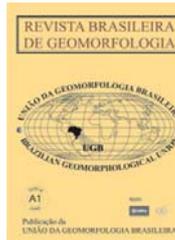




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, nº 4 (2015)



ANÁLISE MORFOESTRUTURAL E NEOTECTÔNICA NA PORÇÃO NORTE DA BACIA PARAÍBA (PB)

MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS AND NEOTECTONICS IN NORTHERN PARAÍBA BASIN (PB)

Fabio Corrêa Alves

*Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, São Paulo, Cep: 12.245-970, Brasil
Email: alves.fabioc@gmail.com*

Dilce de Fátima Rossetti

*Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, São Paulo, Cep: 12.245-970, Brasil
Email: rossetti@dsr.inpe.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
10/03/2015
Data de Aprovação:
14/09/2015

Palavras-chave:

Anomalias de Drenagem,
Deformação Tectônica, Bacia
Paraíba.

Keywords:

Drainage Anomalies, Tectonic
Deformation, Paraíba Basin.

Resumo:

É crescente o número de publicações demonstrando a atuação de atividades tectônicas cenozoicas na região Nordeste do Brasil, apesar de sua localização na margem passiva da placa Sulamericana. Tal influência tem sido sugerida por características morfoestruturais derivadas do relevo e dos sistemas de drenagem. Porém, faltam ainda estudos detalhados que possam demonstrar a presença de estruturas tectônicas em várias áreas da Bacia Paraíba. O objetivo desta pesquisa foi analisar o efeito da tectônica nos elementos da paisagem da porção norte da Bacia Paraíba (PB), a partir da caracterização morfoestrutural com base em dados de sensoriamento remoto. Para isso, utilizaram-se dados derivados do modelo digital de elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e variáveis geomorfométricas derivadas desse produto, além de imagens do sensor Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) a bordo do Advanced Land Observing Satellite (ALOS). Inúmeras anomalias morfoestruturais foram registradas nas bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Mamanguape e Miriri, incluindo principalmente: padrões de drenagem anômalos, como treliça e subtipos associados; inflexões abruptas de canais formando ângulos ortogonais; meandros isolados e comprimidos; e lineamentos morfoestruturais com orientação compatível com estruturas tectônicas regionais do nordeste brasileiro. A análise conjunta dos elementos morfoestruturais das bacias de drenagem pesquisadas permitiu reunir evidências em suporte a deformações tectônicas. Essas se manifestaram até mesmo no Pleistoceno Tardio e são devidas à reativação de esforços distensivos e compressivos, como atestado

pela correspondência dos lineamentos morfoestruturais da cobertura sedimentar com aqueles do embasamento cristalino pré-cambriano.

Abstract:

The number of publications showing the action of Cenozoic tectonic activities in northeastern Brazil is increasing, despite the localization in a passive margin of the Sulamerican plate. Such influence has been suggested by morphostructural characteristics derived from relief and drainage systems. However, detailed studies confirming the presence of tectonic structures in various areas of the Paraíba Basin are lacking. The goal of this work was to analyze the tectonic effect in the landscape of the northern Paraíba Basin (PB) from morphostructural characterization based on remote sensing data. The research was undertaken with basis on data derived from the digital elevation model (DEM) obtained from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), geomorphometric variables derived from this product, and images of the Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) sensor onboard of the Advanced Land Observing Satellite (ALOS). Numerous morphostructural anomalies were recorded in the Paraíba, Mamanguape and Miriri drainage basins, mostly including: anomalous drainage patterns, such as trellis and associated sub-types; abrupt channel inflexions forming orthogonal angles; compressed and isolated meanders; and morphostructural lineaments with direction compatible with regional tectonic structures of northeastern Brazil. The analysis of the morphostructural elements of all analyzed drainage basins provides evidence to support tectonic deformation. These were manifested even in the Late Pleistocene and are due to reactivation of extensional and compressive efforts, as attested by the correspondence of morphostructural lineaments from the sedimentary cover and those from the Precambrian crystalline basement.

Introdução

A região nordeste do Brasil foi considerada, por muito tempo, como tectonicamente estável desde o final do Mesozoico, o que se deve à sua localização na margem passiva da placa Sulamericana. Por isso, modelos de evolução do relevo para essa região foram atribuídos ao clima (p.e., KING, 1956, 1967). Porém, é crescente o número de publicações mostrando a influência de deformações tectônicas nessa região, onde existe um número expressivo de falhas e dobras em depósitos sedimentares neógenos e quaternários, inclusive holocênicos. Grande parte desse registro tectônico ocorre na Bacia Paraíba, onde falhas e dobras exercem forte efeito na morfologia da paisagem atual, configurada tanto por terrenos soerguidos e rebaixados, quanto por drenagens com curvaturas pronunciadas (p.e., BRITO NEVES *et al.*, 2004; FURRIER *et al.*, 2006; BEZERRA *et al.*, 2008; BRITO NEVES *et al.*, 2009; ROSSETTI *et al.*, 2011b).

A Bacia Paraíba destaca-se dentre as demais bacias marginais da porção oriental da placa Sulamericana por ter permanecido tectonicamente ativa por mais tempo e por representar a última ponte de ligação entre a América do Sul e África (SUGUIO e MARTIN, 1996). Como consequência, tem sido crescente o registro de reativações tectônicas pós-rifte nessa bacia (p.e., BRITO NEVES *et al.*, 2004; LIMA FILHO *et al.*, 2006; BEZERRA *et al.*, 2008; BRITO NEVES *et al.*, 2009; ROSSETTI *et al.*,

2009; 2011b; ANDRADES FILHO, 2014; BEZERRA *et al.*, 2014). Em particular, várias publicações prévias propuseram que a paisagem atual da Bacia Paraíba tem controle tectônico (p.e., BRITO NEVES *et al.*, 2004; FURRIER *et al.*, 2006; BEZERRA *et al.*, 2008; BRITO NEVES *et al.*, 2009; ROSSETTI *et al.*, 2011b; ANDRADES FILHO e ROSSETTI, 2012b; BEZERRA *et al.*, 2014). Além disso, uma abundância de estruturas deformacionais tem sido registrada nos estratos sedimentares dessa bacia, com evidências de estruturas deformacionais sin-sedimentares até mesmo em depósitos de idade pleistocênica tardia (i.e., Sedimentos Pós-Barreiras), que contém um volume considerável de sismo (ROSSETTI *et al.*, 2011a). Apesar disso, faltam ainda estudos detalhados que possam ampliar o registro de estruturas tectônicas em várias outras áreas dessa bacia, principalmente naquelas desprovidas de bons afloramentos. Nessas áreas, a análise morfoestrutural, fundamentada em dados qualitativos e/ou quantitativos extraídos da drenagem e das formas de relevo, pode auxiliar no reconhecimento de estruturas tectônicas, principalmente em escala regional. Elementos morfoestruturais de relevância comumente utilizados visando esse objetivo derivam da caracterização das propriedades e padrões dos sistemas de drenagem, bem como de anomalias e lineamentos morfoestruturais derivados tanto desses, quanto do relevo (p.e., HOWARD, 1967; O'LEARY *et al.*, 1976; SOARES

E FIORI, 1976; DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991). Tais caracterizações são facilitadas em aplicações de sensoriamento remoto.

Dentre os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados para análise morfoestrutural, imagens de multissensores ópticos tem sido as mais usuais. Entretanto, o uso de imagens ópticas em áreas tropicais é desfavorecido pela cobertura vegetal densa e nuvens frequentes. Por isso, produtos derivados de radar tem maior potencial de uso em regiões com essas características, como é o caso do litoral nordeste, onde a Bacia Paraíba está localizada. Análises morfoestruturais prévias realizadas nessa região (p.e., FURRIER *et al.*, 2006; BEZERRA *et al.*, 2008; ROSSETTI *et al.*, 2011b; ANDRADES FILHO e ROSSETTI, 2012a, 2012b; MAIA E BEZERRA, 2013, 2014) fizeram uso principalmente do modelo digital de elevação (MDE) derivado da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), o qual foi obtido por interferometria de radar de abertura sintética-InSAR na banda C (RABUS *et al.*, 2003). O presente trabalho tem o objetivo de testar a hipótese de controle tectônico no desenvolvimento de sistemas de drenagem da porção norte da Bacia Paraíba por meio de análise morfoestrutural. Para isso, dados foram extraídos do MDE-SRTM considerando seu potencial de uso já demonstrado em outras publicações, os quais foram complementados com informações visualmente interpretadas a partir de imagens de radar de alta resolução espacial, como as derivadas do sensor *Phased*

Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) a bordo do *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS).

Área de estudo

Fisiografia

A área de estudo está localizada na porção oriental do Estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil (Figura 1A). Essa área possui 3107,7 km² e seus limites diagonais abrangem as coordenadas geográficas de 6°43'20" - 7°18'31" de latitude sul e 34°55'56" - 35°21'48" de longitude oeste. O acesso à área é favorecido por densa malha de rodovias pavimentadas, que se estendem pelos municípios de João Pessoa, Sapé, Mamanguape e Rio Tinto (Figura 1B). Os sistemas fluviais principais encontrados na área de estudo ocorrem em sua porção oeste. Estes são dominados pelas bacias do rio Miriri e do curso inferior dos rios Paraíba e Mamanguape, cuja caracterização permanece por ser detalhada na literatura. Todos esses rios têm escoamento para o Oceano Atlântico e encontram-se orientados preferencialmente na direção SW-NE (Figura 1B). Tanto o rio Paraíba, quanto o Mamanguape, apresentam vales amplos, cujas planícies de inundação são mais expressivas que seus cursos atuais, estes restritos a canais com menos de 100 m de largura em seus baixos cursos, i.e., antes de serem amplificados nas zonas estuarinas (Figura 1B).

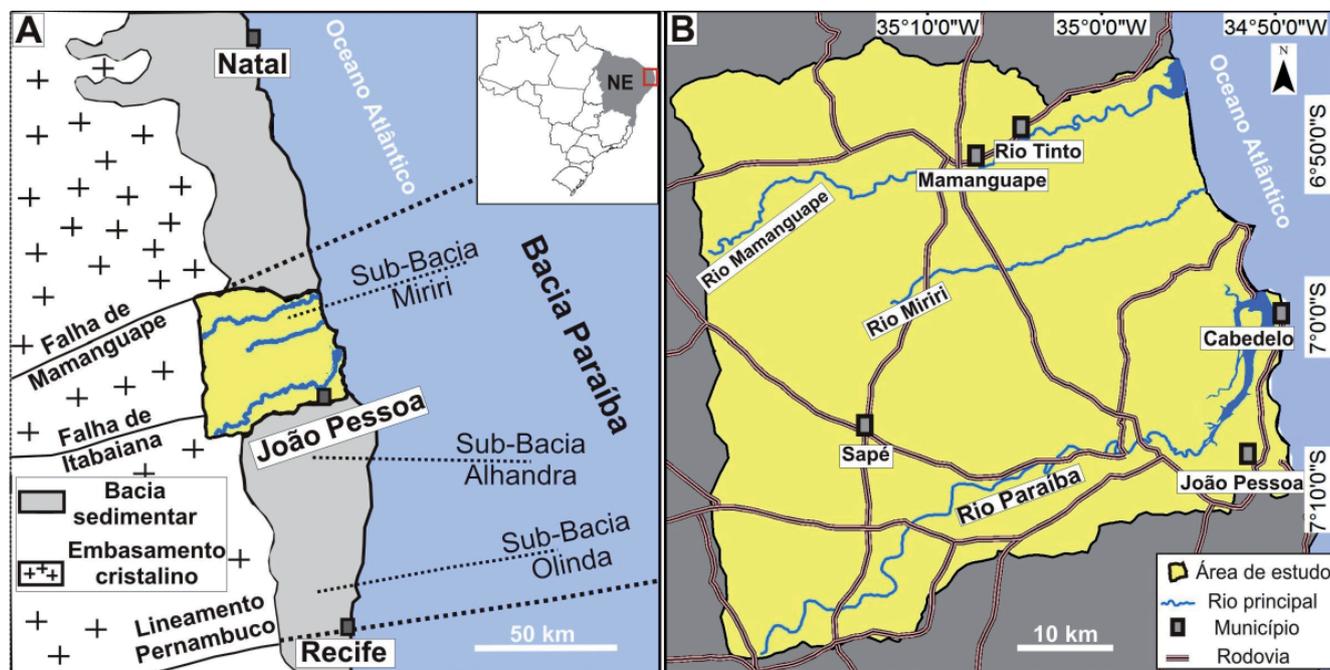


Figura 1 - A) Localização da área de estudo no nordeste brasileiro e seu arcabouço geológico, incluindo estruturas tectônicas principais. B) Localização política da área de estudo no Estado da Paraíba. Fonte: adaptado de Barbosa *et al.* (2003).

Contexto Geológico e Geomorfológico

As litologias da área de estudo consistem em rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, bem como sedimentares cretáceas e cenozoicas da Bacia Paraíba. As primeiras correspondem a terrenos deformados da Província estrutural da Borborema, constituída basicamente por complexos de gnaisses e migmatitos (ALMEIDA *et al.*, 2000; BRITO NEVES *et al.*, 2009), presentes na região oeste da área de estudo (Figura 2). A Bacia Paraíba é limitada pela falha de Mamanguape a norte e pelo lineamento Pernambuco a sul. Com base em critérios estratigráficos, essa bacia foi dividida nas subbacias Miriri a norte, onde a área de estudo está localizada, Alhandra na porção central, e Olinda a sul (BARBOSA *et al.*, 2003; LIMA FILHO *et al.*, 2006) (Figura 1A).

Em superfície, as unidades sedimentares que caracterizam a área de estudo são a Formação Barreiras

(BARBOSA *et al.*, 2003) e os Sedimentos Pós-Barreiras (ROSSETTI *et al.*, 2007, 2012) (Figura 2). A Formação Barreiras, de idade miocênica (ARAI *et al.*, 1988; LEITE *et al.*, 1997; LIMA, 2008), ocorre ao longo de uma extensa faixa da costa brasileira, entre os estados do Rio de Janeiro e Amapá. Primeiramente atribuída a ambientes essencialmente continentais dos tipos fluvial entrelaçado e leque aluvial (p.e., ARAÚJO *et al.*, 2006; MORAIS *et al.*, 2006), a Formação Barreiras foi reinterpretada como formada em uma série de ambientes litorâneos influenciados por correntes de maré, relacionados a sistemas deposicionais estuarinos (ROSSETTI *et al.*, 1990). Tal reconstituição paleoambiental, primeiramente fornecida para a Formação Barreiras exposta ao longo de bacias sedimentares da margem equatorial brasileira, foi estendida para depósitos correlatos aflorantes no nordeste do Brasil (ROSSETTI e GÓES, 2009; ROSSETTI *et al.*, 2013).

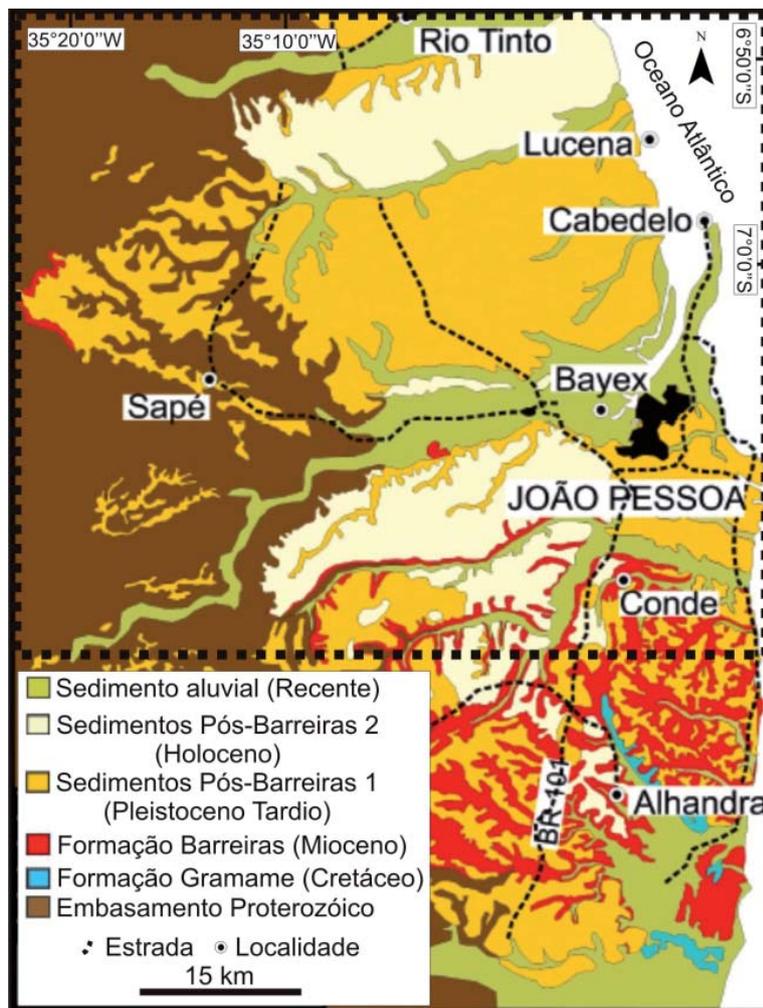


Figura 2 - Mapa geológico da porção oriental do Estado da Paraíba. O polígono tracejado em preto localiza a área de estudo. Fonte: adaptado de Rossetti *et al.* (2012).

Os Sedimentos Pós-Barreiras, de idade pleistocênica tardia a holocênica, ocorrem discordantemente sobre a Formação Barreiras, sendo constituídos por dois intervalos estratigráficos morfologicamente distintos, designados informalmente de unidades PB1 e PB2 (ROSSETTI *et al.*, 2007, 2012). Geologicamente, a unidade PB1 inclui arenitos intercalados com argilitos e conglomerados, comumente contendo fragmentos de concreções ferruginosas derivadas de paleossolos lateríticos que tipificam a discordância basal. Essa unidade é atribuída a ambientes fluvial, fluxos de detritos em leques aluviais e, localmente, marinho raso (ROSSETTI *et al.*, 2012; GANDINI *et al.*, 2014). A unidade PB2 sobrejacente é constituída por sedimentos arenosos, em geral maciços e pelo, menos em grande parte, gerada por processos eólicos (ROSSETTI *et al.*, 2012). Além destes conjuntos, também são encontrados sedimentos aluviais mais recentes associados aos canais fluviais (Figura 2).

As morfologias desenvolvidas sobre o embasamento cristalino, que envolve a porção oeste da área de estudo, são atribuídas ao Planalto da Borborema. Enquanto os tabuleiros litorâneos ocorrem sobre o domínio da cobertura sedimentar da Bacia Paraíba na porção leste da área de estudo. Estas morfologias apresentam leve inclinação de oeste para leste e revelam alternadamente blocos soerguidos e rebaixados de norte a sul, separados pelos principais sistemas fluviais que cortam esta região perpendicularmente à linha de costa (Furrier *et al.*, 2006) (Figuras 1 e 2). O relevo apresenta baixa densidade de drenagem e, embora esteja situado sobre as mesmas unidades sedimentares em algumas regiões, revela diferenças estruturais marcantes, principalmente no referente ao padrão de drenagem regional.

Materiais e Métodos

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir dos seguintes materiais: (i) dados vetoriais de cartas topográficas da porção oriental do Estado da Paraíba; (ii) MDE-SRTM refinados (i.e., 30 m) e variáveis geomorfológicas do projeto TOPODATA; (iii) imagens SAR do sensor PALSAR; e (iv) informações geológicas disponíveis na literatura (p.e., ROSSETTI *et al.*, 2012). A metodologia foi desenvolvida a fim de caracterizar a influência tectônica na área de estudo. Todos os dados foram integrados em um banco de dados georreferenciado no sistema de projeção UTM e *datum* WGS84 e

executados em Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Materiais

Os dados de drenagem foram obtidos em formato vetorial (acesso em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>) a partir de cartas topográficas disponibilizadas pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do exército brasileiro, em escala 1:100.000. As cenas utilizadas correspondem às folhas de Cabedelo (SB.25-Y-A-VI), João Pessoa (SB.25-Y-C-III), Sapé (SB.25-Y-C-II) e Guarabira (SB.25-Y-A-V). As bacias hidrográficas correspondentes aos sistemas fluviais principais da área de estudo também foram obtidas em formato vetorial (acesso em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>). O MDE-SRTM e as variáveis geomorfológicas locais curvatura horizontal e orientação de vertentes foram obtidas do banco de dados TOPODATA (acesso em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata>). Duas cenas de MDE-SRTM e variáveis geomorfológicas locais, já devidamente georreferenciadas, foram necessárias para o recobrimento da área de estudo. A variável geomorfológica não local atribuída à coerência topográfica foi gerada por filtragem de média em janela móvel de dimensão 7x7 (VALERIANO e ROSSETTI, 2011). Também foi utilizada, de maneira subsidiária, uma cena de imagem de radar do sensor PALSAR/ALOS-1, com resolução espacial fina e menor tamanho de pixel (i.e., 12,5 m), datada de 01/08/2007. A imagem PALSAR foi extraída do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde ela foi disponibilizada com processamento no nível 1.5, no modo de imageamento FBD, em polarizações HH e HV, e com ângulo de incidência médio (i.e., *near-far range*) em 34,3°. A imagem foi fonte de referência para validação de elementos morfoestruturais sugeridos nos demais produtos.

Métodos

Mapa da drenagem

O mapa da rede de drenagem foi gerado a partir da integração de dados vetoriais de cartas topográficas, do MDE-SRTM e da coerência topográfica. Inicialmente, os dados vetoriais da drenagem foram convertidos para o sistema de referência geográfica do projeto e ajustados manualmente (complementados e corrigidos), quando necessários, por interpretação visual e edição vetorial. Para isso, utilizou-se, como base, o MDE-SRTM e a

coerência topográfica. Ambos os processamentos foram realizados com auxílio do aplicativo ArcGIS 10. Para as duas cenas do MDE-SRTM, foi gerado um mosaico no aplicativo ENVI 4.7. Em seguida, aplicaram-se paletas de cores e operações de relevo sombreado pelo aplicativo Global Mapper, a fim de realçar as morfologias do relevo e os canais de drenagem. Isto permitiu melhor visualização dessas feições no terreno e posterior edição vetorial dos canais de drenagem ausentes na base da drenagem original.

A vetorização da drenagem também se baseou no uso da variável coerência topográfica (ver Valeriano e Rossetti, 2011). Apenas um pré-processamento foi aplicado nesse produto, que incluiu correção geométrica com base em MDE-SRTM, tendo-se obtido um erro quadrático médio inferior a 0,5 pixels. Com a base vetorial da drenagem corrigida, foi possível elaborar os mapas de drenagem e de densidade de drenagem em escala 1:100.000. A partir do mapa de drenagem, foram identificados, por interpretação visual, os padrões e as anomalias de drenagem com base nos exemplos disponíveis na literatura (p.e., HOWARD, 1967; SOARES e FIORI, 1976; e DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991). Padrões de drenagem foram, ainda, compartimentados por edição vetorial, com auxílio do aplicativo ArcGIS 10.

Mapa de lineamentos

Com o intuito de reunir o maior número de informações possível para se discutir a influência da tectônica nos elementos da paisagem da área de estudo, procedeu-se com o mapeamento de lineamentos morfoestruturais em relevo positivo e negativo. Para isso, utilizaram-se as variáveis geomorfométricas locais de curvatura horizontal e orientação de vertentes, derivadas do TOPODATA. Esses dois produtos já se encontram georreferenciados, sendo que o seu pré-processamento consistiu na geração de um mosaico das cenas no aplicativo ENVI 4.7. No caso da orientação de vertentes, a etapa de pré-processamento consistiu, ainda, na elaboração de paleta circular em níveis de cinza em meio SIG, dada à natureza circular desta variável (VALERIANO, 2007). Isto permitiu melhor visualização dos lineamentos morfoestruturais no terreno.

Os produtos orientação de vertentes e curvatura

horizontal foram utilizados de forma complementar para a extração dos lineamentos morfoestruturais presentes em relevo positivo, enquanto aqueles de relevo negativo foram extraídos integralmente a partir da base vetorial da drenagem corrigida. Em ambos os casos, a vetorização dos lineamentos foi realizada em escala cartográfica fixa (i.e., 1:100.000), com mapeamento apenas dos lineamentos de comprimento maior e/ou igual a 2 cm nessa escala de observação. Isto permitiu a geração dos mapas de lineamentos morfoestruturais e de densidade de lineamentos em escala cartográfica de 1:100.000.

Os dados de lineamentos morfoestruturais foram, ainda, analisados em diagramas de roseta, utilizando frequência absoluta (i.e., número absoluto de lineamentos) e comprimento absoluto (i.e., tamanho absoluto de lineamentos). Os diagramas foram gerados em intervalos de 10° azimutais, com auxílio do aplicativo Spring v.5.2.3.

Resultados

Caracterização das bacias de drenagem

A área de estudo é constituída por três bacias hidrográficas principais, que incluem as bacias dos baixos cursos dos rios Paraíba e Mamanguape, além da bacia do rio Miriri (Figura 3A). Em sua totalidade, a área de estudo revelou valores de densidade de drenagem que variam de 0 a 2,3 km/km², com média de 1,15 km/km² (Figura 3B). Os maiores valores de densidade foram encontrados em sua porção oeste (média de 1,61 km/km²), enquanto na região leste foram registrados os menores valores de densidade de drenagem (em torno de 0,69 km/km²) (Figura 3B). Áreas a oeste com predomínio de litologias do embasamento cristalino apresentaram classes de densidade de drenagem alta e, secundariamente, muito alta. Áreas de cobertura sedimentar registraram classes de densidade de drenagem que variam de média a muito baixa, com predomínio da classe baixa (Figura 3B).

Classes de padrões de drenagem dos tipos dendrítico, treliça e seus subtipos dominam em praticamente 98,8% do total da área de estudo, enquanto somente 1,2% tem drenagem com padrão radial (Tabela 1). Na sequência, apresenta-se a caracterização mais detalhada dos padrões, anomalias e das propriedades de drenagem para cada bacia hidrográfica.

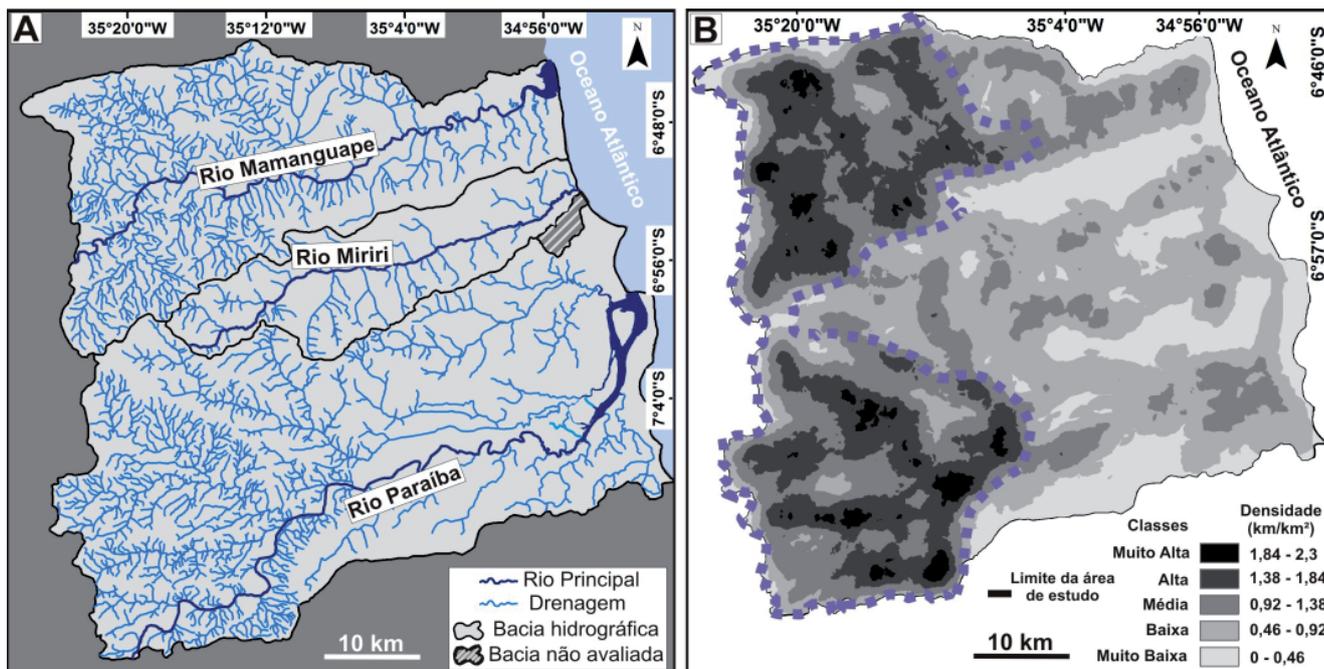


Figura 3 - (A) Bacias hidrográficas principais da área de estudo. (B) Mapa de densidade de drenagem com valores absolutos e classes qualitativas de densidade. Linha tracejada roxa = limite da área com predomínio de embasamento cristalino.

Tabela 1: Padrões de drenagem da área de estudo, com especificação da área e porcentagem de ocorrência.

Padrão de drenagem	Área (km²)	Porcentagem (%)
Dendrítico	395,5	12,7
Subdendrítico	820,7	26,4
Subdendrítico a Treliçado	585,4	18,8
Treliça	355,5	11,4
Treliça Recurvada a Radial	122,2	3,9
Treliça a Subretangular	247,3	7,9
Subtreliça	358,7	11,5
Subtreliça Recurvada	194,1	6,2
Radial	24,4	1,2
Total	3103,8	100

Bacia hidrográfica do baixo curso do rio Paraíba

A bacia do baixo curso do rio Paraíba possui área de 1753,37 km², o que representa mais da metade do total da área de estudo (55,1%). Ao longo dessa área, o

rio Paraíba se estende por cerca de 75 km de extensão, fluindo de SW para NE e com forte inflexão para norte próximo à sua desembocadura. Neste caso, ocorre alargamento do rio, que chega a atingir até 4,3 km de largura. Dos principais afluentes da margem direita do

rio Paraíba destacam-se os rios, Jaguaribe, Sanhauá e Sal Amargo. Na margem esquerda ocorrem os rios Soé, Tapira, Engenho Novo, Una, Açai, Gurinhem, Timbaúba e Santana (Figura 4). A densidade de drenagem na bacia do baixo curso do rio Paraíba variou de muito alta a muito baixa, porém com predomínio das classes média e baixa (Figura 3B).

Na porção oeste da bacia predominam litologias do embasamento cristalino, além de pequenas áreas da Formação Barreiras, que ocorrem de forma restrita nessa região e na porção central da bacia. Já em sua porção leste, há predomínio dos Sedimentos Pós-Barreiras 1 e 2, bem como, de extensa área de sedimentos aluviais de idade mais recente que recobrem a planície do rio Paraíba (Figura 2). De modo geral, a bacia do rio Para-

íba revelou maior diversidade de padrões de drenagem relativamente às demais bacias da área de estudo (ver Figuras 4, 6 e 8). Na porção ocidental dessa bacia, predominam os seguintes padrões, em ordem decrescente de ocorrência: dendrítico, subdendrítico a treliçado, treliça a subretangular, treliça recurvada a radial, subtreliça, subtreliça recurvada e subdendrítico. Por outro lado, na porção oriental ocorrem somente os padrões subdendrítico, subtreliça e subtreliça recurvada. Áreas com domínio de padrões dendrítico, subdendrítico a treliçado e de treliça recurvada a radial da porção norte da bacia ocorrem em continuidade espacial com padrões similares da porção sudoeste das bacias dos rios Mamanguape e Miriri (ver Figuras 6 e 8).

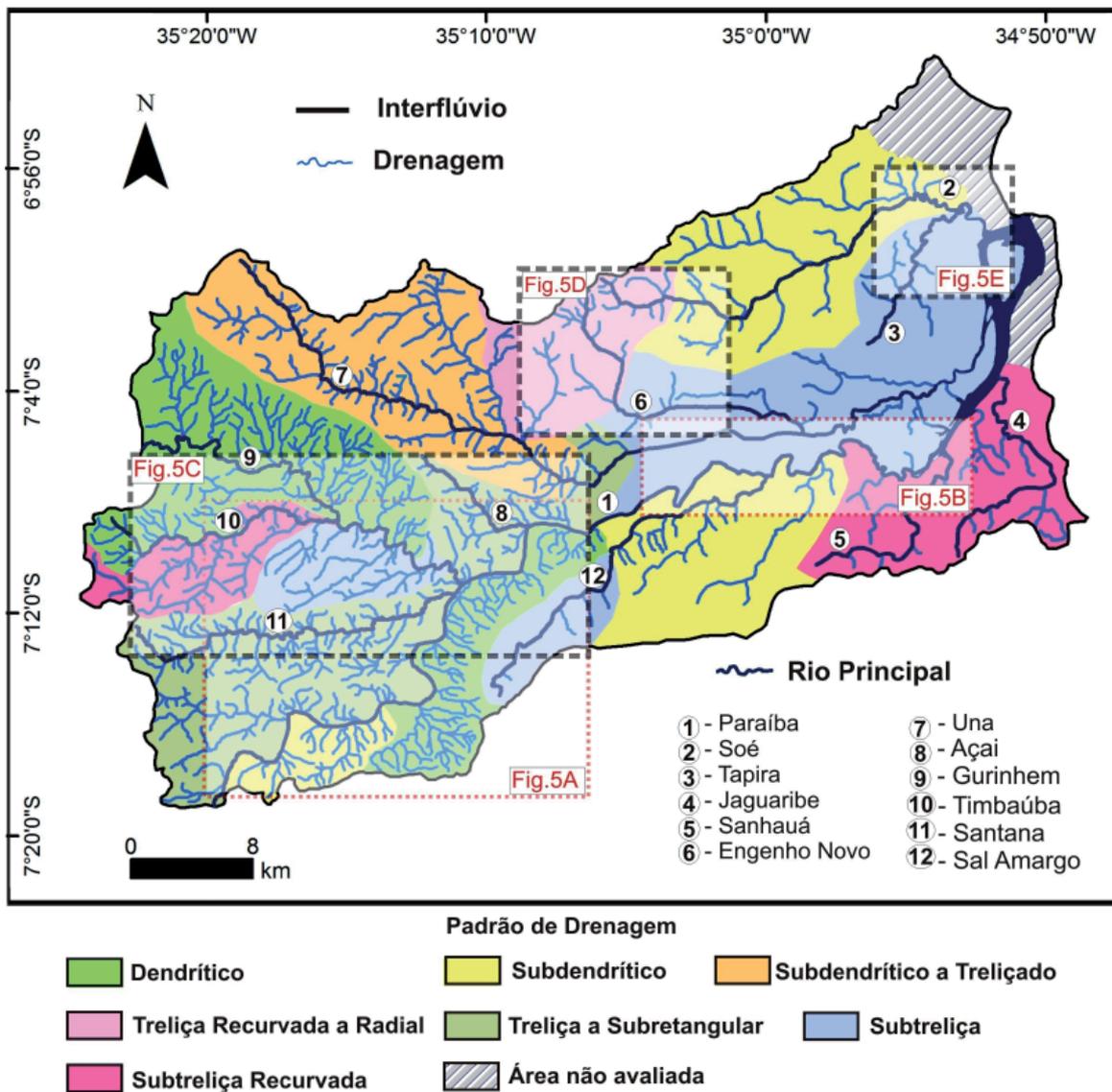


Figura 4 - Distribuição de padrões de drenagem principais na bacia do baixo curso do rio Paraíba.

Diversas anomalias de drenagem foram reconhecidas na bacia do rio Paraíba, com destaque às mudanças bruscas de padrões de drenagem. Este tipo de anomalia ocorre, por exemplo, nas áreas da porção oeste da bacia do rio Paraíba, onde o padrão dendrítico é bruscamente substituído pelos padrões subtreliça recurvada e, a sul, treliça a subretangular (Figura 4). Tal anomalia é ainda mais evidente nas áreas da porção leste dessa bacia, onde o padrão subtreliça que ocorre na porção intermediária da bacia é substituído pelo padrão subtreliça recurvada em seu extremo sudeste (Figura 4).

Observa-se, também, que o rio Paraíba, embora tenha um padrão regional de escoamento de direção geral SW-NE, apresentou várias mudanças bruscas de direcionamento em segmentos locais do seu curso principal. Como exemplo disso, foram registrados amplos meandros isolados que se repetem ao longo desse rio e sugerem anomalias locais configuradas por fortes inflexões em ângulos ortogonais de direção, em geral, NE-SE (círculos brancos na Figura 5A). Outra anomalia de relevância no curso principal do rio Paraíba são meandros comprimidos em sua porção intermediária (setas amarelas na Figura 5B). Porém, a principal anomalia registrada no rio Paraíba ocorre em sua porção terminal, onde este rio sofre forte inflexão em ângulo quase reto de SE para NE (setas vermelhas na Figura 5B).

Os afluentes principais do rio Paraíba também apresentam importantes anomalias de drenagem. Por exemplo, o rio Timbaúba revelou, em seu alto curso, forte inflexão em ângulo ortogonal de SE para NE (Figura 5C). Anomalia similar é registrada, também, no alto curso do rio Santana e no baixo curso do rio Açaí, porém neste último rio ocorre desvio de SE-E (Figura 5C). O rio Santana possui, ainda, inúmeras mudanças bruscas de direcionamento de E para NE, sobretudo em seu curso inferior (Figura 5C). O baixo curso do rio Gurinhem, situado em área de litologia homogênea, se diferenciou dos demais rios adjacentes por ter apresentado forte meandramento ao longo de todo o seu curso inferior (Figura 5C).

Em relação aos tributários da porção norte da bacia do rio Paraíba, observa-se que o rio Engenho Novo, em seu médio curso, possui anomalia local definida por inflexão em ângulo reto, com desvio de

direção SE para S, e então novamente para SE (círculo branco na Figura 5D). Por fim, anomalias definidas por meandros comprimidos ocorrem na região de confluência fluvial dos rios Soé e Tapira, no extremo nordeste da bacia (Figura 5E).

Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Mamanguape

A bacia hidrográfica do baixo curso do rio Mamanguape possui área de 1008,13 km², o que equivale a 31,7 % do total da área de estudo. Dentre os principais afluentes da margem esquerda desse rio estão os rios Seco, Mata-Fome, Leite-Mirim, Itapororoca, Guandu e Araçaji, enquanto que em sua margem direita desagüam os rios Cascata e Cuité (Figura 6). Classes de densidade de drenagem média e baixa também são predominantes na bacia do rio Mamanguape, exceto em algumas áreas onde a densidade varia de muito alta a muito baixa (Figura 3B). Os rios da porção oeste da bacia percorrem áreas com domínio de litologias do embasamento cristalino, entretanto, existem pequenas áreas com depósitos da Formação Barreiras no extremo sudoeste desta área. Já os rios da porção leste da bacia percorrem áreas de domínio das unidades Pós-Barreiras 1 e 2, bem como de sedimentos aluviais que recobrem a planície do rio Mamanguape (Figura 2).

Similarmente ao rio Paraíba, anomalias de drenagem configuradas por mudança brusca de padrões também estão presentes em abundância na bacia do rio Mamanguape. Assim, em sua porção oeste, onde há predomínio de rochas do embasamento cristalino, ocorrem áreas dominadas por padrão subdendrítico, que é bruscamente substituído pelos padrões subdendrítico a treliçado na porção norte desta área, e pelo padrão dendrítico no extremo sudoeste da bacia (Figura 6). Além disso, apesar da representatividade do padrão subdendrítico a treliçado, este configurado por junção de canais em ângulos agudos a retos sobre uma extensa área da porção norte dessa bacia, observa-se, em sua porção central, canais fluviais encurvados em padrão radial (Figura 6).

Anomalias de drenagem no alto curso dos rios Cascata e Cuité incluem inflexões em ângulos reto e obtuso, que redirecionam o curso do primeiro rio de WSW-ENE para N e do segundo de NE para N (Figura

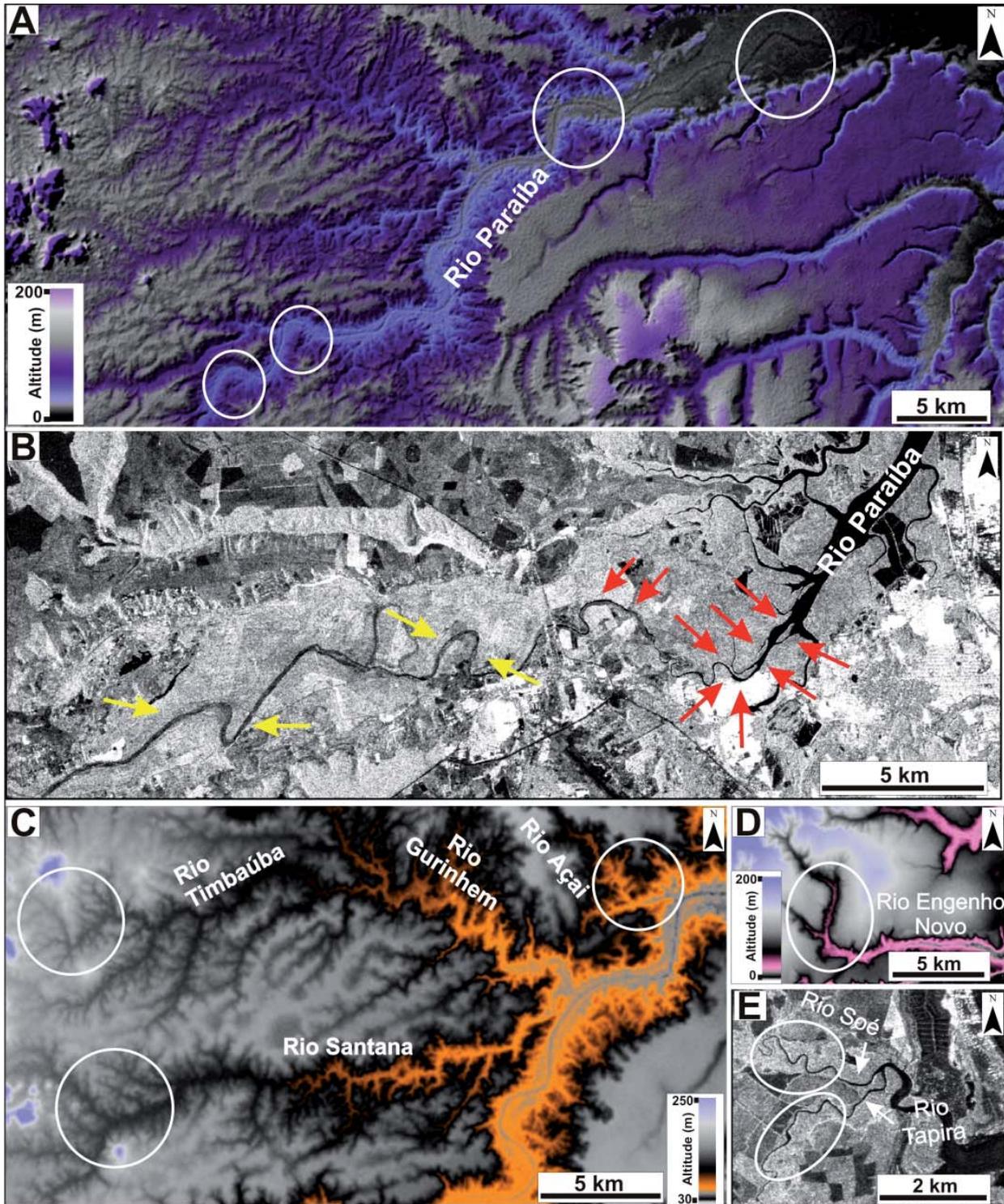


Figura 5 - Detalhes de anomalias de drenagem no curso principal do rio Paraíba e em seus principais afluentes (ver localização da área na Figura 4). A) Vista geral de amplos meandros com fortes inflexões em ângulos ortogonais (círculos brancos) em MDE-SRTM com paleta de cores personalizada e relevo sombreado. B) Imagem PALSAR na polarização HH, que ilustra meandros comprimidos (setas amarelas) e forte inflexão do rio Paraíba em ângulo quase reto (setas vermelhas), que redirecionou seu curso terminal de SE para NE. C) MDE-SRTM ilustrando anomalias de drenagem definidas por inflexões em ângulos retos (círculos brancos) nos rios Timbaúba, Santana e Açai. Notar, no canto superior direito dessa figura, a junção em 90° do rio Paraíba. D) MDE-SRTM ilustrando detalhe de inflexão em ângulo reto (círculo branco) no médio curso do rio Engenho Novo da porção norte da bacia. E) Imagem PALSAR na polarização HH com detalhe de meandros comprimidos (círculos brancos) na confluência dos rios Soé e Tapira.

7A). Anomalia similar à do rio Cascata ocorre, também, no curso inferior do rio Araçaji, porém com mudança do seu curso para NE-SE (Figura 7A). Na porção intermediária da bacia, o rio Mamanguape sofre forte inflexão em ângulo reto, onde o seu curso, de orientação SE, muda para S, NE e daí para N, definindo assim, a geometria de um quadrado aberto para NE (setas brancas na Figura 7A). Ainda no domínio do padrão subdendrítico, observam-se anomalias locais definidas por inflexões em ângulos obtusos, que redirecionam o curso inferior dos rios Mata-Fome e Leite-Mirim de SE para E (Figuras 6 e 7A). Essas anomalias se refletem nos tributários adjacentes, de padrão dendrítico, que também seguem a mesma orientação, sugerindo lineamento morfoestrutural de direção WSW-ENE, levemente encurvado.

Na porção norte da bacia, com domínio de padrão subdendrítico a treliçado, ocorre curva anômala que se estende por cerca de 3,5 km no médio e baixo curso do rio Guandu (Figura 7B). Da mesma forma, essa anomalia se reflete no médio curso do rio Itapororoca

e no alto curso do rio Seco (círculos brancos na Figura 7B). Finalmente, amplos meandros isolados e comprimidos ocorrem na porção terminal do rio Mamanguape (Figura 7C).

Bacia hidrográfica do rio Miriri

Com uma área de 401,57 km², a bacia hidrográfica do rio Miriri representa somente 12,6% do total da área de estudo. Este rio é menos extenso que os rios Paraíba e Mamanguape, apresentando apenas 51 km de extensão, além de ter classes de densidade de drenagem que variam de média a muito baixa, com predomínio da classe baixa (Figura 3B).

O rio Miriri também difere dos demais por escoar principalmente sobre depósitos correspondentes aos Sedimentos Pós-Barreiras (região central e nordeste), enquanto litologias do embasamento cristalino ocorrem somente em pequenas áreas do extremo sudoeste desta

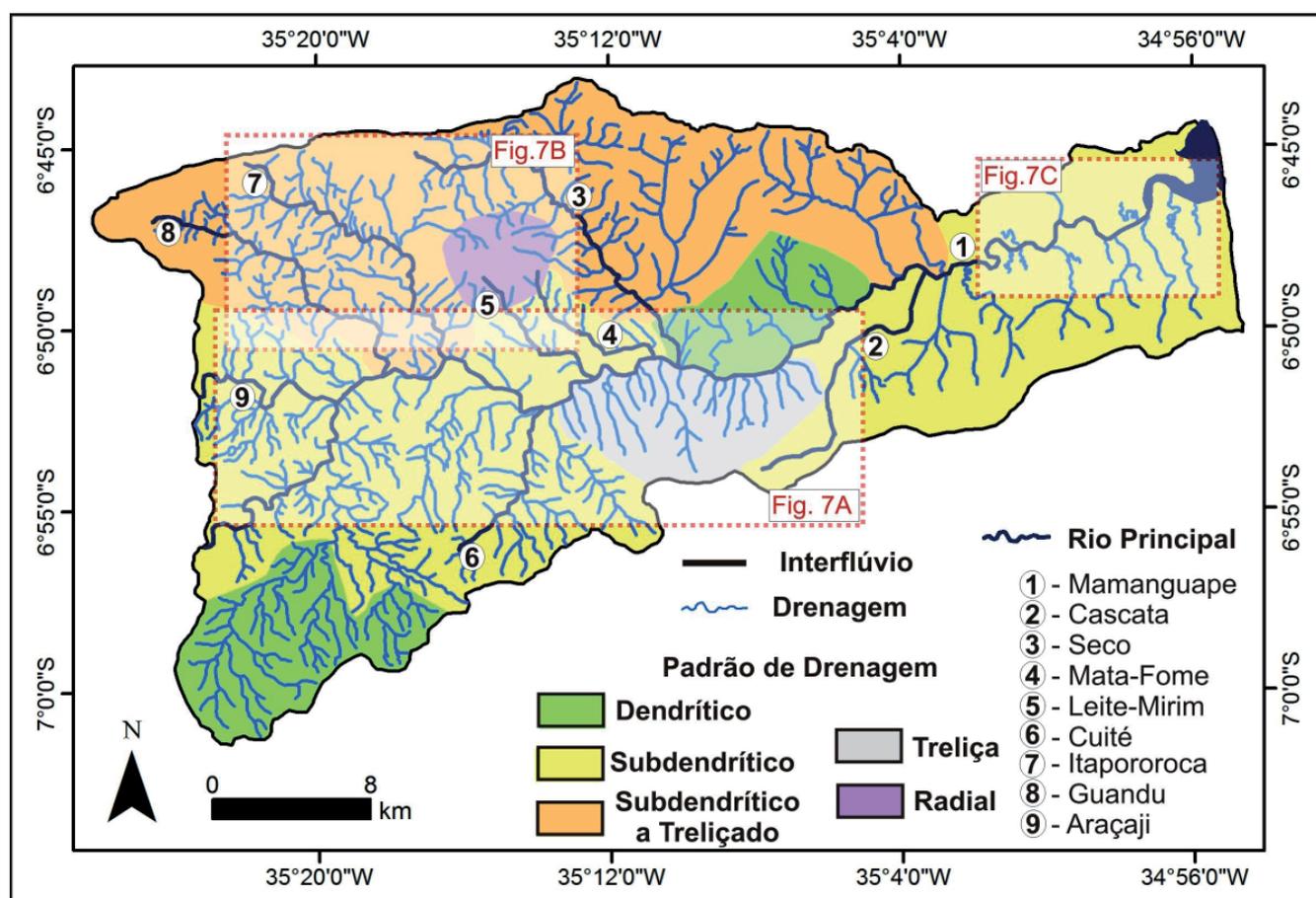


Figura 6 - Distribuição dos padrões de drenagem principais da bacia do baixo curso do rio Mamanguape.

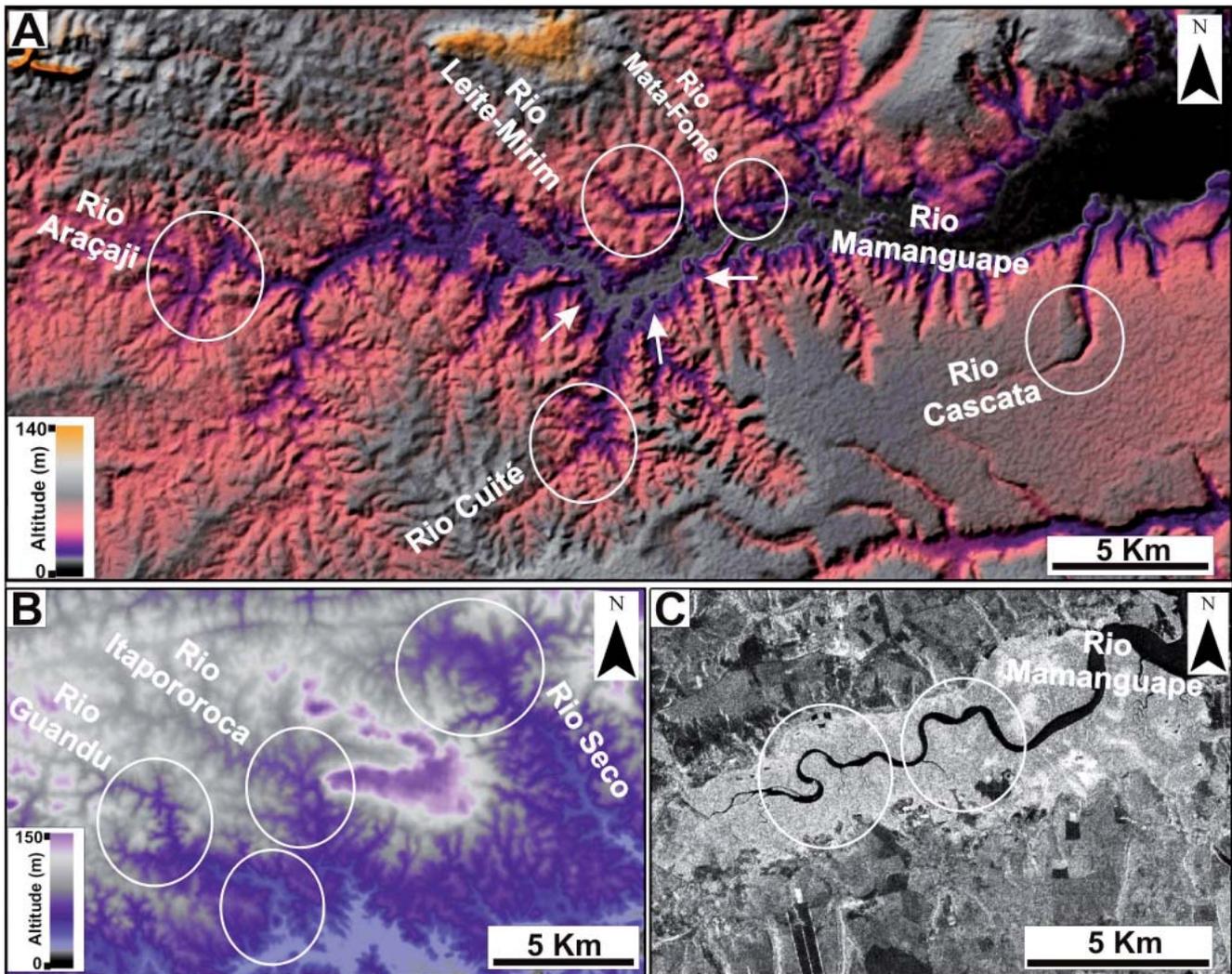


Figura 7 - Anomalias de drenagem da bacia do baixo curso do rio Mamanguape (ver localização na Figura 6). A) Visão geral das anomalias de drenagem do rio Mamanguape e de seus tributários principais em relevo sombreado e paleta de cores personalizada do MDE-SRTM. Notar mudanças bruscas e ortogonais do rio principal (setas brancas) e inflexões em ângulos retos e obtusos dos tributários (círculos brancos). B) MDE-SRTM com detalhe de curvas anômalas (círculos) dos afluentes da porção norte da bacia. C) Imagem PALSAR na polarização HH, que ilustra amplos meandros isolados e comprimidos, alguns com mudanças de cursos ortogonais (círculos) na porção terminal do rio Mamanguape.

bacia (Figura 2). Pequenas áreas de sedimentos aluviais associadas à planície do rio Miriri ocorrem localmente.

O alto curso do rio Miriri apresentou rede de drenagem com junção de canais fluviais que variam de ângulos agudos a retos e configuram padrão subden-drítico treliçado (Figura 8). Este padrão é bruscamente substituído, na porção sudoeste desta bacia, por padrão treliça recurvada a radial. Em contrapartida, na maior parte dessa bacia hidrográfica, o padrão de drenagem dominante é o treliça, que está em continuidade espacial com o padrão similar da porção sul da bacia do rio Mamanguape adjacente (Figura 6).

Tributários da margem esquerda do alto curso do rio Miriri sofrem forte inflexão em ângulos retos a obtusos, o que resulta em mudança de curso de NE para SE (setas vermelhas na Figura 8). Estas anomalias de drenagem também se refletem nos tributários do médio curso do rio Miriri, que registraram desvios de cursos com orientação aproximadamente similar (setas amarelas na Figura 8). Somente em um pequeno trecho do curso inferior do rio Miriri foram identificadas características anômalas típicas como meandramento localizado, contrariamente aos segmentos de drenagem levemente retilíneos a montante dessa área (Figura 8).

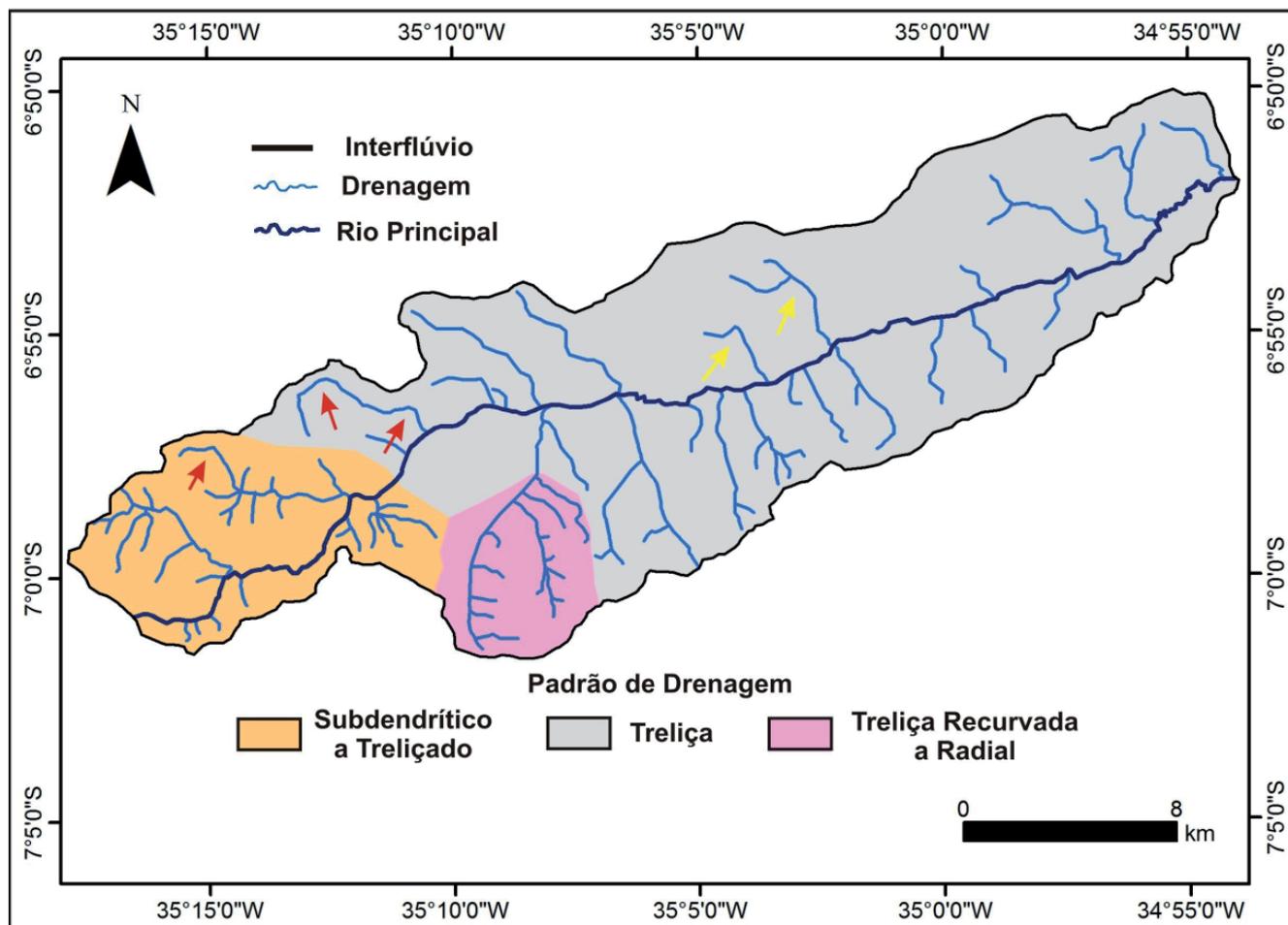


Figura 8 - Distribuição dos padrões de drenagem principais da bacia do rio Miriri. Setas vermelhas e amarelas indicam locais com fortes inflexões em ângulos retos a obtusos na margem esquerda do alto e médio cursos do rio Miriri, respectivamente.

Lineamentos morfoestruturais

A análise da rede de drenagem da área de estudo revelou uma complexidade de lineamentos morfoestruturais. O mapa de lineamentos morfoestruturais indica que esses elementos não ocorrem distribuídos uniformemente na totalidade da área de estudo (Figura 9A), ou seja, o número de lineamentos morfoestruturais é maior na porção oeste da área relativamente à sua porção leste. Tal situação é bem representada no mapa de densidade de lineamentos morfoestruturais (Figura 9B).

A totalidade da área de estudo apresentou valores de densidade de lineamentos que variam de 0 a 1,97 km/km², com média de 0,98 km/km² (Figura 9B). Os maiores valores ocorrem na porção oeste e variam em torno de 1,37 km/km². Na porção leste, registrou-se os menores valores de densidade de lineamentos, com média de 0,59 km/km², ou seja, menos da metade dos

valores encontrados na porção oeste.

Classes de densidade de lineamentos, que variam de média a muito alta, com predomínio da classe alta, foram registradas na porção oeste da área de estudo, ou seja, no domínio do embasamento cristalino, embora no extremo norte e centro-sul desta área ocorram, também, pequenas áreas caracterizadas por baixa densidade de lineamentos (Figura 9B). Áreas com cobertura sedimentar apresentaram distribuição espacial mais complexa nas classes de densidade de lineamentos (Figura 9B). Em geral, dominam classes de densidade média a muito baixa, com predomínio da classe baixa, exceto em pequenas áreas no extremo norte e sul da cobertura sedimentar, onde ocorrem classes de densidade de lineamentos que variam de alta a muito alta.

Os diagramas de roseta resultantes das informações estatísticas dos lineamentos morfoestruturais

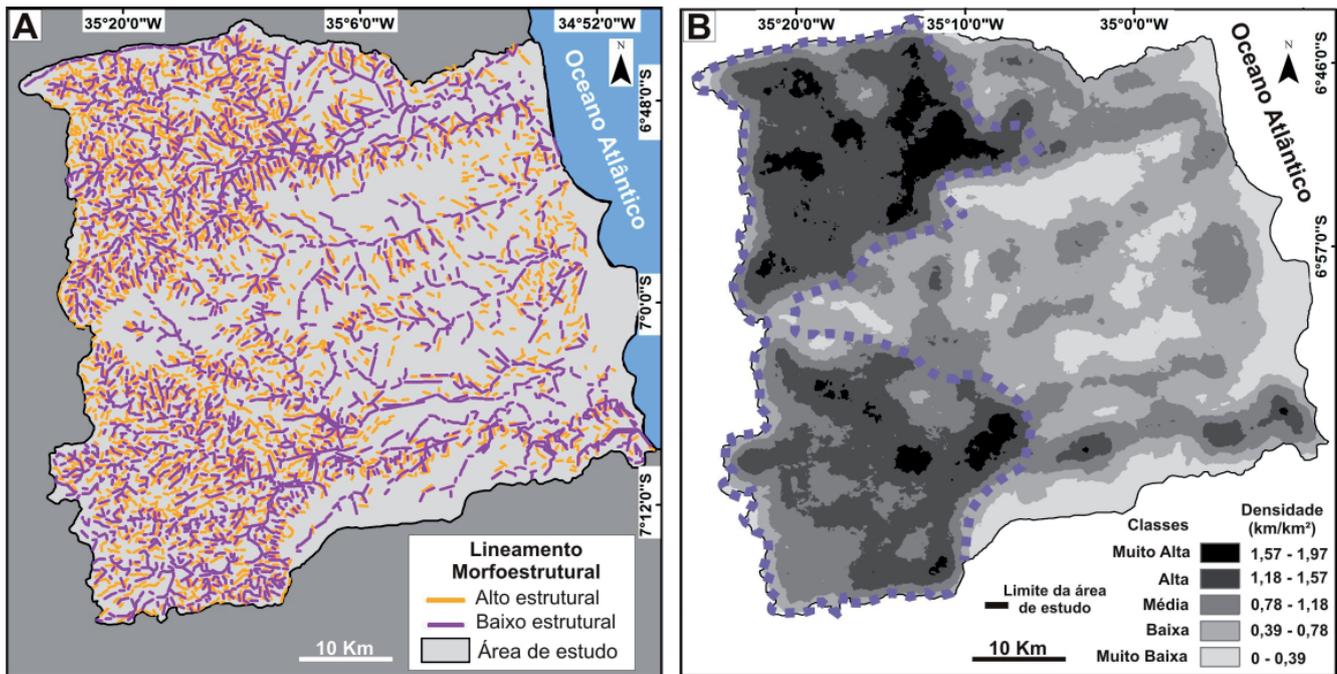


Figura 9 - A) Mapa de lineamentos morfoestruturais combinando drenagem e relevo em escala 1:100.000. B) Mapa de densidade de lineamentos morfoestruturais, com valores absolutos e classes qualitativas de densidade. Linha tracejada roxa = limite entre embasamento cristalino a oeste e depósitos sedimentares a leste.

mostram resultados variáveis nos diversos compartimentos geológicos (i.e., embasamento cristalino, Sedimentos Pós-Barreiras 1 e 2 e sedimentos aluviais) (Figura 10). Áreas com domínio da Formação Barreiras foram desconsideradas desta análise direcional, uma vez que essas litologias ocorrem de forma restrita em superfície. De modo geral, observa-se forte correspondência entre as modas, tanto da frequência, quanto do comprimento absoluto, dos lineamentos extraídos de todas as unidades geológicas, o que reflete na consistência em seus direcionamentos (Figura 10). Em todos os compartimentos geológicos ocorre pelo menos uma das duas modas principais de direções E-W e NNW-S-SE (Figura 10). É evidente, ainda, a presença significativa de lineamentos de direções NE-SW e NW-SE nas áreas tanto de domínio do embasamento cristalino, quanto de cobertura sedimentar. Outro detalhe importante é que lineamentos de direção N-S ocorrem com grande representatividade nas áreas do embasamento cristalino, contrariamente às demais unidades geológicas, onde esta moda é menos expressiva (Figura 10). Já as rosetas revelaram, em sua totalidade, direções E-W e N-S, que correspondem às modas principais das áreas de domínio do embasamento cristalino.

Lineamentos de direções E-W predominam em áreas do embasamento cristalino, seguido das modas principais N-S, NE-SW e, secundariamente, NW-SE. Áreas com predomínio dos Sedimentos Pós-Barreiras 1 registraram modas principais de direções NNW-SSE e NE-SW e, subordinadamente, N-S e E-W. Áreas onde dominam os Sedimentos Pós-Barreiras 2 registraram essas mesmas orientações de lineamentos (Figura 10). As modas correspondentes aos aluviões recentes incluem direções E-W e NE-SW e, secundariamente, NW-SE e N-S.

Discussão

A análise de elementos da paisagem, como drenagem e lineamentos morfoestruturais extraídos com base em produtos de sensoriamento remoto, permitiu evidenciar que atividades tectônicas foram importantes na construção do relevo da área de estudo.

A caracterização da rede de drenagem permitiu reunir evidências compatíveis com áreas sujeitas a deformações tectônicas. Isto é sugerido com base na análise dos padrões de drenagem. Assim, vários setores da área de estudo revelaram padrões como o treliça e

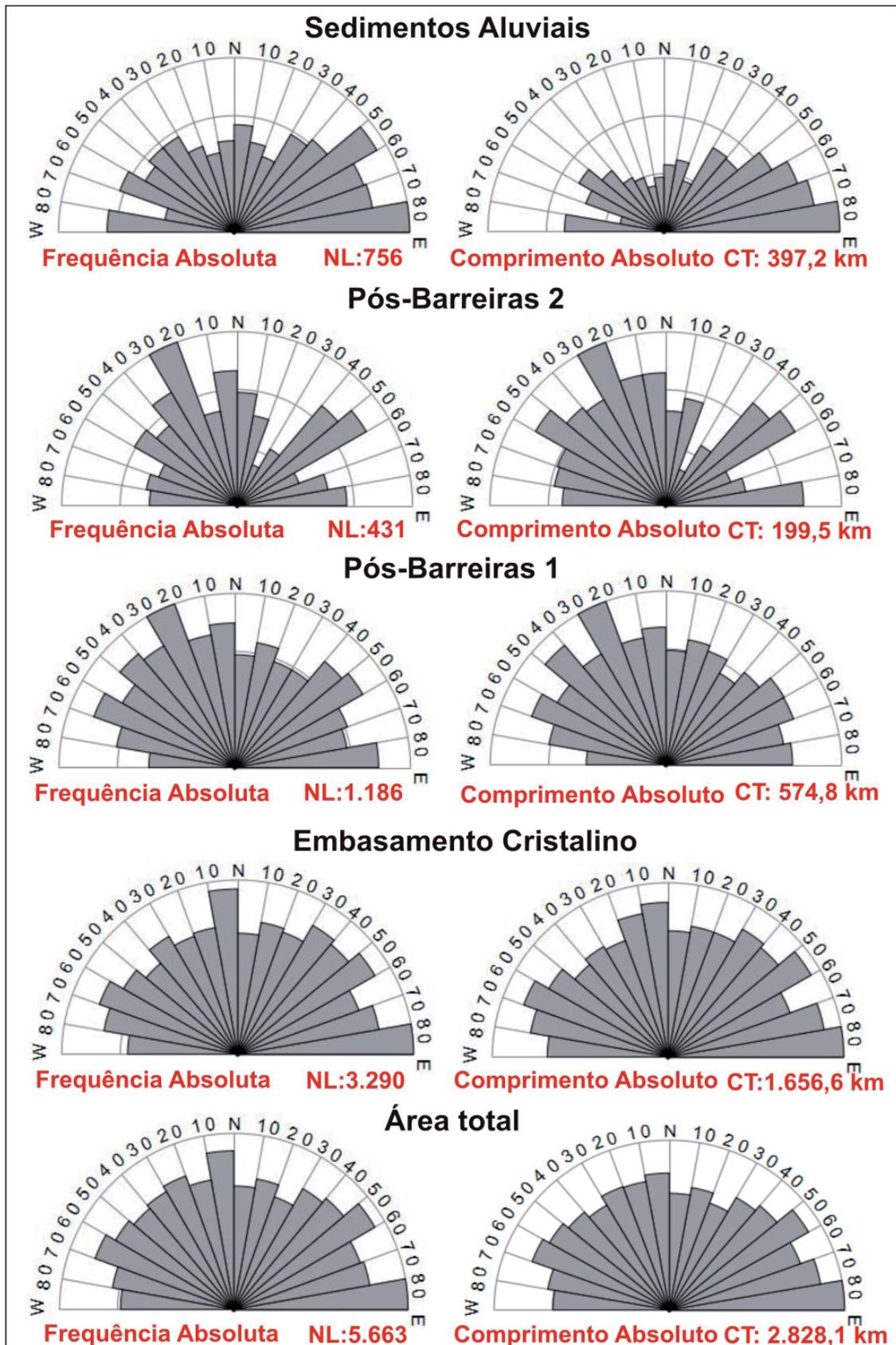


Figura 10 - Diagramas de roseta segundo frequência e comprimento absoluto dos lineamentos morfoestruturais extraídos dos compartimentos geológicos da área de estudo. NL e CT correspondem ao número (NL) e comprimento (CT) total de lineamentos morfoestruturais.

subtipos associados e radial. Embora não exclusivos, esses padrões de drenagem são comumente associados a terrenos falhados e/ou dobrados (p.e., HOWARD, 1967; DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991). Dentre os padrões de drenagem com forte controle estrutural, o treliça recurvada a radial, presente na porção central das bacias dos rios Paraíba e Miriri, merece destaque. Isto porque características como fortes desvios de drenagem, representados por canais com curvaturas pronunciadas, podem refletir, embora não exclusivamente, terrenos dobrados, como já verificado para várias outras áreas localizadas a sul do rio Paraíba (p.e., ROSSETTI *et al.*, 2009). Isto foi constatado pela associação de tais padrões com relevo fortemente ondulado e, por vezes dômico, em áreas com exposições de depósitos neógenos e pleistocênicos contendo sinclinais e anticlinais (ROSSETTI *et al.*, 2009, 2011b; ANDRADES FILHO, 2014; BEZERRA *et al.*, 2014). De acordo com esses autores, essas dobras atestam que a Bacia Paraíba esteve sujeita a esforços compressivos, que provavelmente estão associados a movimentos transcorrentes, durante sua evolução tardia pós-rifte.

Para o caso da área de estudo, o padrão de drenagem em treliça recurvada a radial nas bacias dos rios Paraíba e Miriri ocorre em associação a uma morfologia dômica de natureza expressiva. Tendo em vista essas características, e levando em consideração as publicações supracitadas, pode-se inferir que tais feições refletem estruturação produzida por dobramento.

Além do padrão de drenagem em treliça recurvada a radial discutido acima, todas as bacias da área de estudo apresentam um amplo registro de anomalias de drenagem, que incluem: (i) mudança brusca de padrões dentro de uma mesma bacia hidrográfica; (ii) canais com inflexões em ângulos retos a obtusos, como, por exemplo, no rio Mamanguape, onde o canal principal forma desvio em alto ângulo que define geometria de quadrado aberto; (iii) meandros isolados e comprimidos; (iv) curvas anômalas, como aquelas registradas nos rios Seco, Itapororoca e Guandu; (v) meandros localizados, como, por exemplo, no curso inferior do rio Miriri, sendo que a montante dessa área o canal é predominantemente retilíneo; e (vi) segmentos retilíneos atribuídos a lineamentos de drenagem que sugerem encaixe dos rios, possivelmente associados a linhas de falhas. Vários autores associam esses tipos de anomalias a atividades tectônicas (HOWARD, 1967; DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991; SUMMERFIELD, 1991).

Anomalias constituídas por mudanças bruscas de padrão de drenagem ocorrem de forma expressiva na porção oeste da área de estudo, onde há rochas do embasamento cristalino. Exemplo disso foi a transição abrupta do padrão dendrítico para os padrões subtreliça recurvada e treliça a subretangular em direção ao alto curso do rio Santana na porção oeste da bacia do rio Paraíba. Levando em consideração a ausência de contrastes litológicos significativos, essa anomalia, combinada à forte inflexão em ângulo ortogonal no curso do rio referido, sugere área influenciada por deformações tectônicas. Anomalias similares em áreas de cobertura sedimentar permitem inferir reativações tectônicas relativamente recentes, isto é, concomitante ou, até mesmo, após a deposição dos Sedimentos Pós-Barreiras. Isto é revelado, por exemplo, por mudança de padrão subtreliça para subtreliça recurvada em direção ao extremo sudeste da bacia do rio Paraíba, onde há também forte redirecionamento do curso desse rio em ângulo ortogonal e seu alargamento abrupto.

Evidências adicionais de atividades tectônicas foram sugeridas com base em anomalias configuradas por inflexões em ângulos retos a obtusos em vários canais das bacias de drenagem estudadas. No curso principal do rio Paraíba, por exemplo, são frequentes inflexões com sucessivas mudanças de curso em ângulos retos que variam de NE para SE. Inflexões com direção similar às do rio Paraíba também ocorrem em abundância nos rios Mamanguape, Miriri e seus tributários. Interpretase que essas anomalias estejam, muito possivelmente, associadas com falhas de direções NE-SW e NW-SE. Reativação tectônica cenozoica na Bacia Paraíba (p.e., BRITO NEVES *et al.*, 2004, BEZERRA *et al.*, 2008; BRITO NEVES *et al.*, 2009; BEZERRA *et al.*, 2014) poderiam ter sido responsáveis pelas frequentes capturas dessas drenagens. O forte desvio em ângulo ortogonal do alto curso do rio Santana, como mencionado anteriormente, pode ser relacionado a falhas transcorrentes já registradas nessa localidade (BEZERRA *et al.*, 2008). Feições similares às aqui descritas ocorrem associadas a processos de captura de drenagem por causa tectônica (p.e., HOWARD, 1967; DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991; SUMMERFIELD, 1991). Como descrito previamente na literatura, o ponto de captura é frequentemente indicado em superfície por forte mudança na direção do canal, geralmente na forma de cotovelo, i.e., em alto ângulo (SUMMERFIELD, 1991).

Amplios meandros isolados e comprimidos nas

porções terminais dos cursos dos rios Paraíba, Mamanguape, Soé e Tapira (ver Figuras 5 e 7) também sugerem controle tectônico. É provável que tais feições reflitam ajustes locais dos rios frente à movimentação de blocos tectônicos. Essa interpretação é condizente com o fato dessas anomalias ocorrerem em áreas cuja morfologia remete a vales gerados por tectônica distensiva, como os dos rios Paraíba e Mamanguape, como sugerido em publicações prévias (p.e., BRITO NEVES *et al.*, 2004; BEZERRA *et al.*, 2008; BRITO NEVES *et al.*, 2009). A alta sinuosidade registrada nos baixos cursos desses rios é compatível com controle estrutural. Estudos realizados em sistemas fluviais da porção centro-oeste dos Estados Unidos registraram aumento de sinuosidade de canais fluviais por mudança no gradiente de rios causada por subsidência tectônica (p.e., ADAMS, 1980; DOORNKAMP, 1986).

O registro de atividade tectônica em sistemas de drenagem, não apenas da Bacia Paraíba, mas também de outras bacias sedimentares marginais do litoral nordestino, tem sido crescente (p.e., ANDRADES FILHO, 2010; MOURA-LIMA *et al.*, 2010; ANDRADES FILHO e ROSSETTI, 2012b; MAIA e BEZERRA, 2013, 2014; BEZERRA *et al.*, 2014). Nessas áreas, bem como na área deste estudo, o registro expressivo de anomalias de drenagem similares em áreas do embasamento cristalino e em terrenos sedimentares adjacentes, suporta reativação de estruturas antigas do embasamento em tempos geológicos mais recentes.

A análise de lineamentos morfoestruturais, extraídos dos relevos positivo e negativo a partir de produtos do sensoriamento remoto, adicionalmente evidencia influência tectônica na evolução do relevo da área de estudo. Isto porque a análise estatística dos lineamentos extraídos nos diferentes compartimentos geológicos revelou modas em direções compatíveis com a orientação de falhas regionais, conforme será discutido a seguir. Porém, não se descarta a hipótese de que um pequeno conjunto desses lineamentos esteja associado a cristas de dobras, dada a provável ocorrência dessas estruturas na área de estudo.

O fato das áreas da porção oeste, onde há rochas do embasamento cristalino, terem revelado classes de densidade mais elevadas relativamente às áreas da porção leste, foi atribuído à sua idade mais antiga. Terrenos mais antigos tem maior probabilidade de exposição a atividades tectônicas, sendo que algumas pré-datam a fase de estabelecimento da bacia sedimentar (Suguio e

Martin, 1996). Nesse raciocínio, esperava-se redução na concentração de lineamentos em estratos mais jovens. Porém, o registro de maior densidade de lineamentos em áreas com sedimentos aluviais recentes, como por exemplo nos vales dos rios Paraíba e Mamanguape (ver Figura 9B), relativamente aos demais compartimentos sedimentares da área de estudo, sugere locais sujeitos à influência de eventos tectônicos de maior intensidade.

Lineamentos com moda principal de direção E-W nas rosetas da área total são compatíveis com a maior contribuição de lineamentos extraídos em áreas do embasamento cristalino (ver Figura 10). Nessas áreas, a maior expressividade de lineamentos de orientação E-W está de acordo com orientação similar de antigas zonas de cisalhamento pré-cambrianas. Essas incluem falhas de direções predominantemente E-W a ENE-WSW (BRITO NEVES *et al.*, 2004; BEZERRA *et al.*, 2014). Também foi expressiva a ocorrência de lineamentos de direção principal E-W nas áreas constituídas por depósitos aluvionares de idade mais recente (ver Figura 10). Esses lineamentos, também compatíveis com a orientação de zonas de falhas pré-cambrianas, sugerem reativações tectônicas em tempos geológicos muito recentes, i.e., no Holoceno.

Lineamentos de direções principais NNW-SSE e NE-SW nas rosetas dos depósitos quaternários, i.e., Sedimentos Pós-Barreiras 1 e 2, podem estar associados com reativações de estruturas pré-existentes do embasamento cristalino, onde tais orientações foram também observadas (p.e., BRITO NEVES *et al.*, 2009; BEZERRA *et al.*, 2014). Reativações de falhas com orientações similares foram registradas na porção sudoeste da bacia do rio Paraíba, onde ocorre uma morfoestrutura designada de *graben* de Cariatá (BEZERRA *et al.*, 2008). De acordo com esses autores, o evento mais recente de falhamento nesse *graben* teria ocorrido no Pleistoceno Tardio. Além disso, conjunto de falhas de direção NNW-SSE foram registradas na subbacia de Alhandra, ao sul da área de estudo, onde ocorrem somente rochas sedimentares (BRITO NEVES *et al.*, 2009).

Lineamentos de direção N-S também foram documentados em áreas do embasamento cristalino, onde ocorrem com moda secundária. Esses lineamentos foram pouco frequentes nas áreas de cobertura sedimentar. Lineamentos com essa direção já haviam sido identificados em áreas de cobertura sedimentar na porção central da Bacia Paraíba (ANDRADES FILHO, 2010). Para esse autor, a ocorrência desses lineamentos

apenas em áreas de cobertura sedimentar foi interpretada como sugestiva da geração de novas estruturas em tempos geologicamente recentes. Entretanto, no caso da área de estudo, o mais provável é que os lineamentos N-S na cobertura sedimentar resultem de reativações de estruturas pré-existentes, já que esses lineamentos foram também registrados no embasamento cristalino adjacente.

Vários autores vêm demonstrando a importância de eventos tectônicos cenozoicos pós-rifte em depósitos neogênicos e quaternários, não apenas da Bacia Paraíba (p.e., LIMA FILHO *et al.*, 2006; MENESES *et al.*, 2006; ANDRADES FILHO, 2010; ROSSETTI *et al.*, 2011b; BEZERRA *et al.*, 2014), mas também de outras bacias marginais do litoral nordestino (p.e., LIMA, 2000; SAADI *et al.*, 2005; NOGUEIRA *et al.*, 2006; MOURA-LIMA *et al.*, 2010; MAIA e BEZERRA, 2013, 2014). Na Bacia Paraíba, a ampla ocorrência de sismos em depósitos pleistocênicos tardios (ROSSETTI *et al.*, 2011a) reforça essas interpretações.

Conclusões

As técnicas e produtos do sensoriamento remoto utilizados no presente trabalho foram favoráveis à caracterização morfoestrutural das bacias de drenagem da porção norte da Bacia Paraíba, o que permitiu evidenciar forte controle tectônico no seu desenvolvimento. Isto foi sugerido pelas seguintes feições presentes em todas as três bacias de drenagem analisadas: padrões de drenagem anômalos, principalmente o treliça e subtipos associados; abundância de anomalias de drenagem, incluindo fortes inflexões em ângulos ortogonais sugerindo captura de drenagens induzida pelo fator tectônico; meandros isolados e comprimidos; e lineamentos morfoestruturais com orientação compatível com estruturas tectônicas regionais do nordeste brasileiro. O registro de tais feições confirma a interpretação de que processos tectônicos tiveram papel fundamental no estabelecimento da paisagem da porção norte da Bacia Paraíba. Esses processos foram decorrentes da atuação de esforços distensivos e compressivos, expressos por estruturas tectônicas como falhas e dobras em áreas, tanto do embasamento cristalino, quanto da cobertura sedimentar quaternária. Nestas últimas áreas, sugere-se que o registro de estruturas similares está associado à reativação tectônica pós-rifte de estruturas pré-existentes, em tempos geológicos relativamente recentes, isto é,

durante, ou até mesmo após a deposição dos Sedimentos Pós-Barreiras 1 no Pleistoceno Tardio.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, e à FAPESP, pelo financiamento desta pesquisa (Projeto # 2012/06010-5).

Referências Bibliográficas

- ADAMS, J. Active tilting of the United States midcontinent: Geodetic and geomorphic evidence. **Geology**, v. 8, p. 442-446, 1980.
- ALMEIDA, F.F.M.; BRITO NEVES, B.B.; CARNEIRO, C.D.R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth Science Reviews**, v. 50, n.1-2, p. 77-111, 2000.
- ANDRADES FILHO, C.O. **Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. 2010. 177 p. (INPE-16717-TDI/1655). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2010.
- ANDRADES FILHO, C.O.; ROSSETTI, D.F. Effectiveness of SRTM and ALOS-PALSAR data for identifying morphostructural lineaments in northeastern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 4, p. 1058-1077, 2012a.
- ANDRADES FILHO, C.O.; ROSSETTI, D.F. Caracterização morfoestrutural da parte central emergida da bacia Paraíba (PB). **Revista brasileira de geociências**, v. 31, n. 1, p. 13-29, 2012b.
- ANDRADES FILHO, C.O. **Evolução tectono-sedimentar da Formação Barreiras e dos Sedimentos Pós-Barreiras, Bacia Paraíba, Nordeste do Brasil**. 2014. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2014.
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. (SBG), 1988, Belém, Pará, **Anais...** Belém: SBG, 1988, v. 2, p. 738-752.
- ARAÚJO, V.D.; REYES-PERES, Y.A.; LIMA, R.O.; PELOSI, A.P.M.R.; MENEZES, L.; CÓRDOBA, V.C.; LIMA-FILHO, F.P. Fácies e sistemas deposicionais da Formação Barreiras na região da Barreira do Inferno, litoral oriental do Rio Grande do Norte. **Geologia USP Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 43-50, 2006.

- BARBOSA, J.A.; SOUZA, E.M.; LIMA FILHO, M.; NEUMANN, V.H. A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89-108, 2003.
- BEZERRA, F.H.R.; NEVES, B.B.B.; CORREA, A.C.B.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - The Cariatá trough, northeastern Brazil. **Geomorphology**, v. 97, n.3-4, p. 555-582, 2008.
- BEZERRA, F.H.R.; ROSSETTI, D.F.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, W.E.; BRITO NEVES, B.B.; BALSAMO, F.; NOGUEIRA, F.C.C.; DANTAS, E.L.; ANDRADES FILHO, C.; GÓES, A.M. Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. **Tectonophysics**, v. 614, p. 78-90, 2014.
- BRITO NEVES, B.B.; RICCOMINI, C.; FERNANDES, T.M.G.; SANT'ANNA, L.G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 1, n. 34, p. 127-134, 2004.
- BRITO NEVES, B.B.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; COUTINHO, J.M.V.; BEZERRA, F.H.R. Novos dados geológicos e geofísicos para caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra (sudeste da Paraíba). **Geologia USP-Série Científica**, v. 9, n. 2, p. 63-87, 2009.
- DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, v. 194, n. 3, p. 237-263, 1991.
- DOORNKAMP, J.C. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. **Journal of the geological society**, v. 143, p. 335-342, 1986.
- FURRIER, M.; ARAUJO, M.E.; MENESES, L.F. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geologia USP - Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 61-70, 2006.
- GANDINI, R.; ROSSETTI, D.F.; NETTO, R.G.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M. Neotectonic evolution of the Brazilian northeastern continental margin based on sedimentary facies and ichnology. **Quaternary Research**, v. 82, p. 462-472, 2014.
- HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 51, n. 11, p. 2.246-2.259, 1967.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 2, p. 37-72, 1956.
- KING, L.C. **The morphology of the earth**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1967. 699 p.
- LIMA, C.C.U. O neotectonismo na costa do sudeste e do nordeste brasileiro. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 15, p. 91-101, 2000.
- LIMA FILHO, M.F.; BARBOSA, J.A.; SOUZA, E.M. Eventos tectônicos e sedimentares nas Bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebraamento do Gondwana e correlação com a Bacia do rio Muni. **Revista de Geociências**, v. 25, n. 1, p. 117-126, 2006.
- LIMA, M.G. **A história do Intemperismo na província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: Implicações Paleoclimáticas e Tectônicas**. Natal, 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
- LEITE, F.P.R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.; OLIVEIRA, P.E.; SILVESTRECAPELATO, M.S.; ARAI, M.; RTUCKENBRODT, W. Palinofloras miocenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, na Região Bragantina, Estado do Pará, Brasil. **Revista Universidade de Guarulhos, Geociências**, n.2, p. 128-140, 1997.
- MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Tectônica Pós-Miocênica e controle estrutural de drenagem no rio Apodi-Mossoró, Nordeste do Brasil. **Boletim da geografia, Maringá**, v. 31, n. 2, p. 57-68, 2013.
- MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Inversão neotectônica do relevo na Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 61-74, 2014.
- MENESES, L.F.; PEDROSA, E.C.T.; FURRIER, M. Evidências de Influência tectônica no padrão de drenagem da APA Tambaba-PB. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6. 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UGB, 2006. P. 1-9.
- MORAIS, R.M.O.; MELLO, C.L.; COSTA, F.O.; SANTOS, P.F. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da formação barreiras no Estado do Rio de Janeiro. **Geologia USP Série Científica**, v. 6, p. 19-30, 2006.
- MOURA-LIMA, E.N.; SOUSA, M.O.L.; BEZERRA, F.H.R.; AQUINO, M.A.; VIEIRA, M.M.; LIMA-FILHO, F.P.; FONSECA, V.P. & AMARAL, R.F. 2010. Sedimentação e Deformação Tectônica Cenozoicas na Porção Central da Bacia Potiguar. **Geologia USP: Série Científica**. São Paulo, 2010.
- NOGUEIRA, F.C.C.; BEZERRA, F.H.R.; CASTRO, D.L. Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. **Geologia USP Série Científica**, v. 6, p. 51-59, 2006.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms.

- GSA Bulletin**, v. 87, p. 1.463-1.469, 1976.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTY, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.
- 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.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M. Correlação estratigráfica da "Formação Barreiras" no nordeste e norte do Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 11. (ABEQUA), 2007, Belém. **Anais...** São Paulo: ABEQUA, 2007. p. 1-3.
- ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; BEZERRA, F.H.R.; BRITO NEVES, B.B.; GÓES, A.M. Caracterização morfológica da porção sul da Sub-bacia de Alhandra, Bacia Paraíba, com base em dados SRTM: contribuição na compreensão do arcabouço estrutural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3325-3332. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-16006-PRE/10615).
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A.M. Marine influence in the Barreiras Formation, state of Alagoas, Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, p. 741-755, 2009.
- ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.; GÓES, A.M.; BRITO NEVES, B.B. Sediment deformation in Miocene and post-Miocene strata, Northeastern Brazil: evidence for paleoseismicity in a passive margin. **Sedimentary Geology**, v. 235, p. 172-187, 2011a.
- 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: landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 300, p. 191-204, 2011b.
- ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; BEZERRA, F.H.; VALERIANO, M.M.; BRITO NEVES, B.B.; OCHOA, F.L. Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 2, p. 313-334, 2012.
- ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; DOMINGUEZ, J.M.L. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth Science Reviews**, v. 123, p. 87-112, 2013.
- SAADI, A.; BEZERRA, F.H.R.; COSTA, R.D.; IGREJA, H.L.S.; FRANZINELLI, E. Neotectônica da Plataforma Brasileira. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. **Quaternário do Brasil**. São Paulo: Editora Holos, 1º edição, 2005. cap.10, p 1-31.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, p. 71-104, 1976.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. The role of neotectonics in the evolution of the brazilian coast. **Geonomos**, v. 4, p. 45-53, 1996.
- SUMMERFIELD, M.A. **Global geomorphology: an introduction to the study of landforms**. New York: Logman Scientific & Technical, 1991. 537 p.
- VALERIANO, M.M. Visualização de imagens topográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 1.377-1.384. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16557-PRE/11130).
- VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F. Análise digital do padrão de coerência da orientação de vertentes em terrenos planos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13. (ABEQUA), 2011, Búzios. **Anais...** São Paulo: ABEQUA, 2011. p. 1-5.