

Sedimentação e Deformação Tectônica Cenozoicas na Porção Central da Bacia Potiguar

Cenozoic Sedimentation and Tectonic Deformation in the Central Part of the Potiguar Basin

Elissandra Nascimento Moura-Lima^{1,2} (elissandramoura@yahoo.com), Maria Osvalneide Lucena Sousa³ (molucena@geologia.ufrn.br), Francisco Hilário Rego Bezerra^{1,4} (bezerrafh@geologia.ufrn.br), Milena Rocha de Aquino⁵ (maquino@te.cprm.gov.br), Marcela Marques Vieira⁴ (marcela@geologia.ufrn.br), Francisco Pinheiro Lima-Filho^{1,4} (pinheiro@geologia.ufrn.br), Vanildo Pereira da Fonseca⁴ (vanildo@ufrnet.br), Ricardo Farias do Amaral^{1,4} (ric@ufrnet.br)

¹Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica - CCET - UFRN
Caixa Postal 1.596 - Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal, RN, BR

²Bolsista (doutoranda) Agência Nacional do Petróleo

³Bolsista CNPq/CTPETRO - UFRN, Natal, RN, BR

⁴Departamento de Geologia - CCET - UFRN, Natal, RN, BR

⁵Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Teresina, PI, BR

Recebido em 12 de janeiro de 2009; aceito em 18 de setembro de 2009

RESUMO

As coberturas sedimentares cenozoicas ocorrem ao longo de toda costa brasileira e frequentemente são descritas informalmente como uma unidade única. Quanto à evolução tectônica, os estudos sobre as bacias sedimentares brasileiras se concentram em sua fase rifte, enquanto a fase pós-rifte tem sido considerada um período de pouca atividade. Na Bacia Potiguar, embora as unidades cretáceas pós-rifte sejam bem investigadas, as coberturas sedimentares neogênicas e quaternárias, incluindo suas identificação e diferenciação, são pobremente conhecidas. Alguns trabalhos anteriores têm demonstrado que unidades sedimentares pós-rifte aparentemente não deformadas exibem um complexo padrão deformacional em todas as escalas de observação, contudo o estudo dessa deformação geralmente não tem abrangido as coberturas neogênicas e quaternárias. O principal objetivo deste estudo é a caracterização de unidades sedimentares cenozoicas aflorantes e da tectônica associada, na porção central da Bacia Potiguar, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O estudo se concentrou na descrição da Formação Barreiras e coberturas aluviais quaternárias, depósitos marinhos e eólicos, na escala 1:100.000. Análises de fácies, estudos granulométricos e datação por luminescência foram realizados. Dez unidades sedimentares litoestratigráficas informais e formais foram descritas, em adição ao embasamento cristalino pré-cambriano. Os principais resultados indicam que muitos depósitos aluviais quaternários eram anteriormente mapeados como a Formação Barreiras, de idade miocênica. Foi possível determinar os novos limites dos depósitos sedimentares quaternários e sua relação com unidades mais antigas. Adicionalmente, foi possível identificar os maiores sistemas de falhas na bacia, que apresentam direções NW-SE e NE-SW, que coincidem com as macroformas do relevo. Assim, estes maiores sistemas de falha, especialmente o sistema de direção NW-SE, controla a deposição de unidades sedimentares cenozoicas.

Palavras-chave: Tectônica; Bacia Potiguar; Cenozoico.

ABSTRACT

Neogene and Quaternary sedimentary covers occur along the Brazilian coast and have been frequently described together as a single unit. The study of Brazilian sedimentary basins concentrates on their rift phase, whereas the post-rift phase has been considered a tectonic quiescent period. In the Potiguar basin, although post-rift Cretaceous units are well investigated, the Neogene and Quaternary sedimentary covers, as well as their identification and differentiation, are still

poorly known. A few previous studies have demonstrated that post-rift sedimentary units with no apparent deformation have a complex deformation pattern in all scales of observation. The study of this deformation, however, did not include Neogene and Quaternary units. The main aim of the present study is the characterization of Neogene and Quaternary sedimentary units that outcrop in the central part of the Potiguar Basin, State of Rio Grande do Norte, Brazil, and related tectonics. The study has concentrated on the description of the Barreiras Formation and overlying Quaternary alluvial, marine, and aeolian deposits at 1:100,000 scale. Facies analyses, grain size studies, and luminescence dating were carried out. Ten informal and formal lithostratigraphic sedimentary units were described, in addition to the Precambrian crystalline basement. The main results indicate that several Quaternary alluvial deposits were previously mapped as the Miocene Barreiras Formation. It was possible to locate the new boundaries of the Quaternary sedimentary deposits and their stratigraphic relationships with older units. In addition, it was possible to identify the major fault systems in the basin that show NW- and NE-trending directions, which coincide with macro landforms. It follows that these major fault systems, mainly the NW-trending system, control the deposition of Neogene and Quaternary sedimentary units.

Keywords: Tectonics; Potiguar basin; Cenozoic.

INTRODUÇÃO

Grande parte dos estudos das bacias sedimentares da margem continental brasileira concentra-se na sua fase ríft. Em várias regiões, os movimentos crustais pós-ríft, em especial do Pós-Oligoceno, são pouco ou nada investigados, acarretando a falsa ideia de que tais bacias representam áreas estáveis (Bezerra et al., 2008). Quando cartografadas, em muitos casos, as falhas cenozoicas descritas limitam-se às feições de mesoescala não relacionadas ao relevo. Dessa forma, o período pós-ríft tem sido considerado um período de poucas falhas, sem expressão topográfica ou influência na sedimentação.

Coberturas sedimentares neogênicas e quaternárias ocorrem em todas as bacias sedimentares do Brasil, mas são normalmente agrupadas como uma única unidade informal, denominada “Coberturas sedimentares cenozoicas, terciárias ou quaternárias”. Algumas tentativas já têm sido feitas para diferenciar esses depósitos de unidades mais antigas, tendo como base suas características sedimentares, possíveis controles locais das áreas fontes, sistemas deposicionais e cronologia absoluta (e.g., Rossetti, 2004; Rozo et al., 2005).

A exemplo do que acontece em outras bacias da margem continental do Brasil, o estudo das unidades litoestratigráficas da sequência pós-ríft na Bacia Potiguar concentrou-se nas unidades cretáceas: as formações Açú e Jandaíra. As coberturas neogênicas e quaternárias, no entanto, foram pouco abordadas e geralmente são agrupadas como Formação Barreiras e Coberturas Quaternárias (Figura 1).

Até o presente, foi dada pouca importância ao padrão de deformação em superfície na Bacia Potiguar. Tem sido comum apenas a identificação em escala regional de alguns lineamentos, que, em geral, são traçados no embasamento cristalino e interrompidos no contato com a Bacia Potiguar, sugerindo que certas estruturas não afetam

tal bacia. Entretanto numerosos trabalhos (e.g., Hackspacher et al., 1985; Bezerra e Vita-Finzi, 2000; Bezerra et al., 2001; Nogueira, Bezerra, Castro, 2006) têm demonstrado que as rochas aparentemente não deformadas apresentam, na verdade, um complexo padrão estrutural em todas as escalas de observação.

Este trabalho tem como objetivo a diferenciação de depósitos sedimentares cenozoicos aflorantes na porção central da Bacia Potiguar e, ainda, o reconhecimento de estruturas tectônicas que afetam esses depósitos. A caracterização das unidades neogênicas e quaternárias e de sua deformação pode possibilitar o reconhecimento da influência das reativações de grandes sistemas de falhas nos processos deposicionais e pós-deposicionais destas unidades.

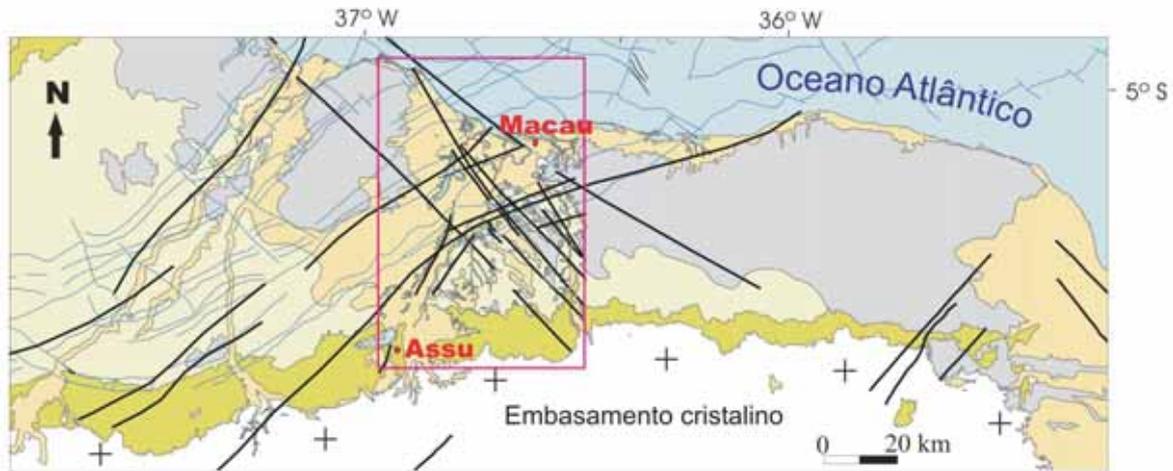
A área estudada está localizada na porção centro-setentrional do Rio Grande do Norte, entre os paralelos 04° 55' - 05° 39' de latitude sul e os meridianos 36° 30' - 37° 00' de longitude oeste (Figura 1). Exceto a porção abaixo da latitude 05° 30' S, a área corresponde às cartas topográficas da SUDENE SB24-X-D-II e SB24-X-V (Folha Macau).

O mapeamento geológico foi realizado originalmente na escala 1:100.000, com auxílio de imagens de satélite e radar e de um mapa base obtido a partir da compilação preliminar de 17 mapas geológicos derivados de relatórios de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado feitos na área da Folha Macau, além da descrição de mais de 700 afloramentos (Bezerra et al., 2006).

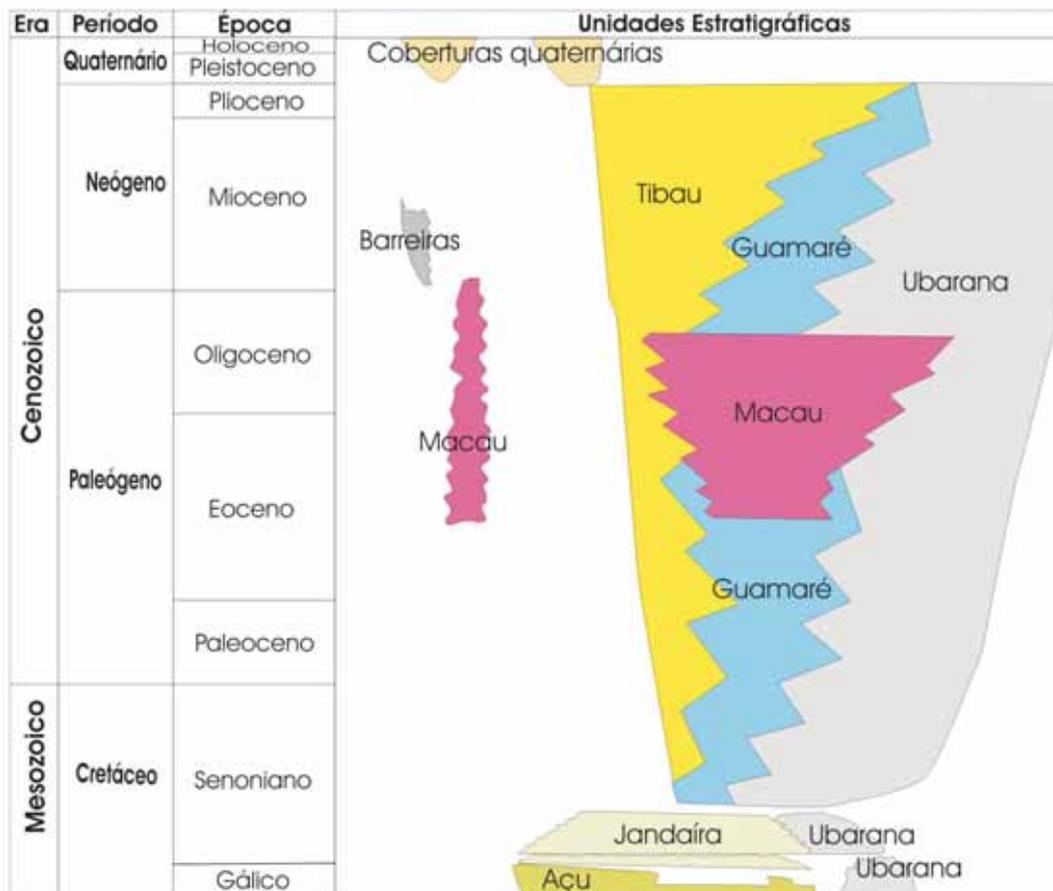
CONTEXTO GEOLÓGICO

Unidades geológicas

A área estudada engloba rochas pré-cambrianas dos grupos Caicó e Seridó, sequências vulcanossedimentares mesozoicas-cenozoicas relacionadas à Bacia Potiguar e



A



B

Figura 1. A. Localização da área de estudo, em relação à Bacia Potiguar (mapa resultante da integração simplificada de vários mapas anteriores). B. Parte da coluna estratificada da Bacia Potiguar, abrangendo unidades ilustradas no mapa da Figura 1A (simplificada de Araripe e Feijó, 1994).

registros sedimentares continentais e costeiros neogênicos e quaternários.

O substrato da Bacia Potiguar é caracterizado pela ocorrência de rochas gnáissico-migmatíticas do Grupo Caicó, rochas supracrustais do Grupo Seridó e corpos graníticos neles intrusivos. Estas unidades caracterizam a Faixa Seridó, um dos domínios da Província Borborema (Almeida, Brito Neves, Carneiro, 2000).

As rochas da Bacia Potiguar estão divididas em três grupos (Souza, 1982; Araripe e Feijó, 1994): Areia Branca, Apodi e Agulha. O Grupo Areia Branca possui conteúdo predominantemente siliciclástico e ocorre sobreposto ao embasamento cristalino de forma discordante, reunindo as formações Pendência, Pescada e Alagamar, de idades que variam desde o Valanginiano ao Paleo-Albiano. O Grupo Apodi é formado por rochas siliciclásticas e carbonáticas das formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra, que datam do Albiano ao Campaniano. Rochas siliciclásticas e carbonáticas do Grupo Agulha, que abrange as formações Ubarana, Guamaré, Tibau e Barreiras, foram depositadas no intervalo de tempo que varia do Campaniano ao Plioceno. Associados a estas unidades litoestratigráficas sedimentares, ocorreram eventos magmáticos: Magmatismo Rio Ceará-Mirim (Toarciano ao Albiano), Magmatismo Serra do Cuó (Santoniano e Campaniano) e Magmatismo Macau (Oligoceno ao Mioceno).

Desta sequência vulcanossedimentar, quatro unidades litoestratigráficas mesozoico-cenozoicas afloram: formações Açú, Jandaíra e Barreiras, e Magmatismo Macau. Apenas as duas últimas unidades citadas são de idade cenozoica, portanto objetos de estudo deste artigo, que ainda inclui as coberturas sedimentares quaternárias.

As rochas máficas relacionadas ao Magmatismo Macau formam corpos subvulcânicos a vulcânicos. Na área plataformal, os derrames de olivina basaltos atingem espessuras da ordem dos 1.500 m na região dos *canyons* submersos (Araripe e Feijó, 1994). Estudos de microfósseis (Souza, 1982) em unidades sedimentares intercaladas ao pacote vulcânico permitiram posicionar este magmatismo entre o Oligoceno e Mioceno. Datações recentes, utilizando o método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, forneceram idades de $24,6 \pm 0,8$ Ma (Souza et al., 2003) para as rochas do *neck* vulcânico do Pico do Cabugi (Lages-RN); pulsos vulcânicos datados em 17 Ma foram encontrados em poços na porção submersa da Bacia Potiguar (Araripe e Feijó, 1994; Mizusaki et al., 2002).

A Formação Barreiras recobre rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas e rochas sedimentares cretáceas do Grupo Apodi. Estudos em diferentes regiões do Brasil sugeriram que os sedimentos da Formação Barreiras foram depositados em um sistema fluvial entrelaçado, associado a leques aluviais (Morais et al., 2006), com influência de

marés na porção mais distal do sistema (Arai, 2006; Rosseti, 2006) ou ainda fluvial meandrante a estuarino (Araújo et al., 2006).

A idade das rochas da Formação Barreiras ainda é motivo de debate, embora sua correlação com o Grupo Agulha seja a mais aceita. Lima (2008) atribuiu idades que variam entre 17 e 22 Ma para as rochas da Formação Barreiras, utilizando a datação de óxidos de manganês e óxidos/hidróxidos de ferro supergênicos por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e (U,Th)/He, respectivamente, o que permitiu determinar a idade de precipitação destes minerais. Arai (2006) encontrou resultados semelhantes através da datação do conteúdo microfossilífero da Formação Barreiras, em seu estudo sobre a origem desta formação.

De modo geral, as coberturas sedimentares neogênicas e quaternárias pós-Formação Barreiras da Bacia Potiguar são simplificadas em mapas como “Coberturas Cenozoicas”. Mais recentemente, Mont’Alverne et al. (1998) diferenciaram essas coberturas nas seguintes unidades: Paleodunas, Paleocascalheiras, Depósitos de praias, Depósitos de lagoas, Depósitos de planícies e canais de marés e, por fim, Depósitos Aluvionares. Angelim, Medeiros e Nesi (2006) renomearam esses depósitos e precisaram ainda mais os limites de suas ocorrências.

Tectonismo cenozoico

O tectonismo cenozoico na Bacia Potiguar é representado principalmente por reativação de falhas da fase rifte (Sistema de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra, NE-SW e NW-SE, respectivamente, por exemplo) e dobramentos com grandes comprimentos de onda e eixos orientados na direção N-S. Estas deformações são resultantes de esforços compressivos E-W que afetaram a bacia (Cremonini, 1993) e reativações tectônicas associadas a intrusões básicas da Formação Macau (Oliveira, 1998).

Sousa e Bezerra (2005) caracterizaram dois campos de tensões de idade pós-rifte na Bacia Potiguar. O primeiro atuou do Campaniano ao Mioceno e o segundo do Plioceno ao Holoceno. O primeiro campo afetou apenas as formações Açú e Jandaíra, até o final do Vulcanismo Macau e o início da deposição da Formação Barreiras, no Mioceno-Plioceno. Esta fase foi dominada por compressão predominantemente sub-horizontal de orientação aproximada N-S e distensão aproximada E-W. Provavelmente, este foi o mais importante campo de tensão na fase pós-rifte do ponto de vista de deformação, devido às estruturas com penetratividade e ampla distribuição na bacia. O segundo campo de tensões tem atuado do Plioceno ao Holoceno, sendo o único campo a ser observado na Formação Barreiras e sedimentos neogênicos e quaternários. Este campo de tensões é caracterizado por

distensão de direção aproximada N-S, desenvolvido em um domínio transcorrente (Bezerra e Vita-Finzi, 2000; Sousa e Bezerra, 2005). Lima, Nascimento e Assumpção (1997) e Ferreira et al. (1998) descreveram um campo de tensões atual que coincide com o campo pós-paleogênico supracitado através de estudos envolvendo *breakout* e sismologia, respectivamente. A exemplo do que acontece no Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989; Sant'Anna, Schorscher, Riccomini, 1997; Riccomini e Assumpção, 1999), admite-se que variações destes dois campos de tensão são possíveis. No entanto estudos realizados na Bacia Potiguar (Bezerra e Vita-Finzi, 2000; Sousa e Bezerra, 2005) não verificaram essas variações provavelmente devido à escassez de determinações geocronológicas em depósitos neogênicos e quaternários.

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS NEOGÊNICAS E QUATERNÁRIAS

Magmatismo Macau

Na área estudada, os poucos afloramentos do Magmatismo Macau se concentram principalmente nas porções NE e SW (Figura 2), sendo representado por diabásios e basaltos, com textura fanerítica fina à afanítica, em forma de *plugs* e derrames; também podem apresentar estruturas vesiculares e xenólitos de rochas ultrabásicas. Na região centro-norte da área é frequente a presença de fragmentos de rocha com textura vesicular em forma de bastões arredondados distribuídos em basalto maciço; esta feição foi interpretada como fragmentos vulcânicos (bombas) lançados durante o derrame basáltico.

Formação Barreiras

A Formação Barreiras ocorre principalmente ao longo da porção setentrional da área de estudo (Figura 2). Na porção ocidental, a formação aflora no topo da Serra do Mel, no extremo NW da área; nas porções mais baixas, encontra-se recoberta por Depósitos Aluviais Antigos. Na porção oriental da área, próximo ao rio Açu, os depósitos da Formação Barreiras encontram-se normalmente alinhados na direção NW-SE, compartimentados pelas falhas regionais. No entanto sua melhor exposição encontra-se nas falésias no litoral do extremo NW da área.

A Formação Barreiras é composta por conglomerados e arenitos ferruginosos, de cores variadas (vermelho, laranja, marrom, com porções roxas, amarelas, esbranquiçadas e creme), com matriz argilosa e abundantes concreções ferruginosas. O arcabouço é predominantemente quartzoso, com clastos subangulosos a subarredondados, de até poucos centímetros. Frequentemente tem-se a presença de ní-

veis ou camadas de siltitos e argilitos, intercalados a níveis conglomeráticos (Figura 3A). É comum a ocorrência de um nível laterítico, nem sempre contínuo, no topo da unidade.

Depósitos Aluviais Antigos

A descrição das características sedimentares e deformacionais dos Depósitos Aluviais Antigos, antes mapeados como Formação Barreiras, recebeu mais ênfase, por corresponderem a uma das principais atualizações trazidas com este estudo.

Sob a designação de Depósitos Aluviais Antigos são incluídos os depósitos de antigos canais fluviais que, à medida que migraram para as cotas topográficas mais baixas, deixaram seus registros na forma de terraços aluviais. Destes canais que migraram ao longo do Pós-Oligoceno, o mais importante é o do rio Açu, com direção NNE. Esses sedimentos foram depositados sobre as rochas do embasamento cristalino e das formações Açu, Jandaíra e Barreiras (Figura 2).

A região apresenta uma grande densidade de exposições destes depósitos, cujas dimensões chegam a atingir até alguns milhares de metros quadrados, em especial em locais de retirada de material para construção civil. Em menor dimensão, observam-se afloramentos em barrancos de rio, cortes e leitos de estrada e, ainda, como materiais dispersos na superfície.

As litofácies que representam esta unidade são constituídas principalmente por conglomerados e arenitos, na forma de camadas com espessuras de poucos decímetros a muitos metros, que se intercalam numa relação de gradodecrescência ascendente, indicando a diminuição de regime de fluxos (Figura 3B). Nem sempre a sequência completa de conglomerado na base com afinamento até as frações areno-argilosas no topo foi observada. As fácies conglomeráticas e areníticas ainda aparecem intercaladas, numa relação de descontinuidade temporal, com contatos marcados por superfícies erosivas. Dependendo do afloramento, apenas uma destas litofácies está presente.

O arcabouço dos conglomerados é constituído predominantemente por fragmentos de quartzo. O selecionamento é pobre, com a presença de grânulos até blocos de 40 cm. Os clastos são, de modo geral, arredondados, com média a baixa esfericidade. Uma ressalva deve ser feita quanto aos depósitos conglomeráticos da porção sudeste da área, cujo arcabouço também é composto predominantemente por quartzo. No entanto, nesta área há a presença mais significativa de outros componentes, como sílex, feldspato, arenito, granito, gnaisse, pegmatito, quartzito e basalto; outra diferença é o arredondamento dos seixos e blocos, que é menor, variando entre subanguloso e subarredondado. O contato entre os clastos do arcabouço dos



Figura 2. Mapa geológico da área de estudo.

conglomerados em geral é pontual. Raras vezes diferentes porções apresentam os extremos da classificação: ora contatos retos e ora flutuantes. Tratam-se, portanto, de conglomerados polimíticos suportados pelos clastos. A matriz é areno-argilosa, com predominância de quartzo na fração areia média a grossa. Quanto às cores e tonalidades, a matriz pode apresentar variações. Assim sendo, é comum encontrarem-se porções esbranquiçadas, alaranjadas ou avermelhadas; no entanto prevalecem as colorações avermelhadas decorrentes do cimento ferruginoso e da própria alteração diagenética da matriz.

Os arenitos são, de modo geral, quartzosos e possuem selecionamento pobre, com granulometria que varia entre média e grossa, sendo muitas vezes arenitos conglomeráticos. A matriz é siltica-argilosa, com cimento de óxido de ferro, que ratifica a coloração avermelhada das rochas. Estruturas primárias, como estratificações, não são facilmente identificadas.

De acordo com as análises granulométricas realizadas, pode-se efetuar uma correlação entre estes arenitos e a matriz dos conglomerados, já que possuem uma assinatura granulométrica parecida, apresentando curvas de percentagem acumulada com principais inflexões entre as frações areia fina e areia grossa (0,5 mm).

Uma outra fácies do arenito corresponde a uma rocha muito mais friável. O selecionamento é pobre a moderado, com granulometria variando entre fina e média. Há pouca matriz siltica-argilosa e incipiente cimentação por óxido de ferro. De forma genérica, trata-se de espessos pacotes de areia de até 5 m de espessura, cuja coloração transita entre o avermelhado e o esbranquiçado.

De cada fácies foram obtidas amostras para datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), que pode datar a última exposição de um sedimento à luz solar. Considerando que a última exposição dos grãos à luz

solar foi no momento em que eles pararam de sofrer transporte e começaram a sofrer agradação, a datação por luminescência pode fornecer a idade de deposição. Foram obtidas idades que variam aproximadamente de 13 Ka a 325 Ka (Tabela 1).

Depósitos Aluviais de Canal

Estes depósitos encontram-se principalmente ao longo do atual canal do rio Açu e em seus afluentes intermitentes (Figura 2). Os sedimentos são predominantemente quartzosos de granulometria areia média a grossa. A presença de material mais fino (areia fina a argila) é variável; também podem ocorrer seixos e grânulos de quartzo e sílex, fragmentos de rocha e concreções ferruginosas, clastos de argila com até 2 cm, fragmentos de conchas e restos vegetais, misturados às areias. A seleção varia de moderada a pobre. A cor oscila de creme a marrom escuro devido à presença de matéria orgânica decomposta. As principais estruturas observadas são estratificações cruzadas tabulares e acanaladas e também marcas onduladas.

Depósitos Aluviais de Planície de Inundação

Os Depósitos Aluviais de Planície de Inundação estão mapeados principalmente ao longo do rio Açu e em outras poucas drenagens mapeáveis na escala deste trabalho (Figura 2). Podem ocorrer capeando as demais unidades de mapeamento. São depósitos compostos por areias finas, siltes e argilas. A significativa presença de matéria orgânica confere aos mesmos as colorações acinzentadas, amarronzadas e esverdeadas. Apresentam laminações plano-paralelas e raras cruzadas do tipo *climbing-ripples*, representantes da interface tração-decantação. É comum a presença de gretas de contração.

Tabela 1. Idades referentes a datações pelo método de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), a partir de cristais de quartzo e feldspato.

| Amostra | Latitude (grau decimal) | Longitude (grau decimal) | Dose Anual ($\mu\text{Gy/ano}$) | Cristal | Paleodose (Gy) | Idade (anos) |
|---------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------|----------------------|
| AN 1A | -5,6386334 | -36,9914751 | 1,125 \pm 26,5 | quartzo | 199 | 177.000 \pm 21.800 |
| AN 1B | -5,6386334 | -36,9914751 | 880 \pm 18,8 | quartzo | 130 | 150.000 \pm 18.000 |
| AN 4 | -5,3911353 | -36,874628 | 615 \pm 12 | quartzo | 199 | 325.000 \pm 28.500 |
| MC 12 | -5,28061111 | -36,89272222 | 1,184 \pm 93 | feldspato | 30,47 | 25.700 \pm 3.300 |
| MC 13 A | -5,26775 | -36,90811111 | 1,942 \pm 169 | feldspato | 51,04 | 26.300 \pm 3.600 |
| MC 16 | -5,19319 | -36,80452 | 1,042 \pm 79 | feldspato | 49,27 | 47.300 \pm 6.000 |
| MC 18 | -5,11333333 | -36,79733333 | 1,402 \pm 115 | feldspato | 18,22 | 13.000 \pm 1.700 |
| MC 19 | -5,32886111 | -36,88925 | 971 \pm 72 | feldspato | 77,4 | 79.800 \pm 9.900 |

Depósitos Flúvio-Lacustres

Os registros flúvio-lacustres referem-se aos depósitos siliciclásticos finos (areias finas, silte e argilas) associados às lagoas da região (Figura 2). Quando presentes, as frações psamíticas a psamíticas sugerem a proximidade de áreas fontes. Ocorrem como depósitos de fundo de lagoa (ricos em matéria vegetal e/ou bioclastos) e nas suas margens, constituindo terraços e pequenos bancos (barras). A espessura aflorante máxima é de 2 m, embora espessuras maiores devam estar associadas a antigos canais fluviais abandonados. Também podem ocorrer lâminas salinas encontradas no assoalho dos lagos secos.

Depósitos Transicionais

Os Depósitos Transicionais estão concentrados na região estuarina do rio Açú, incluindo suas margens e canais secundários (Figura 2). Estes depósitos estão associados à planície de maré e ocorrem nas áreas abrigadas da energia da costa por esporões arenosos e por ilhas barreiras.

São constituídos por areia fina a silte, pobremente selecionados e com alto teor de carbonato de cálcio e matéria orgânica. Esta unidade ainda compreende os sedimentos associados aos manguezais, que são compostos por lamas orgânicas (silte, argilas e, secundariamente, areias finas), intensamente bioturbados pela ação de crustáceos e moluscos, além de bivalves sésseis (*Ostrea* e *Casostrea*), que se prendem às raízes das plantas. De modo geral, os depósitos de mangue possuem maior proporção de matéria orgânica do que os demais depósitos transicionais, caracterizando-se pela ocorrência da biota típica (crustáceos, moluscos, vegetação mixohalina).

Depósitos Eólicos Litorâneos

Os Depósitos Eólicos Litorâneos estão localizados em toda a faixa litorânea, sobretudo na porção oeste da área (Figura 2). São representados principalmente pelos campos de dunas móveis e de dunas fixadas pela vegetação. Os sedimentos são constituídos por fração areia fina a média, composta predominantemente por quartzo e, secundariamente, por minerais pesados e, ainda, por fragmentos de conchas de organismos marinhos. Os grãos são bem selecionados e subarredondados.

As dunas vegetadas ocorrem envolvidas por um cinturão de dunas não vegetadas do tipo barcanoide. Os depósitos litorâneos também incluem os sedimentos praias que são encontrados principalmente na zona de estirâncio. Estes são constituídos por areias inconsolidadas quartzosas com granulometria variando de fina até muito grossa, sendo rica em bioclastos e, algumas vezes, em minerais

pesados. Todos estes sedimentos estão submetidos à ação da atual dinâmica costeira, o que produz muitas variações morfológicas na praia, como a geração de terraços marinhos, cúspides praias, bermas e dunas primárias. Estes sedimentos são submetidos a um constante retrabalhamento (marinho e eólico), devido à ação dos processos costeiros.

DEFORMAÇÃO TECTÔNICA

A tectônica cenozoica atuante na área é representada por estruturas mesoscópicas identificadas nas rochas das unidades aflorantes, desde o Magmatismo Macau aos Depósitos Aluviais Antigos, e ainda nas morfoestruturas de escala regional, que influenciam a disposição espacial dos depósitos aluviais, desde a Formação Barreiras aos depósitos aluviais recentes.

Nas rochas vulcânicas do Magmatismo Macau observam-se juntas e falhas, com cinemática e direção variadas, com predominância das falhas sinistrais NW-SE. As feições de alteração das rochas vulcânicas servem como excelentes marcadores de rejeito, registrando deslocamentos decimétricos em nódulos de alteração (Figura 3C). Ao longo das superfícies das venulações com espessura milimétrica, que cortam intensamente a rocha, o deslocamento também é evidenciado por estrias bem marcadas (Figura 3D).

Na porção noroeste da área, veios de sílex afloram em altos topográficos, cortando arenitos da Formação Barreiras. Na comunidade de Ponta do Mel, na praia em frente às falésias, há vários altos que se confundem à distância com dunas, tratando-se na verdade de morrotes constituídos por arenitos silicificados da Formação Barreiras, cortados por falhas NW-SE (Figura 3E). Entre os municípios de Serra do Mel e Carnaubais, os altos topográficos orientam-se segundo a direção ENE, onde afloram rochas silicificadas, com porções nas quais ainda se reconhecem alguns aspectos característicos dos arenitos da Formação Barreiras, ou com porções completamente alteradas para calcedônia, inclusive com bandamentos tipo anéis de Liesegang.

Nos níveis conglomeráticos e níveis areníticos dos Depósitos Aluviais Antigos, centenas de feições de liquefação foram encontradas em mais de 50 afloramentos. A liquefação é o processo pelo qual sedimentos saturados em água perdem a coesão e se comportam como um líquido, em consequência do aumento na pressão entre os poros (Yould, 1973). As principais estruturas de liquefação reconhecidas foram diques, pilares e bolsões. Uma característica importante no reconhecimento dessas feições é a diminuição da quantidade de matriz no interior das estruturas, onde o empacotamento do arcabouço é mais apertado do que nas porções laterais exteriores. Isso se dá devido à expulsão de boa parte do material mais fino durante o escape ascendente do fluido. As estruturas de liquefação em

fácies conglomerática também podem ser reconhecidas facilmente pelos seus seixos com fortes mergulhos, acima da média das porções laterais às estruturas (Figura 3F).

Algumas porções dos Depósitos Aluviais Antigos e da Formação Barreiras estão orientadas segundo a direção das grandes falhas noroeste, principalmente no centro-leste área. Os grandes lineamentos presentes são marcados em superfície por feixes de fraturas e/ou alinhamentos geomorfológicos bem delineados em imagens de satélite e fotografias aéreas (Figura 4).

Apesar da rede de drenagem mostrar um padrão dendrítico, com drenagens de ordens até maiores do que 4, algumas delas, principalmente aquelas de maior comprimento, apresentam-se com padrões mais retilíneos, o que sugere algum controle estrutural (Figura 2). Dentre as drenagens com alinhamentos preferenciais, podem-se destacar as seguintes: o rio Açu, alinhado com direção NE-SW (aproximadamente 30° Az); o riacho da Linda Flor, a oeste e paralelo ao rio Açu, com mesma direção; os riachos da Oiticica e da Gangorra, ambos a leste do rio Açu, com direções

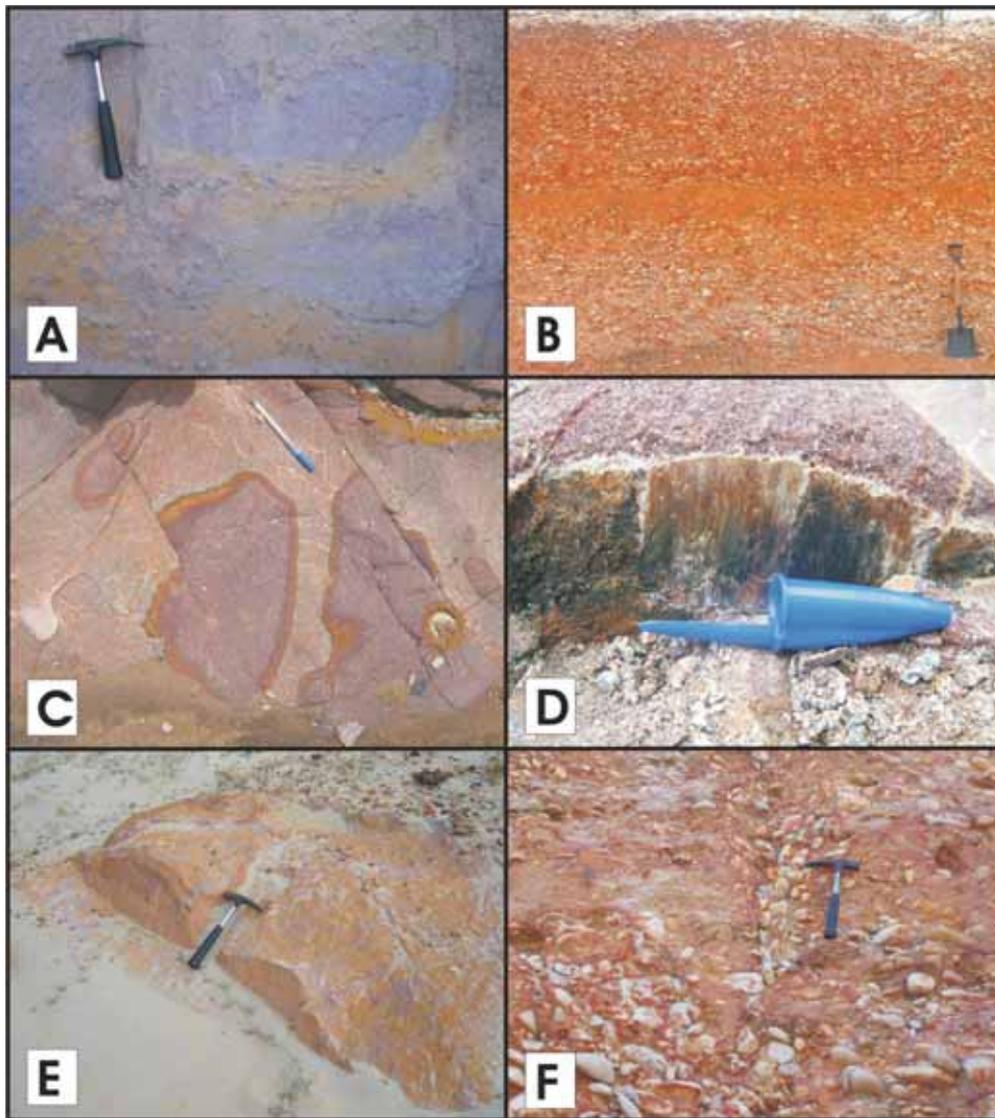
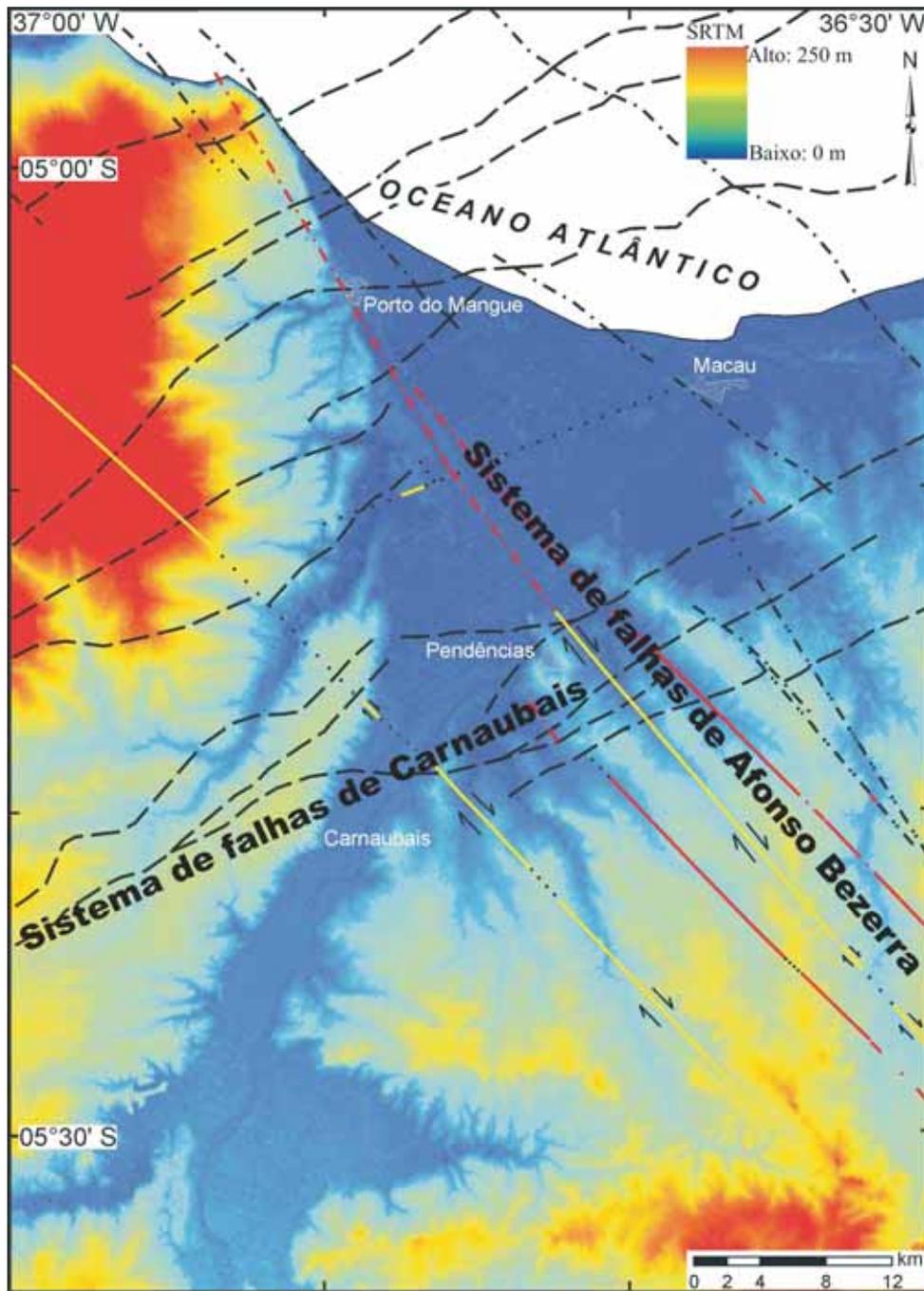


Figura 3. A. Exemplo de rochas da Formação Barreiras. B. Exemplo de rochas dos Depósitos Aluviais Antigos. C. Falhas deslocando nódulos de alteração em rochas do Magmatismo Macau. D. Estrias ao longo de superfícies de venulações em rochas da Formação Macau. E. Arenito silicificado da Formação Barreiras, cortado por falha com direção 345° Az. F. Estrutura de liquefação nos Depósitos Aluviais Antigos.



CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- | | | | |
|-----------|------------------------------|---------|---|
| | Falha encoberta | → ← | Falha transtracional dextral |
| — | Falha distensional normal | — | Falha distensional encoberta - fase rifte |
| - - - - | Falha distensional encoberta | - - - - | Falha indiscriminada encoberta - fase rifte |
| - · - · - | Falha indiscriminada | | |

Figura 4. Modelo digital de terreno (MDT) com as grandes falhas de superfície e as falhas da fase rifte.

NW-SE, aproximadamente 340° Az e 300° Az, respectivamente; os riachos da Maniçoba, do Pocinho e o Riacho Cabeleiro, a oeste do rio Açu, alinhados E-W; o rio Mulungu (no extremo leste da área), o riacho da Carnaubinha (a leste do rio Açu) e o riacho Escondido (a oeste de Carnaubais), todos esses três com orientação N-S, em grande parte de sua extensão. Os braços das lagoas de Queimados, da Pedra e Vargem de Cima, todas no centro da área, orientam-se segundo a direção NW (Figura 2). As mudanças abruptas dos cursos das drenagens também denotam e/ou comprovam a atuação de um controle tectônico. Um claro exemplo deste tipo de ocorrência é a forte inflexão N-S e E-W do rio Açu (cuja direção é predominantemente NE) na porção a sul do município de Carnaubais.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Dois aspectos importantes sobre a sedimentação e a deformação cenozoica foram evidenciados neste trabalho. O primeiro diz respeito à separação entre a Formação Barreiras e os depósitos sedimentares quaternários; o segundo está relacionado a evidências indiretas (drenagem e topografia) e diretas (estruturas de liquefação e falhas) de deformação neogênica e quaternária.

Extensas porções de depósitos siliciclásticos ao longo do litoral brasileiro têm sido mapeadas como Formação Barreiras, como, por exemplo, a área alvo desta pesquisa na região central da Bacia Potiguar-RN. A correlação destes depósitos com a Formação Barreiras, em muitos casos, foi feita unicamente com base em características litológicas dos depósitos. No entanto, os aspectos texturais e mineralógicos das rochas da Formação Barreiras e de depósitos comprovadamente mais novos se confundem muitas vezes, o que torna necessário recorrer a outros critérios de diferenciação.

Lima (2008) considerou como idades mínima e máxima, respectivamente, 17 e 22 Ma para as rochas da Formação Barreiras que recobrem a Bacia Potiguar. Silva (1991) obteve idade pleistocênica de 30.190 ± 370 Ka para depósitos pós-Barreiras no delta do rio Açu. Essa última idade está de acordo com as datações obtidas no presente estudo, que, através do método de Luminescência Opticamente Induzida (LOE), revelaram idades que variam de 13 Ka a 325 Ka para rochas antes consideradas da Formação Barreiras na região central da Bacia Potiguar.

Rosseti (2006) identificou no topo da Formação Barreiras nos estados do Pará e Maranhão uma discordância salientada por horizonte de solo laterítico contendo concreções ferruginosas, em geral sob forma de colunas verticalizadas de até 3 m de comprimento. Esta crosta latéritica no topo e concreções ferruginosas no interior do pacote de rochas da Formação Barreiras foram também reconhe-

cidas na área mapeada. Como a laterização autóctone não é encontrada nos depósitos mais novos, este foi um critério usado em campo para a diferenciação entre a Formação Barreiras e os Depósitos Aluviais Antigos.

A partir das idades obtidas, das características texturais e feições de alteração das rochas coletadas em centenas de afloramentos e, também, com auxílio de imagens de satélite e de radar, foram redesenhados os limites da Formação Barreiras na área mapeada. Constatou-se que vários depósitos antes denominados como Formação Barreiras, a leste do rio Açu, correspondem a Depósitos Aluviais Antigos. A porção ocidental da área era anteriormente mapeada quase em sua totalidade como Formação Barreiras. Com este estudo verificou-se que, nessa porção, o predomínio é, na verdade, dos Depósitos Aluviais Antigos, sendo que a Formação Barreiras aflora restritamente no topo da Serra do Mel.

Assim como na porção central da Bacia Potiguar, possivelmente muitos dos depósitos siliciclásticos mapeados como Formação Barreiras ao longo do litoral brasileiro precisam ser revisados, no sentido de diferenciá-los de depósitos mais recentes.

Alguns estudos (e.g., Hackspacher et al., 1985; Bezerra e Vita-Finzi, 2000; Bezerra et al., 2001; Nogueira, Bezerra, Castro, 2006; Bezerra et al., 2008) já mostraram a relação entre a tectônica e os depósitos neogênicos e quaternários na costa brasileira, inclusive a Formação Barreiras. Lima (2000) citou que coincidências entre a disposição das falésias e as falhas cretáceas indicam a relação entre alinhamentos mais antigos e a morfologia atual das escarpas litorâneas. Vários alinhamentos de vales e áreas deprimidas direcionam-se segundo as orientações de falhas do embasamento pré-cambriano, o que pode representar uma reativação recente dessas linhas de fraqueza.

Estas observações são pertinentes na área mapeada, já que se constata essa "coincidência" entre a orientação de depósitos neogênicos e quaternários e lineamentos do embasamento cristalino. A maioria dos altos topográficos, em cujos topos foi identificada silicificação de arenitos da Formação Barreiras, encontra-se alinhada com as falhas do Sistema de Afonso Bezerra. Um outro alto topográfico, a sul de Serra do Mel, está alinhado com o traçado principal da falha de Carnaubais. Em mapas anteriores, essas falhas eram plotadas apenas no embasamento cristalino, sendo interrompidas ao interceptarem a Bacia Potiguar. Nos casos em que algumas falhas eram indicadas afetando rochas da bacia, elas se restringiam às formações Jandaíra e Açu, aparecendo recobertas pelos depósitos neogênicos e quaternários. No entanto com este presente mapeamento, essas falhas podem ser plotadas como aflorantes inclusive na Formação Barreiras, evidenciando quão recentes são as reativações desses antigos sistemas.

Schumm, Dumont e Holbrook (2000) explicaram como os canais aluviais são indicadores sensíveis de mudanças e que a arquitetura aluvial de uma bacia é resultante de vários mecanismos extra e intrabaciais, mas é controlada principalmente pelos mecanismos alocíclicos. O controle alocíclico principal durante a sedimentação pode ser o tectonismo (Hartley, 1993).

Na porção centro-sudeste da área mapeada, os depósitos fluviais da Formação Barreiras e os Depósitos Aluviais Antigos estão orientados segundo a direção NW, correlacionáveis assim ao Sistema de Falhas de Afonso Bezerra. A rede de drenagem atual também é fortemente influenciada por esse sistema de falhas e, secundariamente, ao Sistema de Falhas de Carnaubais. Os braços das lagoas de Queimados, de Pedra e Vargem de Cima, com orientação NW, desenvolveram-se ao longo de falhas que compõem o Sistema de Falhas de Afonso Bezerra.

Os terraços aluviais do rio Açú são exemplos de registros da deformação neotectônica. Os depósitos mais antigos estão representados principalmente por conglomerados e arenitos conglomeráticos diretamente relacionados à morfodinâmica fluvial. Esses terraços mostram um nítido escalonamento, denotado por uma evolução faciológica, espacial e temporal de oeste para leste, onde as fácies mais grossas vão sendo substituída pelas fácies mais finas, evidenciando a migração do sistema fluvial no mesmo sentido (Fonseca, 1996).

A distribuição espacial dos terraços abandonados do rio Açú, mais expressiva a oeste do rio, confere o predomínio de aluvião antigo nesta porção, o que também indica a migração do canal no sentido leste. Assim, provavelmente, a tectônica atuante na região contribuiu para a avulsão do rio e evolução destes terraços. O fato de, na porção ocidental da área, a Formação Barreiras aflorar restritamente no topo da Serra do Mel, tendo suas encostas recobertas por Depósitos Aluviais Antigos, pode corroborar com evidências de um possível soerguimento desta região.

Quanto às estruturas de liquefação, algumas hipóteses podem ser consideradas para explicar a origem das encontradas na área de estudo: colapso da camada carbonática subjacente, fontes artesianas, processos sindeposicionais, deslizamento gravitacional e sobrecarga (Postma, 1983; Rijdsdijk et al., 1999). Porém, nem todas as condições necessárias para a ocorrência dessas estruturas impulsionadas por alguns desses processos são atendidas na área mapeada. A liquefação por choques sísmicos pode, porém, explicar satisfatoriamente a ocorrência de tais estruturas na área. Os sedimentos aluviais areno-cascalhosos porosos poderiam estar saturados pelo lençol freático alimentado pelo próprio rio que depositou os sedimentos. A capa impermeabilizante que confinaria as areias e cascalhos corresponderia às finas camadas de argila depositadas no final

de cada ciclo. Assim estaria montado um quadro com alto risco de liquefação, caso ocorressem terremotos de magnitude considerável. A área estudada é uma região com amplos indícios de reativações recentes de falhas, fato que completaria a lista de fatores imperativos à liquefação, com a presença da fonte de energia sísmica.

Sismos de magnitude (M) em média superior a 5,5 podem induzir a liquefação em sedimentos arenosos bem selecionados. Esse valor aumenta para aproximadamente $M \geq 7$ em materiais areno-cascalhosos, cuja resistência à fricção é maior (Obermeier, 1996). Considerando válida a possibilidade da origem sísmica para as estruturas de liquefação da área, ter-se-ia outra importante conclusão: a ocorrência de sismos de magnitude igual ou maior que 7 na Bacia Potiguar. Uma das condições para que uma ou mais camadas de sedimentos sejam liquefeitas é que o material esteja inconsolidado, portanto as diversas estruturas de liquefação formam-se no intervalo após a deposição e antes da litificação. Dessa forma, a idade máxima em que ocorreu a liquefação dos sedimentos corresponderia à idade de sua deposição, isto é, entre 13 e 325 mil anos. Pode-se, assim, concluir que expressivas atividades sísmicas, com $M \geq 7$, ocorreram entre 13 e 325 Ka, nesta região, o que poderia estar associado a reativações dos sistemas de falhas nesta área.

Constata-se, assim, a forte influência tectônica nos depósitos neogênicos e quaternários da região, seja na disposição espacial desses ou na ocorrência de estruturas estreitamente associadas a reativações dos grandes sistemas de falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a grande contribuição dos revisores Cláudio Limeira Mello (UFRJ) e Claudio Riccomini (USP), que melhoraram de forma significativa esse trabalho. Agradecemos ainda ao projeto Folha Macau (SGB/CPRM) e aos projetos Estudos geofísicos e tectônicos na Província Borborema (CNPq 42.0222/2005-7) e INCT-ET, coordenado por R. A. Fuck, e ao Projeto CNPq nº. 474459/2007-1 coordenado por Francisco H. R. Bezerra. ENML agradece à ANP por bolsa e suporte durante o doutorado, MOLS agradece ao CNPq/PROSET por bolsa de pesquisa e FHRB agradece ao CNPq por bolsa de produtividade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American platform. *Earth Science Review*, v. 50, p. 77-111, 2000.

ANGELIM, L. A. A., MEDEIROS, V. C., NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil – PGB. Projeto Geologia e Re-

- curios Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, CPRM/FAPERN: 2006. 1 mapa color. Escala. 1:500.000.
- ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.
- ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 127-141, 1994.
- 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 sistema deposicional da formação Barreiras na Região da Barreira do Inferno, litoral Oriental do Rio Grande do Norte. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 43-9, 2006.
- BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, p. 61-75, 2001.
- BEZERRA, F. H. R.; SILVA, F. O.; SOUSA, M. O. L.; AMARAL, R. F.; FONSECA, V. P.; VIEIRA, M. M.; MOURA-LIMA, E. N. Mapeamento Geológico da Folha Macau (SB-24-X-D-II). Programa Geologia do Brasil - PGB. Recife, CPRM/UFRN: 2006. 1 mapa color. Escala. 1:100.000.
- 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*, Amsterdam, v. 1, p. 555-582, 2008.
- BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, v.28, n. 7, p. 591-594, 2000.
- CREMONINI, O. A. *Caracterização estrutural e evolução da área de Ubarana, porção submersa da Bacia Potiguar, Brasil*. 1993. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993.
- FERREIRA, J. M.; OLIVEIRA, R. T.; TAKEYA, M. K.; ASSUMPÇÃO, M. Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophysical Journal International*, v. 134, p. 341-355, 1998.
- FONSECA, V. P. *Estudos Morfo-neotectônicos na área do baixo curso do rio Açú (Açú-Macau), RN*. 1996. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.
- HACKSPACHER, P. C.; CORSINO, A. R.; SRIVASTAVA, N. K.; TIRIBA, V. F. A Falha de Afonso Bezerra como evidência de significativo tectonismo frágil NW-SE, na Bacia Potiguar emersa – RN. *Boletim da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Geologia*. Natal, v. 10, p. 68, 1985.
- HARTLEY, A. J. Sedimentological response of an alluvial system to source area tectonism: the Seilao Member of the Late Cretaceous to Eocene Purilactis Fm. of N Chile. *IAS Spec. Publ.* 17, 489-500, 1993.
- LIMA, C. C.; NASCIMENTO, E.; ASSUMPÇÃO, M. Stress orientations in Brazilian sedimentary basins from breakout analysis – implications for force models in the South America plate. *Geophysical Journal International*, v. 130, p. 112-124, 1997.
- LIMA, C. C. U. O Neotectonismo na Costa do Sudeste e do Nordeste Brasileiro. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 15, p. 91-102, 2000.
- LIMA, M. G. *A história do intemperismo na província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas*. 2008. 251 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- MIZUSAKI, A. M. P.; THOMAZ-FILHO, A.; MILANI, E. J.; CÊSERO, P. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. v. 15, n. 2, p. 183-198, 2002.
- MONT'ALVERNE, A. A. F.; DERZE, G. R.; MORAIS, E. N. de; BARRETO, A. M. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Natal, DNPM: 1998. 1 mapa, color., 84 x 97 cm. Escala 1:500.000.
- 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*, São Paulo, v. 6, p. 19-30, 2006.
- 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*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 51-59, 2006.
- OBERMEIER, S. F. Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. In: MC'CALPIN, J.P. *Paleoseismology*. San Diego, Academic Press, p.331-396, 1996.
- OLIVEIRA, D. C. Evolução Magmática da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998. v. 1, p. 102.
- POSTMA, G. Water scape structures in the contexts of a depositional model of a mass flow denominated conglomeratic fan-delta (Abrija Formation, Pliocene, Almeria Basin, SE Spain). *Sedimentology*, v. 30, p. 91-103, 1983.
- RICCOMINI, C. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. 1989. 304 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- RICCOMINI, C.; ASSUMPÇÃO, M. Quaternary tectonics in Brazil. *Episodes*, v. 22, n. 3, p. 221-225, 1999.
- RIJSDIJK, K. F., OWEN, G., WARREN, W. P., MCCARROL, D., VAN DER MEER, J. J. M. Clastic dykes in over-consolidated tills: evidence for subglacial hydrofracturing at Killing Bay, eastern Ireland. *Sedimentary Geology*, n. 129, p. 111-126, 1999.
- ROSSETTI, D. F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. *Sedimentary Geology*, v. 169, p. 151-174, 2004.
- ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, v. 6, p. 7-18, 2006.
- ROZO, J. M. G.; NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, A. M. C.; CARVALHO, A. S. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. *Contribuições à Geologia da Amazônia*, Manaus, v. 4, p. 201-207, 2005.
- SANT'ANNA, L.G.; SCHORSCHER, H.D.; RICCOMINI, C. Cenozoic tectonics of the Fonseca basin region, eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 10, n. 3-4, p. 275-284, 1997.
- SCHUMM, S. A.; DUMONT, J. F.; HOLBROOK, J. M. *Active Tectonics and Alluvial Rivers*. Cambridge University Press, 2000.
- SILVA, C. G. *Holocene Stratigraphy and Evolution of the Açú River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil*. 1991. 400 p. Tese (Doutorado) - Duke University, D.U., Estados Unidos, 1991.
- SOUSA, M. O. L.; BEZERRA, F. H. R. As tensões Tectônicas Campanianas-Cenozóicas na Bacia Potiguar, Brasil. In: SIMPÓSIO REGIONAL DO NORDESTE, 21., 2005, Recife. *Anais...* Recife: SBG, 2005, p 329-330.
- SOUZA, S. M. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1982, v. 5, p. 2392-2406.
- SOUZA, Z. S.; VASCONCELOS, P. M.; NASCIMENTO, M. A. L.; SILVEIRA, F. V.; PAIVA, H. S.; DIAS, L. G. S.; THIEDE, D.; CARMO, I. O. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of Mesozoic and Cenozoic magmatism in NE Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. *Short Papers*. Salvador: CBPM, 2003. v. 2. p. 691-694.
- YOULD, T. L. Liquefaction, flow, and associated ground failure. *United States Geological Survey Circular*, v. 688, p. 1-12, 1973.