

Maria Emanuella F.Barbosa¹

Max Furrier²

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA COM APOIO DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS: O ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO GURUJI

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo fazer o estudo geomorfológico e morfométrico da bacia hidrográfica do rio Guruji, localizada no município do Conde, estado da Paraíba. Os procedimentos metodológicos consistiram na confecção de cartas temáticas da bacia hidrográfica e também cálculos morfométricos. Neste trabalho foram abordados os aspectos descritivos como padrões de drenagem, hierarquia fluvial, análise linear e análise areal da bacia hidrográfica. Também foram elaborados cálculos morfométricos aplicados à análise neotectônica e o índice escolhido foi Relação Declividade-Extensão (RDE). A bacia possui algumas peculiaridades como: seu padrão de drenagem assimétrico, com a porção sul apresentando afluentes muito mais avantajados que na porção norte, acentuada inflexão do rio Guruji, no seu baixo curso, quando sua direção muda bruscamente de W-L para S-N, recuos de cabeceiras aceleradas atestadas pelas declividades acentuadas, basculamentos de origem tectônica entre outros que serão especificados no presente artigo.

Palavras-chave: Morfometria, Neotectônica, Geomorfologia.

GEOMORPHOLOGY CHARACTERIZATION BASED ON MORPHOMETRIC INDEX: THE STUDY CASE OF GURUJI CATCHMENT

ABSTRACT

The present work has the objective make the geomorphological and morphometric study of Guruji river watershed, located in the city of Conde, Paraíba State. The methodological procedures consisted in the preparation of thematic charts of the watershed and also calculations morphometric. In this paper we addressed the descriptive aspects, for example drainage patterns, fluvial hierarchy, linear and areal analysis of watershed. Morphometric calculations were also prepared applied to Neotectonics analysis and the index chosen was index slope-length (SL). The basin has some peculiarities such as: asymmetric drainage pattern, with the southern portion showing tributaries much more advantageous than in the northern, pronounced inflection of the Guruji river, the lower course of the river, when direction of the river lurches W-L to S-N, accelerated declines of headwater attested by the steep slopes, tilted of tectonic origin among others that will be specified in this article.

Keywords: Morphometry, Neotectonics, Geomorphology.

¹ Universidade Federal da Paraíba
mariaemanuellaf@gmail.com

² Universidade Federal da Paraíba
max.furrier@hotmail.com

Correspondência:

Maria Emanuella Firmino Barbosa
Departamento de Geociências
Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da
Natureza, CEP: 58051-900
João Pessoa (PB) - Brasil

INTRODUÇÃO

Esse trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Guruji e teve como objetivo norteador explorar a morfologia da rede de drenagem e a influência de tectônica recente através de análise morfométrica. A finalidade deste estudo é obter uma caracterização da bacia, principalmente, no que diz respeito, às prováveis áreas predispostas aos processos erosivos, detectar possíveis anomalias existentes no padrão de drenagem como, por exemplo, deformações tectônicas que influenciam na configuração da rede de drenagem.

Para esse estudo foi delimitada uma bacia hidrográfica como objeto de pesquisa, pois essa unidade geomorfológica tem sido adotada internacionalmente como unidade territorial básica para estudos ambientais e de planejamento e gestão de recursos hídricos. A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação internacional, justificada não apenas porque a bacia constitui uma unidade física bem caracterizada, mas também por que não há qualquer área de terra, por menor que seja que não se integre a uma bacia (SIQUEIRA, 2001).

A bacia hidrográfica tem sido adotada como unidade básica para estudos ambientais e trabalhos de planejamento, pois suas características biogeofísicas apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos, os quais interagem entre si, formando unidades funcionais (PIRES e SANTOS, 1995).

Para obtenção dos dados morfométricos e areais, e também para a confecção das cartas temáticas, foram utilizadas técnicas computacionais de geoprocessamento. O avanço dessas técnicas permite a obtenção de modelos digitais de terreno, parâmetros morfométricos e índices de correlação com maior rapidez e precisão (DEFFONTAINES, 1990 *apud* CARVALHO e LATRUBESSE, 2004).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área investigada corresponde à bacia hidrográfica do rio Guruji, localizada no município do Conde, estado da Paraíba. A bacia hidrográfica possui uma área total de 44,70 km². A bacia hidrográfica do rio Guruji é composta pelos riachos Estiva, Caboclo e Pau Ferro, e demais córregos secundários sem denominações (Figura 1).

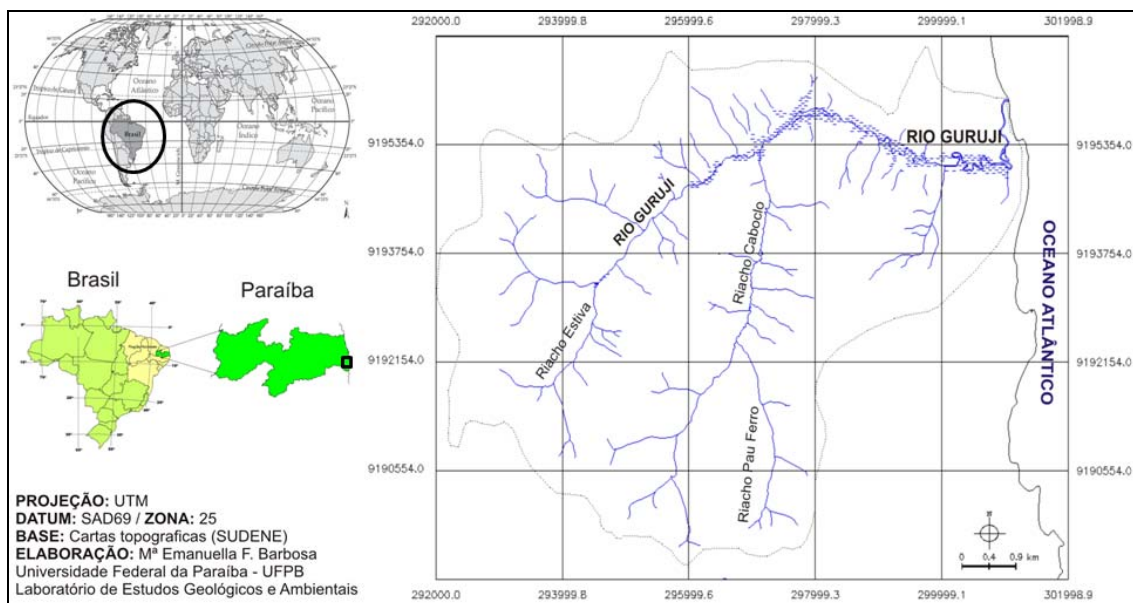
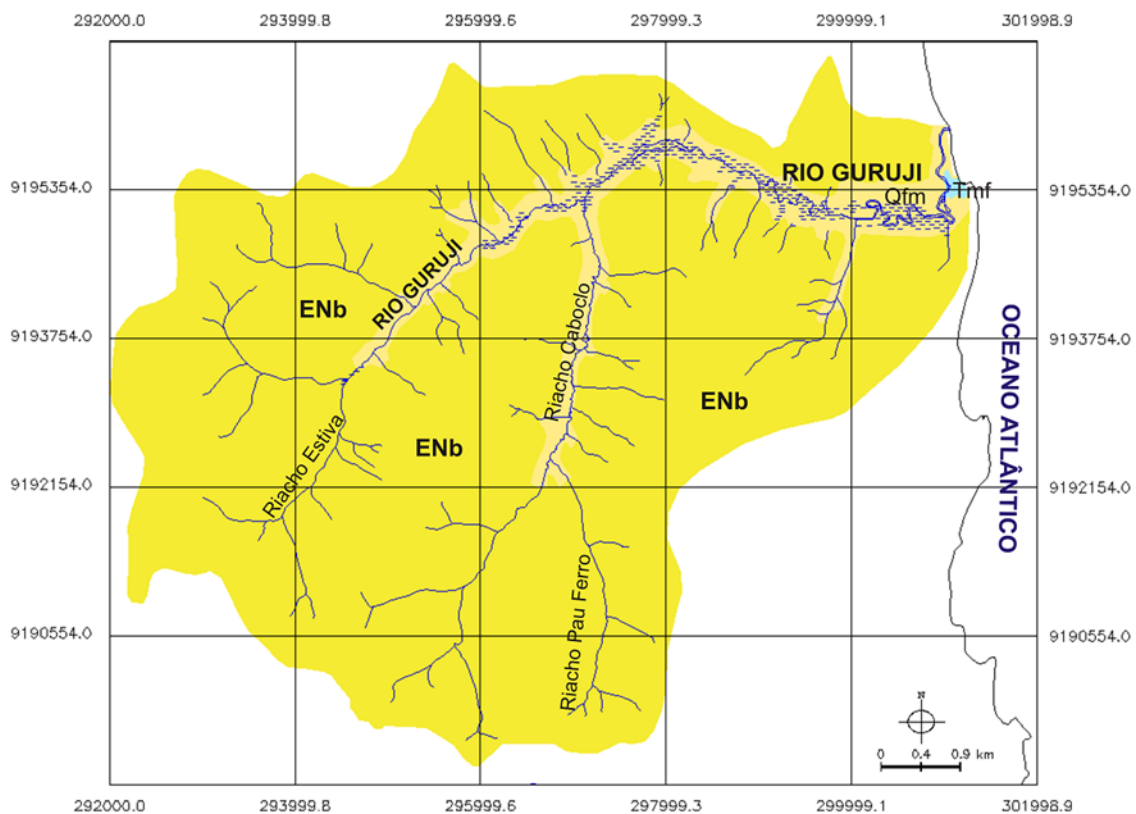


Figura 1 – Localização da área da bacia hidrográfica do rio Gurujá.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo está inserida, em sua maior parte, sobre os sedimentos areno-argilosos mal consolidados do Grupo Barreiras, uma cobertura residual de plataforma capeadora de várias bacias marginais brasileiras, entre elas, a Bacia Pernambuco-Paraíba, constituída pelas formações Maria Farinha, Gramame e Beberibe, sendo as duas primeiras formações carbonáticas, e a última, clástica (Figura 2).

Segundo Alheiros et al. (1988), a deposição dos sedimentos do Grupo Barreiras se deu através de sistemas fluviais entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais. A fácies de sistemas fluviais entrelaçados apresenta depósitos de granulometria variada com cascalhos e areias grossas a finas, de coloração creme amarelado, com intercalações de microclastos de argila siltica, indicativo de ambientes de sedimentação calmo como, por exemplo, de planície aluvial. A fácies de leques é constituída por conglomerados polimíticos de coloração creme-avermelhada, com seixos e grânulos subangulosos de quartzo e blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares e lenticulares de até um metro de espessura, intercalados com camada siltico-argilosa menos espessa.



LEGENDA

Unidades litoestratigráficas

Cenozóico

- Qfm** **Depósitos flúvio - marinhos:** Depósitos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagunares e litorâneos.
- ENb** **Grupo Barreiras:** Arenito pouco consolidado, às vezes conglomerático, com níveis de argilas variegadas, siltito e laterito.
- Tmf** **Formação Maria Farinha:** É constituída de calcários, finos e grossos e margas calcárias do ciclo de regressão.

Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo (adaptado de BRASIL, 2002).

Sobre o Grupo Barreiras, são desenvolvidos baixos tabuleiros, geralmente com topos aplainados, ora soerguidos, ora rebaixados ou basculados por evidente atuação da tectônica recente (FURRIER et al., 2006). As cabeceiras de drenagem dos cursos de água que formam a bacia do rio Gurujá apresentam elevadas declividades, estando os canais bastante encaixados.

A Formação Maria Farinha aflora somente no baixo curso do rio Gurujá, nas proximidades da linha de costa formando uma elevação proeminente e que se destaca na paisagem. Essa formação representa a continuação da sequência calcária da Formação Gramame, sendo diferenciada apenas por seu conteúdo

fossilífero, que é considerada de idade paleocênica-eocênica inferior (MABESOONE, 1994).

À aproximadamente 400 m, após sua inflexão para norte, o rio Guruji percorre um trecho também de aproximadamente 400 m sobre sedimentos praias inconsolidados do Quaternário. Nesse trecho, o rio Guruji acompanha paralelamente a linha de falésias do Grupo Barreiras, em sua margem esquerda, até uma nova inflexão para leste, quando deságua no Oceano Atlântico.

PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

A metodologia empregada nesse trabalho foi desenvolvida a partir da obtenção de atributos referentes ao terreno (características geológicas e geomorfológicas), à rede de drenagem, seguido da análise morfométrica. Esses parâmetros serviram de base para avaliação das condições físicas da bacia e também para detecção de deformações relacionadas à tectônica recente.

A mensuração dos canais, geração dos produtos cartográficos, análise das feições geomorfológicas da área e os dados morfométricos da bacia foram obtidos das cartas topográficas: Jacumã (SB. 25-Y-C-III-3-NE) e Conde (SB.25-Y-C-III-3-NO), ambas com escala 1:25.000 (SUDENE, 1974), com equidistância entre as curvas de nível de 10 m.

Os cálculos referentes aos aspectos morfométricos foram divididos em duas categorias: a dos aspectos lineares, que são relação de bifurcação (R_b), comprimento dos canais de cada ordem (L), comprimento médio dos seguimentos (L_m), relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{ib}), relação entre os comprimentos médios dos canais (RL_m) e o comprimento do rio principal, e dos aspectos areais da bacia que são densidade dos rios ou densidade hidrográfica (D_r), Densidade da drenagem (D_d), Extensão do percurso superficial (E_{ps}), coeficiente de manutenção (C_m), rugosidade topográfica (R_t) e amplitude altimétrica da bacia (H), que correspondem ao aspecto areal da bacia. Com os resultados destes cálculos pode-se fazer um diagnóstico da bacia quanto ao grau de dissecação, propensão à erosão e probabilidade de inundações.

O índice morfométrico utilizado para avaliação de neotectônica foi o Relação Declividade - Extensão (R_{DE}), desenvolvido por Hack (1973). O cálculo do

R_{DE} é baseado na diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso de água, 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. A letra “L” corresponde à distância entre o segmento para o qual o índice RDE está sendo calculado e a nascente da drenagem. 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). Esse índice e os dados obtidos com sua aplicação estão expostos no subitem referente à neotectônica.

ANÁLISE CARTOGRÁFICA

Para o presente trabalho optou-se por confeccionar as cartas hipsométrica e clinográfica da área da bacia. Com esses produtos cartográficos, juntamente com imagens da área pode-se fazer uma caracterização geomorfológica para assim ratificar os dados obtidos através dos cálculos morfométricos da bacia.

Hipsometria

A carta altimétrica, também chamada de hipsométrica, segundo Guerra e Guerra (2006, p.116) “consiste naquela onde as isoípsas ligam os pontos de igual altitude. Essas cartas são representações da topografia continental emersa, isto é, do relevo positivo”. Para a confecção da carta hipsométrica da área de estudo foi necessário a vetorização das curvas de nível das cartas topográficas. Optou-se por vetorizar manualmente para obter um maior detalhamento do produto final, ao invés de gerar as curvas e a rede hidrográfica de forma automática, pois o que se almeja são dados o mais fidedignos possíveis.

O arquivo vetorizado foi transferido para o *software* Spring 5.03, onde foi gerada uma grade retangular em formato *raster* e outro numérico. O interpolador utilizado na confecção da grade foi o Média Ponderada por Cota e Quadrante, com resolução de 5 pixels. A etapa seguinte consistiu no processo de fatiamento das faixas de altitude, que no presente trabalho foram considerados de 10 em 10 m para as menores altitudes (até 20m), para dar maior ênfase à planície de

inundação, e intervalos de 20 em 20m para as maiores altitudes (de 20 à 120m) (Figura 3).

Segundo Christofolletti (1980), a hipsometria preocupa-se em estudar as interrelações existentes em determinada unidade horizontal do espaço no tocante a sua distribuição em relação às faixas altimétricas, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoípsa base.

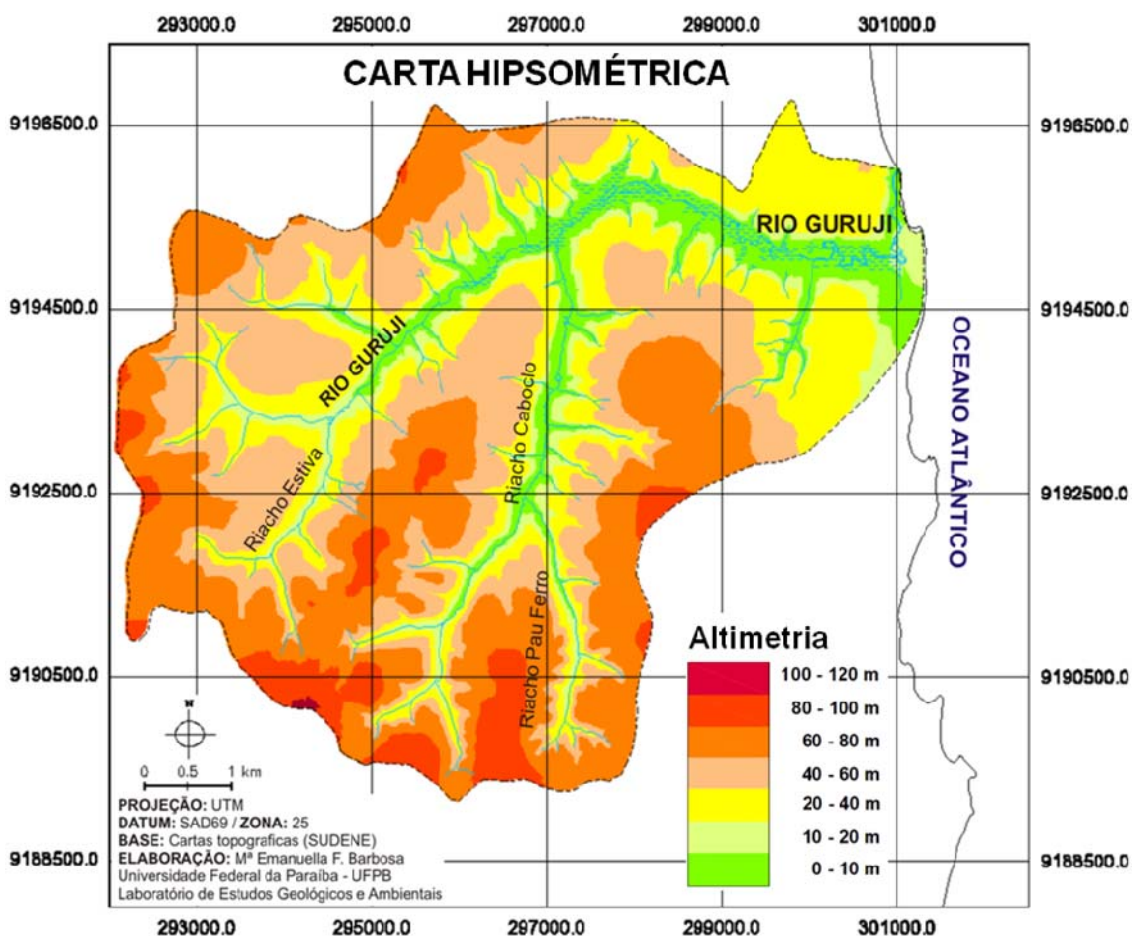


Figura 3 – Carta hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Guruji.

A hipsometria é utilizada pelos hidrologistas para diferenciar o estado dos processos erosivos em bacias hidrográficas, classificando a drenagem de juvenil a senil, sendo adotada para comparar a curva representativa da bacia hidrográfica com a respectiva curva teórica correspondente, no caso de não ter sofrido nenhuma alteração no seu processo de degradação, nem por causas litológicas, nem por causas tectônicas (TORRES, 1994).

A carta hipsométrica, foi utilizada para quantificar a porcentagem que cada classe altimétrica ocupa na área de estudo. O resultado obtido mostra que a classe entre 60-80 m foi a que obteve a maior área, com aproximadamente 12,55 km², e o menor valor com menos de 1% de área 0,028 km² é a classe altimétrica que varia entre 100–120 m. Porém, um pouco mais ao sul da área estudada existe uma área denominada de Alto Estrutural Coqueirinho, que possui topos que chegam a patamares de 131 m e que alguns pesquisadores (FURRIER et al., 2006; FURRIER, 2007) acreditam que esse Alto Estrutural influencie na configuração da rede de drenagem da bacia do rio Guruji como de outras bacias hidrográficas da região.

Outro ponto que merece destaque são as maiores altitudes que estão na porção sul da bacia, indicando a influência do alto estrutural na área de estudo. Como essa porção da bacia possui maiores altitudes, logo se observa um maior entalhamento dos cursos de água e também na ordenação dos canais, onde a maioria dos canais de primeira ordem encontra-se nessa porção da bacia. Ao todo são contabilizados 50 canais, indicando que o fator morfológico é determinante para a configuração da bacia em questão (Tabela 1).

Tabela 1 – Quantidade de canais em cada margem da bacia. Observa-se que na margem direita existe um forte entalhamento do relevo e uma maior quantidade de canais.

ORDEM	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA
1 ^a	50	28
2 ^a	14	7
3 ^a	3	1
4 ^a	1	1
Total	68	37

Declividade

Declividade consiste na inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte. Na representação em curvas de nível percebe-se que quanto maior for a inclinação tanto mais próximas se encontram as curvas de nível. Inversamente elas serão tanto mais afastadas quanto mais suave for o declive (GUERRA e GUERRA, 2006). A carta clinográfica é uma ferramenta quase

obrigatória em trabalhos ligados a geomorfologia, tectônica recente, planejamento ambiental e territorial.

A carta clinográfica mostra a transformação de curvas de nível em porcentagens de inclinação. Lemos e Santos (1996 *apud* SILVA et al., 2003) citam a caracterização do relevo atribuindo um nome para a classe conforme o intervalo de porcentagem de inclinação. Para o presente trabalho foram utilizadas as classes de declividade estabelecidas por Herz e De Biasi (1989). As classes de declividade em porcentagem e o seu equivalente em graus estão expostas na Tabela 2.

- 12% – Faixa que define o limite máximo para o emprego de mecanização na agricultura;
- 12–30% – A Lei Federal 6.766/79 limita em 30% de declividade a urbanização sem restrições;
- 30–47% – A Lei Federal 4.771/65 (Código Florestal) limita em 47% de declividade o corte raso de vegetação;
- 47–100% – Nesse intervalo de declividade, o Código Florestal proíbe a derrubada de floresta sem um regime de utilização racional que vise a rendimentos permanentes;
- 100% – É considerada, pelo Código Florestal, área de preservação permanente, apenas sendo admitida a suspensão total ou parcial da vegetação em previa autorização do Poder Público Federal, quando for necessária a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

Tabela 2 – Classes de declividade proposta por Herz e De Biasi (1989) em porcentagem e seus respectivos valores em graus.

CLASSES DE DECLIVIDADE	
EM PORCENTAGEM	EM GRAUS
> 12%	< 7,25°
12–30%	7,25–17°
30–47%	17–25°
47–100%	25–45°
> 100%	> 45°

Observa-se que as maiores declividades estão nas cabeceiras de drenagem da porção sul da bacia. Avaliando toda a área de estudo, chega-se ao resultado que grande parte da área possui declividade em torno de 0–12%, ratificando o padrão

tabular do relevo da região. Além dessa classificação, outra classe que chama atenção é a classe entre 12–30%, existindo pequenas porções com declividades acentuadas chegando a valores > 100% (0,0089 km²).

Na sub-bacia do riacho do Pau Ferro os índices de declividade atingem, em vários pontos, valores entre 45–100%. Em todos os seus cursos de primeira ordem e de segunda ordem, da sub-bacia do Pau Ferro, possuem valores elevados (>45%), diminuindo somente quando o curso principal deságua no riacho do Caboclo diminuindo sua declividade à porcentagem de 12–30% (Figura 4).

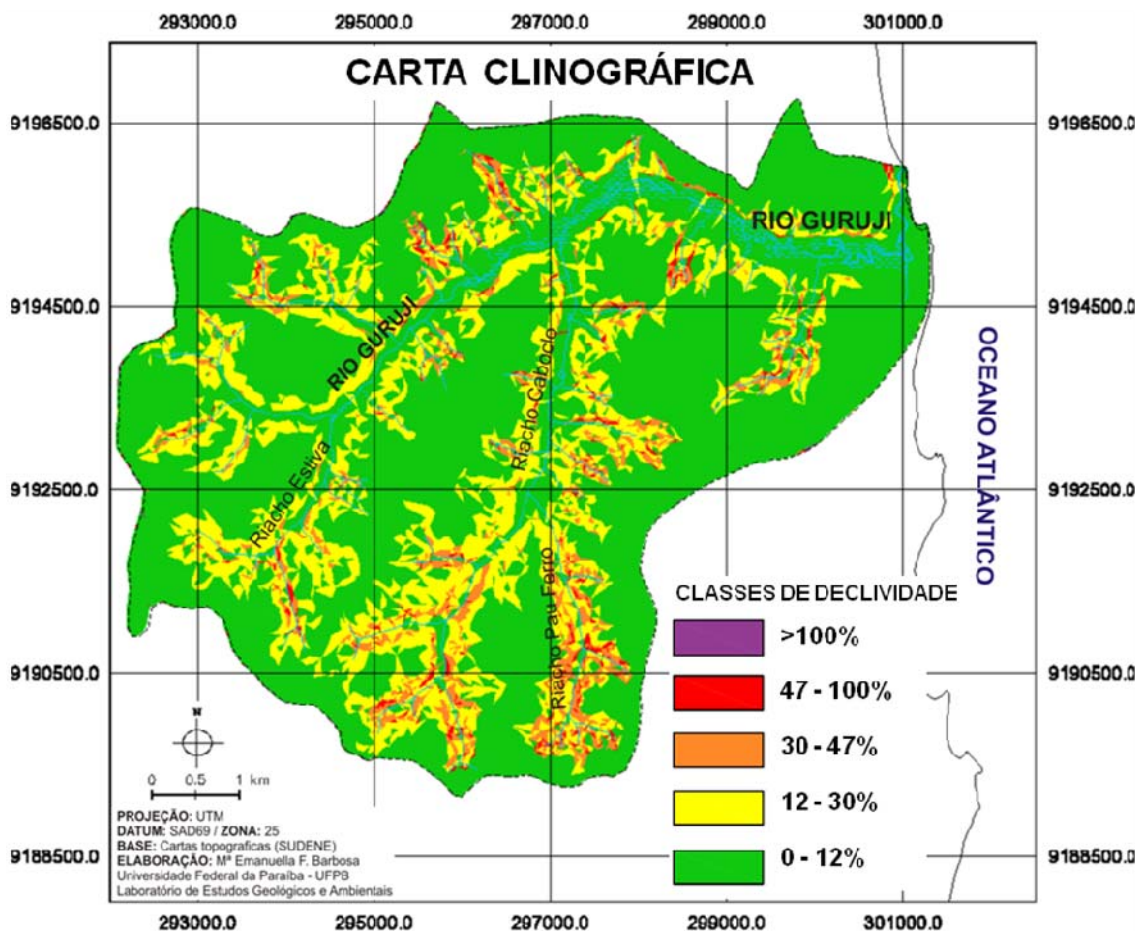


Figura 4 – Carta clinográfica da bacia hidrográfica do rio Guruji.

A porção sul da bacia hidrográfica do rio Guruji, possui declividade bastante acentuada, chegando a valores entre 45–100%. Existe um curso, de segunda ordem, que pertence a sub-bacia do riacho Estiva, de forma retilínea, que possui extensão de aproximadamente 889,5 m. No restante de toda a porção oeste da bacia os índices de declividade estão em torno de 30–47% e 12–30%, índices

considerados relativamente altos para uma área de geologia sedimentar e morfologia tabular.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Os aspectos morfométricos das bacias hidrográficas refletem algumas das interrelações mais significativas entre os principais fatores responsáveis pela evolução e organização do modelado, em particular a geomorfologia. Os cálculos morfométricos relacionados aos caracteres espaciais (areaais) e lineares da drenagem contribuem para uma melhor caracterização das unidades geomorfológicas.

Os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre possuíram função relevante na geomorfologia, e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem os principais responsáveis no processo morfogenético mais ativos na esculturação da paisagem (ALCÂNTARA e AMORIM, 2005).

Análise linear da rede hidrográfica

Essa equação foi definida por Horton (1945), como sendo a relação entre o número total de seguimentos de uma determinada ordem e o número total dos seguimentos de ordem superior. Segundo Christofolletti (1980), acatando-se o sistema de ordenação de Strahler (1952), verifica-se que o resultado nunca pode ser inferior a dois ($R_b \geq 2$). A expressão matemática utilizada para calcular o R_b é representada pela equação 1:

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

sendo R_b a relação de bifurcação, N_u o número de seguimentos de determinada ordem, e N_{u+1} o número de seguimentos da ordem imediatamente superior.

Os resultados encontrados foram: 3,71 para a relação entre o número de canais de primeira e de segunda ordem, para a razão entre os canais de segunda e terceira ordem o resultado foi 5,25. A relação de bifurcação entre os canais de

terceira e quarta ordem foi de 2 e entre quarta e quinta ordem foi 2. Todos os resultados foram superiores ou iguais a dois ($R_b \leq 2$), como estabelecido por Strahler (1952) (Tabela 3).

Tabela 3 – Quantidade de rios e a hierarquia dos canais na bacia hidrográfica do rio Guruji.

ORDEM	RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (R_b)
1 ^a e 2 ^a ordens	3,71
2 ^a e 3 ^a ordens	5,25
3 ^a e 4 ^a ordens	2,00
4 ^a e 5 ^a ordens	2,00

Segundo Silva et al. (2003), o valor desse parâmetro é maior para áreas amorreadas, com bacias de drenagem muito dissecadas, do que para bacias com áreas colinosas, sendo de 3 a 4 para as primeiras e de somente 2 para as últimas. Porém, Christofolletti (1969) menciona que Strahler (1952) observa a não validade dessa regra de relação, sugerindo ser mais consistente a regra que associa substrato geológico com relação de bifurcação.

Relação entre o comprimento médio dos canais da bacia com o comportamento médio dos canais de cada ordem

A relação entre o comprimento médio dos canais existente em uma bacia hidrográfica, e os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordena-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios (ALCÂNTARA e AMORIM, 2005).

A lei básica da composição da drenagem pode ser enunciada da seguinte maneira: “Em uma bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios” (HORTON, 1945, p. 281). Para calcular a relação entre os comprimentos médios dos canais tem-se que estabelecer primeiro o comprimento médio dos canais fluviais de cada ordem. O resultado obtido neste índice morfométrico está exposto na Tabela 4.

Tabela 4 – Soma dos comprimentos de cada ordem (L), comprimento médio (L_m) dos canais que é adquirido com a razão entre o comprimento dos seguimentos de determinada ordem pelo número de canais dessa ordem e por último a relação entre os comprimentos (RL_m) que é a razão entre o comprimento médios dos canais de cada ordem em metros.

ORDEM	COMPRIMENTO DOS CANAIS DE CADA ORDEM (L)	COMPRIMENTO MÉDIO DOS SEGUIMENTOS (L_m)	RELAÇÃO ENTRE OS COMPRIMENTOS MÉDIOS DOS CANAIS (RL_m)
1ª	34.295,7	439,7	1,29
2ª	11.965,1	569,8	3,74
3ª	8.530,9	2.132,8	1,44
4ª	6.157,4	3.078,7	2,49
5ª	7.685,3	7.685,3	

Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação

É um importante elemento na relação entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas. Isso por que, se os valores do comprimento médio e do índice de bifurcação forem iguais, o tamanho médio dos canais crescerá ou diminuirá na mesma proporção. Caso não sejam iguais, o que é mais comum, o tamanho dos canais poderá diminuir ou aumentar progressivamente com a elevação da ordem dos canais, pois são os fatores hidrológicos, morfológicos e geológicos que determinam o último grau do desenvolvimento da drenagem em determinada bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A relação de bifurcação e a relação com o comprimento médio dos canais apesar de serem variáveis pouco utilizadas em análises geoambientais, por se tratarem de parâmetros que refletem a estruturação interna dos canais na bacia, são de grande validade quando utilizadas em análises temporais comparativas (SIQUEIRA, 2001). Com o resultado expresso na Tabela 5, observa-se que, com o aumento da ordem hierárquica dos canais, o valor da R_{ib} diminui progressivamente, ou seja, quanto maior a hierarquia menor será o valor. Segundo Christofolletti (1980) ocorrem o aumento do índice de bifurcação com o aumento

da ordem hierárquica, mostrando assim a importância do fator geológico no desenvolvimento da drenagem de maior ordem.

Constatou-se que esse evento está ocorrendo na bacia hidrográfica do rio Guruji, onde o maior índice de R_{ib} é na relação dos canais de 4^a e 5^a ordens, mostrando com isso a importância do fator geológico no desenvolvimento da drenagem de maior ordem. E para ratificar o resultado desse índice, o canal principal da bacia do Guruji possui uma inflexão significativa de aproximadamente 90° no seu baixo curso.

Tabela 5 – Resultado da relação entre o comprimento médio dos canais e o Índice de bifurcação.

ORDEM	RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DO COPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS E O ÍNDICE DE BIFURCAÇÃO (R_{ib})
1 ^a e 2 ^a	0,347
2 ^a e 3 ^a	0,712
3 ^a e 4 ^a	0,720
4 ^a e 5 ^a	1,245

Comprimento do rio principal

Este índice compreende a distância que se estende ao longo do canal fluvial desde a desembocadura até uma determinada nascente. O critério a ser utilizado para a determinação do comprimento do rio Guruji neste trabalho foi o estabelecido por Horton (1945), no qual o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal. Com ajuda do *software* Spring®, mediu-se o comprimento do rio principal, que neste caso é um canal de 5^a ordem, e se chegou ao resultado de 7,69 km.

Densidade dos rios ou Densidade hidrográfica

Christofolletti (1980) considera a densidade hidrográfica uma variável de grande importância por representar o comportamento hidrológico de uma determinada área em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos de água. Esse índice foi desenvolvido por Horton (1945), e tem a função de mostrar a relação entre o número de cursos de água e a área da bacia hidrográfica (Equação 2).

A função deste índice morfométrico é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área. Para este trabalho foi utilizada a ordenação de Strahler (1952), e segundo Christofolletti (1980), o número de canais para o cálculo deste índice corresponde à quantidade de rios de primeira ordem, pois implica que todo e qualquer rio surge em uma nascente. O número de canais de determinada bacia é noção básica para mostrar a sua magnitude, pela Equação 2:

$$D_r = \frac{N}{A} \quad (2)$$

no qual D_r é a relação da densidade dos rios, N é o número total de rios ou cursos de água e A é a área da bacia considerada.

Este índice morfométrico referente à densidade é de extrema importância, pois representa o comportamento hidrológico de determinada área, em um dos seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos de água. A densidade da bacia hidrográfica do rio Guruji é de 2,37 canais por km^2 .

Morisawa (1962) utilizou-se da densidade hidrográfica como uma das variáveis na determinação do fator topográfico que indica se a bacia apresenta características favoráveis ou não a inundação.

Densidade da drenagem

A densidade da drenagem consiste na razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica (Equação 3). Segundo Christofolletti (1980), o cálculo da densidade é importante para o estudo das bacias hidrográficas por que apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem. Lembrando que são considerados nesse cálculo tanto os rios perenes quanto os rios intermitentes.

Essa variável morfométrica retrata a disponibilidade de canais para o escoamento linear das águas e materiais detríticos e o grau de dissecação do relevo resultante da atuação da rede de drenagem (SIQUEIRA, 2001).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

sendo D_d a densidade da drenagem e L o comprimento total dos canais.

O resultado obtido com o cálculo da densidade da drenagem foi de 1,47 km/km². Comparando o resultado encontrado com uma tabela desenvolvida por Christofolletti (1969) pode-se interpretar que a bacia hidrográfica do rio Gurují possui uma baixa densidade de drenagem, apesar de possuir uma forte dissecação em seus canais (Tabela 6).

Tabela 6 – Classes de interpretação para valores da densidade de drenagem (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1969).

CLASSES DE VALORES (km/km ²)	INTERPRETAÇÃO
< 7,5	Baixa densidade de drenagem
7,5–10,0	Média densidade de drenagem
> 10,0	Alta densidade de drenagem

Rodrigues e Adami (2005), afirmam que com o uso desses dados é possível separar áreas mais ou menos aptas à recepção de infra-estrutura viária, por exemplo. Também pode ser um valioso auxílio para interpretações sobre morfogênese e morfodinâmica baseadas em inferências sobre diferenças de permeabilidade, por exemplo, ou de diferença sobre a profundidade dos materiais permeáveis. Horton (1945) comenta que as bacias de menor porte ou grau hierárquico tendem a apresentar valores de Densidade de drenagem mais elevados. Christofolletti (1969) explicou este fato com o argumento de que os seguimentos de ordem inferior estão nos setores mais altos dos cursos de água, onde as declividades são mais acentuadas, conforme aumenta a área da bacia e a ordem da rede hidrográfica incorporam-se áreas topograficamente mais suaves, dando origem a espaços com densidade de drenagem baixa.

Extensão do percurso superficial

Esse parâmetro representa a distância média (metros) percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. O resultado obtido é útil para caracterizar a textura topográfica, que expressa maior ou menor espaçamento

entre os cursos de água, considerada “grosseira” quando houver amplo espaçamento entre cursos e “fina” quando houver espaçamento estreito entre os mesmos (SILVA et al., 2003), sendo dado pela Equação 4:

$$E_{ps} = \frac{1}{2 \times D_d} \times 100 \quad (4)$$

sendo E_{ps} a extensão do percurso superficial, em que significa extensão do percurso sendo esse índice expresso em metros e o D_d significa a densidade da drenagem que é expressa em (km/km²).

O resultado obtido para a bacia hidrográfica do rio Guruji foi de 340,599 m expressando assim que a bacia possui uma textura classificada como sendo “grosseira”, pois apresenta um considerável espaçamento entre os seus canais. Sendo esse tipo de arranjo dos canais típico de áreas sedimentares de morfologia tabular.

Amplitude altimétrica da bacia

É balizada pelas altitudes mínimas e máximas ocorrentes na bacia e pela faixa de altitude que predomina na área, sendo caracterizado pela diferença entre as altitudes máxima e mínima. A maior altitude da bacia hidrográfica do rio Guruji é de 112 m e a menor altitude é de 0 m, sendo assim, a amplitude altimétrica da bacia é de 112 m. Esse índice é utilizado para calcular a rugosidade topográfica das bacias hidrográficas.

Rugosidade topográfica

Segundo Silva et al. (2003) esse é um índice utilizado para análise dimensional da topografia, combinando informações pertinentes à amplitude topográfica e à densidade de drenagem (Equação 5).

$$H_t = H \times D_d \quad (5)$$

em que H_t é a rugosidade topográfica da bacia e H a amplitude altimétrica (m).

O resultado obtido na bacia do rio Guruji foi de 164,42 m/(km(km^{2apud SILVA et al., 2003), no qual, valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores, da amplitude topográfica e da distância média dos interflúvios, são extremamente elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas, sendo esse o caso da bacia do rio Guruji, onde *in loco* pode-se observar uma forte dissecação revelando assim vertentes relativamente íngremes. Com a obtenção desse índice morfométrico pode-se ratificar essa observação feita em campo.}

EVIDÊNCIAS NEOTECTÔNICAS

Neste trabalho fez-se uma análise da neotectônica na bacia hidrográfica do rio Guruji com base no índice Relação Declividade-Extensão (RDE). Este índice morfométrico se destaca na literatura internacional e brasileira e foi desenvolvido por Hack (1973), por isso é muito conhecido na literatura como “Índice de Hack”. Esse índice foi aplicado nas análises de cunho tectônico em diversas localidades, como, por exemplo, na avaliação do comportamento da falha de San Andreas (Califórnia, EUA). No território brasileiro já existem registros de aplicação de técnicas semelhantes na bacia do rio do Peixe, em São Paulo (ETCHEBEHERE, 2000, 2004 e 2006), na bacia do rio Paraíba, na Paraíba (ANDRADES FILHO, 2010).

A tectônica recente afeta o Grupo 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 neste grupo (NOGUEIRA et al., 2006). Segundo Hancock (1986 *apud* STEWART e HANCOCK, 1994), seria inútil a seleção de uma data arbitrária para o início da fase neotectônica (Neógeno ou Quaternário), aplicada globalmente para o período no qual, estruturas neotectônicas teriam se formado. Esse autor sugeriu como alternativa, a ideia de que, para uma determinada região, a fase neotectônica poderia ser considerada iniciada quando a configuração atual dos limites de placas e movimentações relevantes fosse estabelecida.

Os valores encontrados foram todos acima do normal para uma margem continental do tipo passiva. Todos os valores foram > 2, sendo já um indicativo de

evento neotectônico na área. Comparando os valores definidos nas três classes, que refletem valores anômalos $2 \leq R_{DE} < 4$; $4 \leq R_{DE} < 6$ e $6 \leq R_{DE}$ (ANDRADES FILHO, 2010, p. 149). Pode-se observar que todos os cursos apresentam-se anômalos entre os intervalos $2 \leq RDE < 4$ e $6 \leq RDE$ (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores encontrados nos cursos fluviais, da bacia hidrográfica do rio Guruji.

DRENAGEM	EXTENSÃO (km)	R _{DE}
Rio Guruji	13,84	3,89
Riacho Caboclo	6,99	7,27
Riacho Pau Ferro	3,23	4,57
Riacho Estiva	2,91	2,06

Dentre os valores encontrados, o mais anômalo é o do riacho Caboclo que se localiza, também, na porção sul da bacia onde se encontra o maior número de canais fluviais com dissecações bastante acentuadas formando vales extremamente entalhados e as maiores cotas altimétricas, sendo evidente essa anomalia atrelada ao Alto Estrutural Coqueirinho. De acordo com os mesmos autores supracitados, esses limiares já refletem *knick points* (pontos de mudança de sentido) ao longo das drenagens, representando pontos anômalos a ser investigado, inclusive do ponto de vista neotectônico.

Etchebehere et al. (2006), relaciona ainda os valores encontrados com o substrato geológico da área, assim torna muito mais confiável as suas conclusões sobre a bacia estudada. No caso da bacia hidrográfica do rio Guruji, a litologia predominante e que está em todos os canais estudados é a do Grupo Barreiras, portanto, para este estudo de caso, o fator predominante para a complexa morfologia da bacia refere-se ao caráter tectônico.

Além dos parâmetros morfométricos, outro ponto a ser levado em consideração é a análise da morfologia da área. Pois, o estudo dos padrões de drenagem é de suma importância para se evidenciar esse tipo de evento, sendo a hidrografia considerada um dos elementos mais susceptíveis às modificações tectônicas crustais, respondendo de imediato aos processos deformativos, mesmo aqueles de pequena escala e magnitude (VOLKOV et al., 1967; OUCHI, 1985; PHILLIPS e SCHUMM, 1987; SCHUMM, 1993; WESCOTT, 1993 *apud* SAAD et al.,

2004). Tais características tornam a hidrografia e, conseqüentemente, as bacias hidrográficas, elementos apropriados às análises de cunho neotectônico.

Analisando morfologicamente a bacia do rio Guruji constatou-se uma inflexão de 90° a 275 m da linha de costa. Nesse trecho, o rio muda bruscamente sua direção de W-L para S-N, percorrendo mais 900 m até sua foz. Segundo Penteadó (1974), quando o falhamento é rápido e contínuo ao escoamento da drenagem, o rio poderá ter o seu curso desviado subitamente ou pode ser represado. O soerguimento de um bloco da Formação Maria Farinha, por falhamento, nas proximidades da linha de costa parecer ser a prova irrefutável dessa inflexão (FURRIER, 2007).

A direção S-N do rio Guruji, no seu baixo curso, parece obedecer à inclinação geral dos Tabuleiros Litorâneos esculpidos sobre o Grupo Barreiras nessa área, pois a direção dos afluentes riacho do Caboclo e riacho Pau Ferro não obedecem a essa inclinação e são também os maiores afluentes do rio Guruji.

Nas adjacências da bacia do rio Guruji, o padrão de drenagem observado entre os rios Gramame e Mucatu, evidencia, também, um forte controle estrutural. Aí, o soerguimento do Auto Estrutural Coqueirinho (FURRIER et al., 2006) vem provocando um acentuado processo de dissecação, com vales extremamente encaixados e intenso recuo nas cabeceiras de drenagem. A bacia do rio Guruji, além do notável padrão de drenagem assimétrico com os afluentes da margem direita, muito mais avantajados que os afluentes da margem esquerda, e com suas cabeceiras apresentando forte entalhe indicativo de recuo acelerado (Figura 5b)

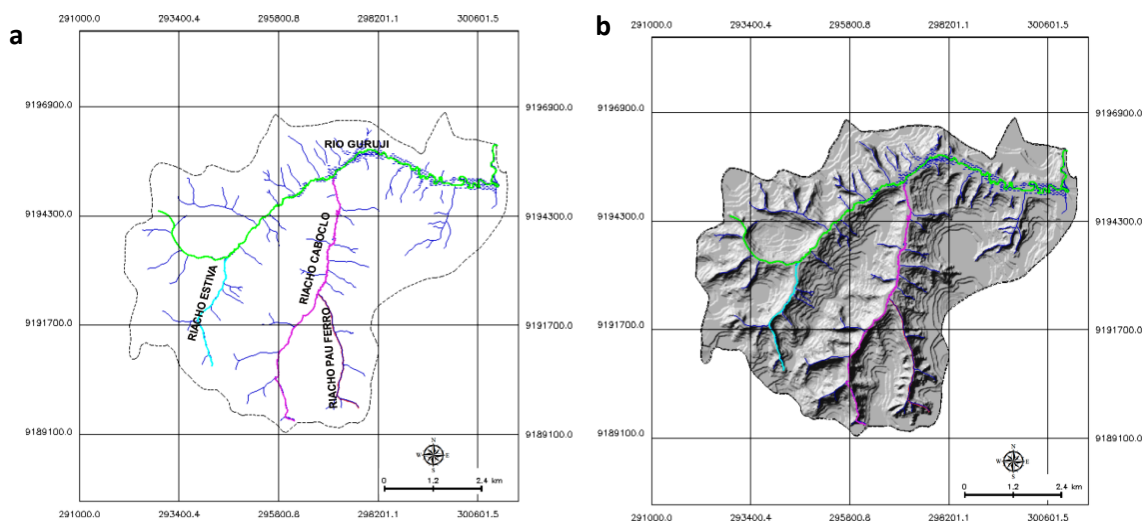


Figura 5 - (a) Localização dos cursos escolhidos para o cálculo do RDE. (b) Imagem sombreada, mostrando o forte entalhe dos canais fluviais da porção sul da bacia hidrografia do rio Guruji.

Estudos de cunho estrutural e/ou tectônico que envolva os Tabuleiros Litorâneos esculpidos sobre os sedimentos mal consolidados do Grupo Barreiras, devem priorizar ou ao menos não desprezar totalmente as bacias e redes de drenagem existentes sobre esse grupo, visto que suas características litológicas impedem, por muitas vezes, que estruturas deformacionais expostas às fortes intempéries do litoral brasileiro sejam preservadas por tempos geológicos. As evidências de cunho estrutural e/ou tectônico estão demasiadamente claras neste estudo de caso e, com certeza, em muitas outras bacias ou redes de drenagem similares, desenvolvidas nos Tabuleiros Litorâneos esculpidos sobre o Grupo Barreiras, não deixando dúvidas a forte ação tectônica nas adjacências de uma margem continental passiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo utilizou-se de ferramentas de geoprocessamento para identificação, análise, interpretação e quantificação de variáveis do relevo. Os dados obtidos nas análises morfométricas mostraram que a bacia hidrográfica do rio Guruji apresenta peculiaridades que atestam o controle litológico, estrutural e tectônico da área.

As cartas clinográfica e hipsométrica foram úteis na identificação das diferenças topográficas na bacia e a relação com a morfologia da área. Serviram de base para a análise geomorfológica, na caracterização do padrão de drenagem, entre outros, proporcionando uma visão em diversos ângulos da espacialização dos aspectos morfológicos do terreno. As análises das cartas topográficas, hipsométrica e clinográfica serviram de suporte para a caracterização de feições fortemente atreladas à neotectônica, bem como para uma reflexão mais apurada no entendimento dos fenômenos que definiram a morfologia da área.

Os resultados alcançados nesse trabalho podem abrir novos campos de aplicação e de entendimento quanto ao desenvolvimento e a evolução do relevo e à sua relação com a tectônica. Os resultados encontrados com a aplicação dos índices

morfométricos voltados para a detecção de alterações neotectônicas foram, juntamente com a descrição geomorfológica da área, a prova irrefutável que a neotectônica é um fator preponderante no arranjo e morfologia da rede de drenagem.

Estudos morfotectônicos e morfométricos executados em diversas porções do litoral brasileiro e adjacências atestam que a margem continental passiva apresenta tectônica conspícua e, portanto, estudos de cunho geomorfológico no litoral do estado da Paraíba não podem mais renegar a influência da tectônica recente na configuração do relevo e no arranjo do padrão da rede de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. H.; AMORIM, A. de J. **Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo e caso**. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 14, n. 7, p 70-77, 2005.

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, Belém. Anais... Belém: SBG, p. 753-760, 1988.

ANDRADES FILHO, C. O. **Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD. 2010**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), São José dos Campos, 2010.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. **Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia. São Paulo, v.5, n.1, p. 85-93, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

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

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. 1-2, p. 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 Geociências, São Paulo, 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, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 109-114. 2004.

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, São Paulo, v.4, n.2, p. 43-56. 2000.

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.** Tese de Doutorado em Geografia Física (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo), São Paulo, 2007.

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. Geol. Survey, Jour. Research, v. 4, n. 1. p. 421-429. 1973.

HERZ, F.; DE BIASE, M. **Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro.** Brasília: Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, 1989.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Bulletin of the Geological Society of America, Washington, v.56, n.1, p.275-370, 1945.

MABESOONE, J. M. **Sedimentary basins of northeast Brazil.** Recife: UFPE/CT/DG. 1994.

MORISAWA, M. E. **Qualitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau.** Geological Society of America Bulletin. v. 73, n.9, p. 1025 - 1046. 1962.

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

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE. 1974.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos. **Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento.** Ciência Hoje, v.19, n. 110, p. 40-45, 1995.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas**. In: VENTURI, L. A. B. (org.) *Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005.

SAAD, A.; BEZERRA, F. H. R. **Neotectônica da plataforma brasileira**. In: OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, C. R.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P. E. (org.) *Quaternário no Brasil*, 1 ed. São Paulo: Editora Holos, 2004.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

SIQUEIRA, A. G. **Avaliação das alterações na rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica do Rio Capivari-Mirim-SP**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, (Universidade de São Paulo), São Paulo, 2001, 200p.

STRAHLER, A. **Quantitative analysis of watershed Geomorphology**. American Geophysical Union Transactions, Washington, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1952.

STEWART, I. S.; HANCOCK, P. L. **Neotectonics**. In: Hancock, P. L. (ed.) *Continental deformation*. Oxford: Pergamon, 1994.

TORRES, H. H. F. **Metodologia para estudos Neotectônicos regionais: o caso João Câmara**. Recife: CPRM (Série publicações especiais, v.3). P.50. 1994.