < 4$ ) foram encontrados nos seguintes segmentos de drenagem: riacho do Caboclo (B), riacho Pau Ferro (B) e córrego Jangada (C), sendo que os dois primeiros pertencem à bacia do rio Guruji e o terceiro à bacia do rio Graú. E, por fim, os valores considerados não anômalos foram encontrados nos seguintes cursos: rio Guruji (B e C), riacho do Caboclo (C), riacho Ipiranga (B), riacho Bucatu (B), riacho Massapé (B), córrego Jangada (B) e riacho Andreza (B).

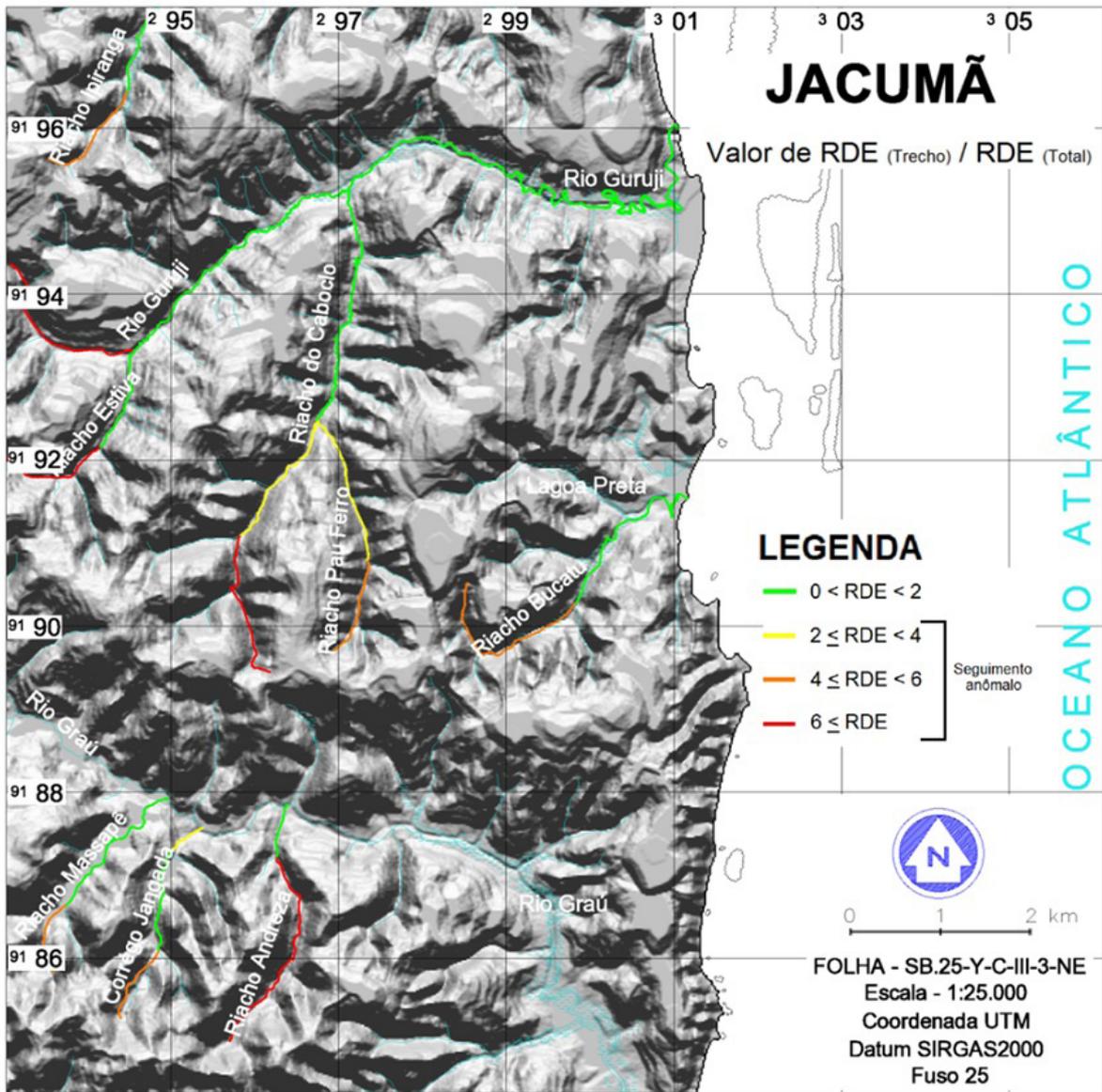


Figura 15 – Segmento de rios e riachos anômalos e não anômalos segundo o índice RDE

### MODELO 3D

Com o modelo 3D (Figura 17) construído e analisado, podem-se verificar com maior clareza as nítidas diferenças morfoestruturais e de rugosidade do relevo já descritas anteriormente. Portanto, a confecção de Modelos 3D é um produto cartográfico importante para analisar formas de relevo em que não se pode explicar sua evolução apenas pelo fator climático.

Os riachos do Caboclo e Pau Ferro, que apresentam sentido norte, perpendicular à inclinação predominante do relevo desse compartimento, obedecem categoricamente ao basculamento das camadas sedimentares da Formação Barreiras verificadas na área, e suas nascentes encontram-se nas adjacências das cotas elevadas do Alto Estrutural Coqueirinho. Essas características verificadas in loco, corroboradas pela interpretação dos produtos cartográficos gerados e analisados anteriormente, pelo cálculo morfométrico aplicado e pelos modelos 3D produzidos, refutam a possibilidade do fator climático ter sido o principal componente da esculturação do relevo da área consubstanciando que há um controle tectônico preponderante.

Percebe-se, também, que outros cursos de água que possuem uma pequena parte de seus canais na área de estudo não obedecem ao sentido leste e possuem, também, sentido norte, o que evidencia



uma sucessão de basculamentos inclinados para o norte, atrelados à tectônica pós-Barreiras. Quanto ao compartimento ao sul do Alto Estrutural Coqueirinho, visualiza-se acentuada inflexão do rio Graú mudando seu sentido, de forma brusca, de leste para sul-sudeste, evidenciando nesse ponto acentuado controle tectônico-estrutural, além da clara distinção morfoescultural que não segue a formação tabular típica (Figura 16).

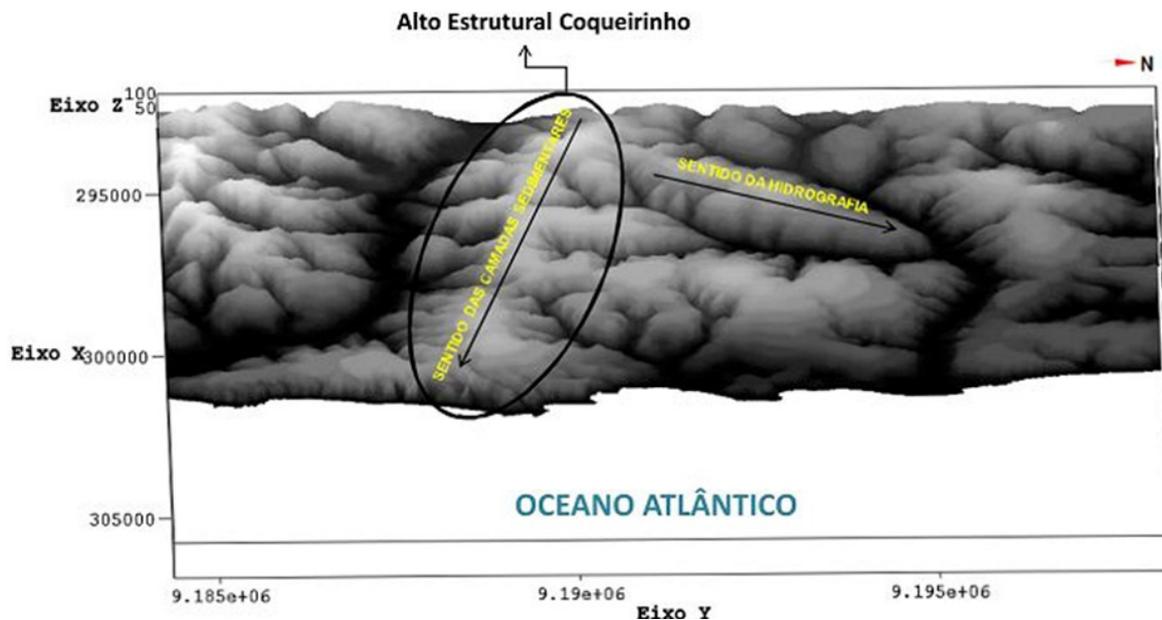


Figura 16 – Modelo Numérico do Terreno (MNT). Representação da inclinação das camadas sedimentares mais visíveis nessa escala.

O modelo 3D construído mostra a diferença de rugosidade entre os dois compartimentos citados, além de apontar com nitidez a extensão do Alto Estrutural Coqueirinho dentro da área de estudo e sua influência conspícua nos cursos de água que possuem sentido norte (riachos Pau Ferro e do Caboclo), destoando do padrão de drenagem regional. Através da análise desse modelo digital, não há como refutar a influência de um alto estrutural tectônico na configuração e arranjo das duas principais bacias hidrográficas da área, Guruji, ao norte, e Graú, ao sul.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das diversas análises executadas nesta pesquisa mostram uma nítida divisão do relevo em dois compartimentos distintos separados visivelmente por um alto estrutural tectônico. Os fortes entalhes fluviais, com elevadas declividades, que em alguns pontos exumam formações sotopostas da Bacia Sedimentar Paraíba, bruscas inflexões nos dois principais rios da área (Graú e Guruji) e padrões anômalos de vários cursos fluviais que possuem sentido norte, discordantes da apregoada inclinação W-E da própria bacia sedimentar e da Formação Barreiras, evidenciam um controle morfoestrutural e tectônico em toda a área de estudo.

Essas características encontradas são evidências que o fator tectônico pode ter sido o grande influenciador na atual configuração do relevo da área e, conseqüentemente, na configuração de drenagem verificada, uma vez que a área constitui-se, preponderantemente, da mesma litologia, os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, e, devido sua área reduzida, não há diferenciação pluviométrica ou outras características climáticas significantes que poderia modelar o relevo e produzir formas e arranjos tão distintos.

O arranjo da drenagem visualizado nas cartas temáticas e no modelo 3D elaborado, além dos valores obtidos através do cálculo morfométrico aplicado mostra que a rede hidrográfica da área está intimamente atrelada ao fator morfoestrutural e tectônico, haja vista que há evidências con-

substanciais que a morfoestrutura está atrelada à tectônica. A disposição dos rios e riachos estão fortemente vinculados a um alto estrutural que corta a área, praticamente de W-L, constituindo o divisor de águas regional, separando as duas principais bacias que desenvolveram formas de relevo e arranjos de drenagem distintos. Esses resultados alcançados corroboram a ideia de que o fator tectônico não pode ser negado ou subestimado no Brasil, principalmente em sua borda oriental.

As falhas e os basculamentos verificados na área, visualizados nitidamente nas falésias onde se expõem substratos da Formação Barreiras, substanciam as evidências aqui relatadas e expostas nesse trabalho. A questão dessas típicas feições tectônicas não terem sido amplamente verificadas e analisadas por estudos de cunho geomorfológico é o fato de muitas dessas feições não se refletirem diretamente nas formas do relevo pôr as mesmas serem erodidas por agentes exógenos, pois o clima, embora não seja o fator preponderante, não pode ser negado, uma vez que o mesmo produz intemperismo dos materiais e possibilita a erosão através dos agentes da dinâmica superficial. Portanto, os rejeitos de uma falha, nos sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras podem ser erodidos rapidamente, mas os cursos de água são ajustados por essas falhas, dando, posterior continuidade à evolução morfológica.

Os resultados alcançados neste trabalho, estritamente de cunho geomorfológico, podem abrir novos campos de aplicação e de entendimento quanto ao desenvolvimento e a evolução do relevo e sua relação com a tectônica recente em áreas de margem continental passiva. Não há como refutar que os arranjos da drenagem, as estruturas tectônicas típicas, o alto estrutural e as feições morfológicas e hidrográficas distintas entre o compartimento sul e norte da área estejam atrelados a uma tectônica conspícua e recente.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 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. 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, SP: INPE, 2010.
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D. F.; GOES, A. M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 738-752.
- ASMUS, H. E. Controle estrutural da deposição mesozóica nas bacias da margem continental brasileira. **Revista Brasileira de Geociências.** São Paulo, v. 5, n. 3, p. 160-175. 1975.
- ASMUS, H. M. B.; CARVALHO, J. C. **Condicionamento tectônico da sedimentação nas bacias marginais do Nordeste Brasileiro (Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba).** Projeto REMAC, Rio de Janeiro, n. 4, p. 7-24, 1978.
- BALSAMO, F.; F. H. R. BEZERRA; VIEIRA, M. M.; STORTI, F. Structural control on the formation of iron-oxide concretions and Liesegang bands in faulted, poorly lithified Cenozoic sandstones of the Paraíba Basin, Brazil. **Geological Society of America Bulletin,** v. 125, n. 5-6, p. 913 – 931. 2013.
- BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. F. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. **Boletim de Geociências da Petrobras.** Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 287-306, 2006.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M.; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos.** Recife, v. 13. n. 1, p. 89-108, 2003.
- BRASIL. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Folha Jacumã SB. 25-Y-C-III-3-NE.** Recife: Sudene, 1974. 1 mapa, 594 mm x 841 mm. Escala: 1:25.000.
- BRITO, I. M. **Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil.** Rio de Janeiro: Interciência, 1979.



BULL, W. B.; McFADDEN, L. D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM-GEOMORPHOLOGY IN ARID REGIONS, 8., 1977, Binghamton. **Anais...** Binghamton: Doehring, D. O. 1977. p. 115-138.

DNAEE. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Glossário de termos hidrológicos**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 1976.

EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER, E. A. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). **Geomorphology**, v. 96, n. 2, p. 150-173, 2008.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; 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, based on the distribuion of late quaternary allounits. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 6, n. 1, p. 109-114. 2005.

FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 11-30.

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

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa – 1: 100.000**. 2007. 213f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2007.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

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

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. U. S. Geological Survey, **Journal Research**, Washington, v. 4, n. 1. p. 421-429, 1973.

HERZ, R.; DE BIASI, M. **Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro**. Ministério da Marinha/ Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Brasília: MM, 1989.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do Rio Pirapó: o perfil longitudinal**. 2005. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MELLO F. M. **Litogeoquímica e química mineral do Maciço charnoquítico Aimorés/MG**. 2000. 217f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2000.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 18, n. 4, p. 476-482, 1988.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Base estrutural – faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. **Estudos Geológicos**. Recife, UFPE/DGEO, v. 10, p. 33-43, 1991. Estudos e Pesquisas, Série B

MESCERJAKOV, J. P. Les concept de morphostruture et de morphosculture: un nouveau instrument de l'analyse geomorphologique. **Annales de Geographie**, Paris, 77 années, n. 423, p. 539-532, 1968.

NOGUEIRA, F. C. C.; BEZERRA, F. H. R.; CASTELO BRANCO, R. M. 2006. Radar de Penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar - NE no Brasil. **Revista de Geologia**. Fortaleza, v. 18, n. 2, p. 139-149.

PASSOS, E.; BIGARELLA, J. J. Superfícies de erosão. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 107- 142.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1974. 186p.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: T. A. Queiroz/EDUSPP, 1988.

RINCÓN, P. J.; VEGAS, R. Aplicación de índices geomorfológicos de actividad tectônica reciente en el antepaís bético. **Geogaceta**. Salamanca, v. 27, p. 139-142, 2000.

- ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: TEIXEIRA GUERRA, A. J.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 291-336.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M. Correlação estratigráfica da “Formação Barreiras” no nordeste e norte do Brasil. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 11., 2007, Belém, Brasil. **Anais... ABEQUA**, Belém: ABEQUA, 2007.
- ROSS, J. L. S. O registro dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 6, p. 17-29, 1992.
- ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M.; ANDRADES FILHO, C. O.; MITTANI, J. C. R.; TATUMI, S. H.; BRITO NEVES, B. B. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: implications for the interplay among landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. Amsterdam, v. 300, p. 191-204, 2011.
- ROSSETTI, D.F., GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)**, v. 2, p. 17-29, 1990.
- ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)**, v. 1, p. 25-74, 1989.
- SUDENE. Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Estado da Paraíba. Recife: SUDENE, 1990. 239p.
- STEWART, I. S.; HANCOCK, P. L. Neotectonics. In: HANCOCK, P. L. **Continental deformation**. Pergamon: Oxford, 1994. p. 370-409.
- SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

Trabalho enviado em julho de 2015  
Trabalho aceito em agosto de 2015

