

# breves comunicações

## Abordagem preliminar sobre paleotemperatura e evolução do relevo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, a partir da análise de traços de fissão em apatita

*Preliminary constraints on paleotemperature and landscape evolution in and around Araripe Basin, northeastern Brazil, using apatite fission track analysis*

João Marinho de Moraes Neto | Kerry Hegarty | Garry David Karner

(originais recebidos em 15.05.2005)

**Palavras-chave:** Bacia do Araripe | traços de fissão em apatita | paleotemperatura | soerguimento | evolução do relevo

**Keywords:** Araripe Basin | apatite fission track analysis | paleotemperature | uplift | landscape evolution

## introdução

A Bacia do Araripe, localizada na Província Borborema, Nordeste do Brasil, desenvolveu-se em consequência de uma série de eventos geológicos relacionados ao *breakup* do Gondwana e subsequente abertura do Atlântico Sul. Sua evolução tectônica tem sido interpretada com base no registro geológico preservado, que abrange rochas com idades que variam do Paleozóico ao Cretáceo. A estratigrafia da Bacia do Araripe pode ser resumida pelo seguinte empilhamento, da base para o topo:

(i) uma seqüência paleozóica (Formação Mauriti, de idade siluriana-ordoviciano);

(ii) uma seqüência pré-rifte de idade jurássica (formações Brejo Santo e Missão Velha);

(iii) uma seqüência rifte de idade neocomiana (Formação Abaiara, composta por arenitos, folhelhos e argilas carbonáticas depositados por sistemas flúvio-lacustres); e

(iv) uma seqüência pós-rifte cretácea representada por três sistemas deposicionais distintos: sedimentos de fácies carbonáticas, fluviais e lacustres de idade albo-aptiana (Formação Rio da Batateira); sedimentos lacustre-evaporíticos e fácies marinhas depositadas no Mesoalbiano (formações Santana e Arajara); e sedimentos com fácies fluviais meandrante a entrelaçada, depositados do Albiano ao Cenomaniano (Formação Exu).

Uma discordância regional separa a seqüência rifte da seqüência pós-rifte albiana-aptiana. Esse hiato significa um intervalo de erosão/não-deposição de 20 Ma e pode estar relacionado a

um soerguimento tectônico regional (Ponte e Ponte Filho, 1996). As “camadas Batateira” (folhelhos cinza a preto da base da seqüência pós-rifte) representam a deposição em um grande sistema lacustre que cobriu boa parte do Nordeste do Brasil durante o Eoaptiano e pode ser correlacionado com unidades aparentadas nas bacias do Ceará e Potiguar.

No entanto, a ausência de seção sedimentar representando os últimos 90 milhões de anos da história geológica da Bacia do Araripe tem desafiado várias gerações de geólogos e dificultado o entendimento sobre a evolução da bacia ao longo do Neocretáceo e do Paleogeno, incluindo a formação de sua notável topografia - a Chapada do Araripe, um grande platô constituído por sedimentos pós-rifte e que é a principal feição associada à bacia homônima.

A Chapada do Araripe, com aproximadamente 9 000 km<sup>2</sup>, é capeada por arenitos continentais (Formação Exu) que atingem mais de 950 m de altitude e cujos indicadores de paleocorrentes sugerem uma área soerguida a leste, na direção da margem continental, que teria servido de fonte para aqueles sedimentos siliciclásticos (Assine, 1992). A presença de carbonatos de idade eo-mesoalbiana (Formação Santana) em cotas acima de 600 m também atesta o soerguimento daquele setor da Província Borborema após o Albiano (Magnavita *et al.* 1994). Na base do platô, sedimentos mais antigos (neocomianos, neojurássicos e siluriano-ordovicianos)

ocorrem como unidades subjacentes, em cotas ao redor de 400 m.

Vários trabalhos anteriores usaram a seção geológica preservada na Bacia do Araripe para discutir a evolução do relevo daquela área, assim como seu soerguimento e sua história de exumação, que foram supostamente causados por amplos movimentos epirogenéticos associados com os eventos pós-rifte da Província Borborema, durante o Cenozóico.

Controles independentes sobre a idade e a magnitude de tal soerguimento são agora interpretados a partir da análise de traços de fissão em apatita. Neste estudo de reconhecimento, uma série de amostras sedimentares foi coletada ao longo de uma seção N-S nas bacias do Araripe e do Cedro, assim como no embasamento adjacente (fig. 1).

Figura 1

Seção geológica esquemática ao longo das bacias do Araripe e Cedro, na fronteira dos estados do Ceará e Pernambuco, mostrando a localização das amostras analisadas.

Figure 1

Geologic section across Araripe and Cedro basins (Ceará-Pernambuco border, northeastern Brazil) and sample locations.

## discussão dos dados de traços de fissão em apatita e interpretação da história térmica

Das seis amostras analisadas, cinco indicaram ter estado submetidas a altas temperaturas no passado (tabela I e fig. 2). As soluções da modelagem das histórias térmicas, para todas as

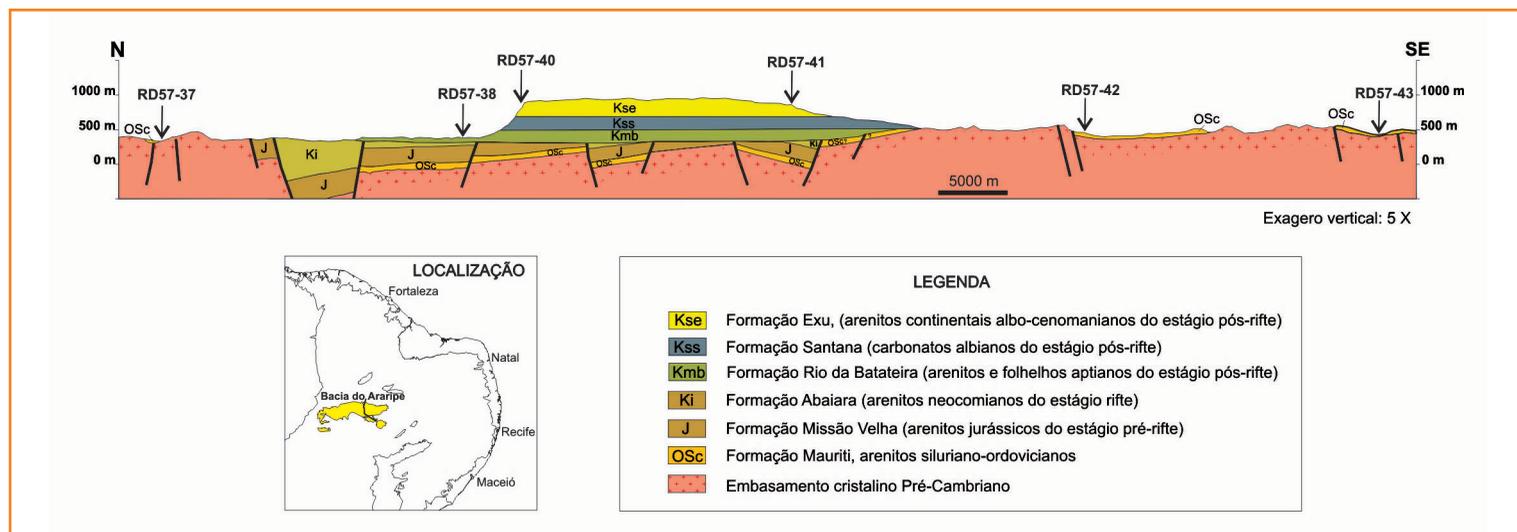


Tabela I

Detalhes das amostras e sumário dos resultados da modelagem da história térmica para as amostras coletadas na área da Bacia do Araripe.

Table I

Sample details and summary of thermal history results for outcropping apatite fission track samples from Araripe Basin area.

Amostra	Litologia	Unidade Litoestratigráfica	Unidade Cronoestratigráfica / Idade Absoluta	Número de grãos	Número de traços	Idade dos traços de fissão (Ma)	Temperatura atual (°C)	Cenário Modelado para a História Térmica			
								Primeiro Evento		Segundo Evento	
								Paleotemperatura máxima (°C)	Início do resfriamento (Ma)	Paleotemperatura máxima (°C)	Início do resfriamento (Ma)
RD57-37	Granito	Embasamento cristalino	Pré-cambriano (> 600 Ma)	20	211	286.6 +/- 23.4	25	> 100	400 a 230	75 - 85	80 a 0
RD57-38	Arenito	Fm Missão Velha ("Bacia do Araripe")	Aptiano (124 - 112 Ma)	4	47	249.5 +/- 70.8	25	—	—	70 - 80	80 a 0
RD57-40	Arenito	Fm Exu ("Bacia do Araripe")	Albiano (112 - 97 Ma)	20	106	131.7 +/- 12.7	25	80 - 100	112 a 40	70 - 80	40 a 0
RD57-41	Arenito	Fm Exu ("Bacia do Araripe")	Albiano (112 - 97 Ma)	20	89	164.2 +/- 21.1	25	80 - 100	112 a 40	70 - 80	40 a 0
RD57-42	Arenito	Fm Mauriti ("Bacia do Cedro")	Siruluriano-Ordoviciano (510 - 408 Ma)	20	102	169.7 +/- 30.3	25	100 - 110	220 a 80	70 - 85	50 a 0
RD57-43	Arenito	Fm Mauriti ("Bacia do Cedro")	Siruluriano-Ordoviciano (510 - 408 Ma)	6	76	194.0 +/- 45.2	25	100 - 110	220 a 80	70 - 80	50 a 0

amostras, são consistentes com um evento de resfriamento no Cenozóico, com início incerto entre 40 e 0 Ma. As máximas paleotemperaturas associadas a este evento são muito similares (tipicamente em torno de 70° - 80°C), o que sugere um pequeno movimento diferencial em toda a região amostrada. Tal uniformidade pode ser atestada pela atual conformação subhorizontal das unidades que constituem a Chapada do Araripe.

Eventos térmicos mais antigos também são revelados pela análise de traços de fissão em apatita, assim como são corroborados por uma única análise de refletância de vitrinite nos folhelhos negros aptianos da Formação Rio da Batareira, que indica uma paleotemperatura máxima de cerca de 93°C (0.56% Ro).

A determinação de refletância de vitrinite, assim como os resultados da análise de traços de fissão em apatita nos arenitos albianos e aptianos (amostras RD57-38, RD57-40 e RD57-41) e de um arenito conglomerático siluriano-ordoviciano (amostra RD57-43), apontam para um evento de paleoaquecimento posterior à deposição das "camadas Batateira" e anterior a 100 Ma. Os resultados da modelagem térmica

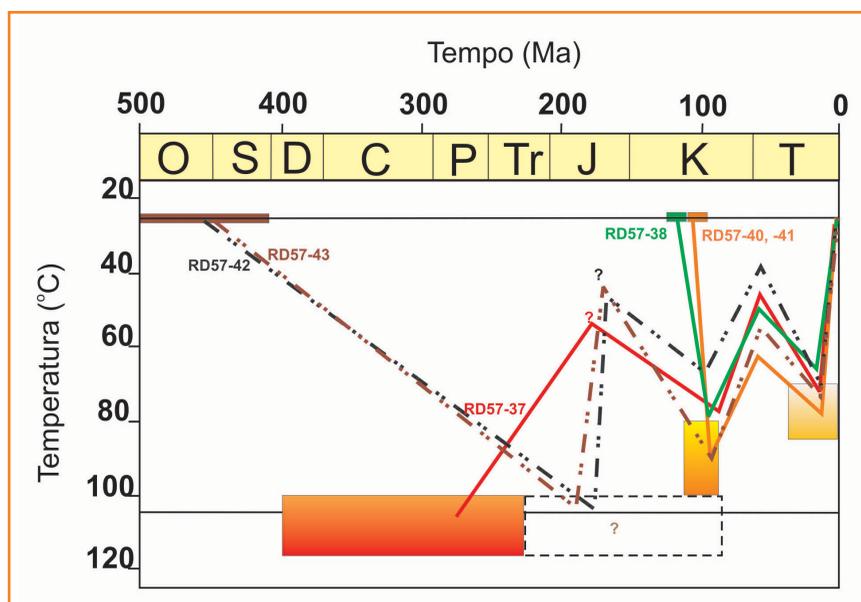


Figura 2 – Diagrama com as soluções de história térmica consistentes com a modelagem das seis amostras analisadas por traços de fissão em apatita. Pelo menos três eventos termais podem ser reconhecidos na área, com grande resolução para os eventos mais recentes. Os baixos valores de refletância de vitrinite obtidos em sedimentos aptianos da Chapada do Araripe são interpretados como o efeito do evento térmico sofrido no Neocretáceo.

Figure 2 – Schematic illustration of the constrained thermal history framework consistent with six apatite fission track analysis. At least three paleothermal events have been recognized, with the highest possible resolution in relation to the younger events. Measured vitrinite reflectance in Aptian sediments on the uplifted Araripe plateau is attributed to a Late Cretaceous thermal event.

indicaram que as máximas paleotemperaturas experimentadas pelas unidades amostradas foram provavelmente menores do que 100°C, o que sugere que não houve soterramento significativo naquela região e, portanto, as idades por traços de fissão dos sedimentos cretáceos podem representar herança de suas respectivas áreas-fontes.

Finalmente, as soluções da análise de traços de fissão em apatita para o embasamento pré-cambriano (amostra RD57-37) e para a seção siluriana-ordoviciano (amostras RD57-42 e RD57-43; Formação Mauriti) possibilitam a interpretação de um evento mais antigo, no Mesojurássico.

## implicações dos resultados das histórias térmicas para a evolução da Chapada do Araripe

Os vários eventos térmicos determinados nessa investigação inicial são consistentes com aqueles já identificados no Planalto da Borborema e adjacências, a partir do emprego do mesmo método (Hegarty *et al.* 2002; 2004; Morais Neto *et al.* submetido), que identificaram dois episódios de resfriamento: um no Neocretáceo, começando entre 100 - 90 Ma, e um a partir do Oligoceno, com início entre 30 - 0 Ma. A coincidência na idade dos eventos sugere que eles são regionais e, portanto, passíveis de interpretação como períodos relacionados a processos de exumação.

Os resultados preliminares aqui apresentados, mesmo considerando-se o limitado número de amostras analisadas, fornecem importantes subsídios para a interpretação de vários aspectos da história evolutiva daquelas bacias:

– a maturidade térmica atualmente observada nas “camadas Batateira” deve-se ao soterramento ocorrido durante o Cretáceo, seguido de exumação. Se as paleotemperaturas obtidas pela reflectância da vitrinita forem totalmente

atribuídas ao soterramento (e assumindo-se um gradiente paleogeotérmico de 30°C/km e uma paleotemperatura de superfície de 25°C), infere-se que aquela amostra esteve soterrada a cerca de 2.2 km, naquele período;

– esses resultados sugerem que potenciais rochas geradoras naquela área podem ter interrompido sua evolução térmica devido ao evento de soerguimento/resfriamento do Neocretáceo, reconhecido pela análise de traços de fissão em apatita;

– a topografia da Chapada do Araripe é atribuída a um período de soerguimento relacionado (ou imediatamente posterior) ao evento de resfriamento do Neocretáceo, iniciado por volta de 100 - 90 Ma (fig. 3). Já a configuração do relevo atual é atribuída a processos de denudação e erosão diferencial cujos efeitos poderiam estar registrados pelo evento de resfriamento do Cenozóico, entre 40 - 0 Ma;

– os resultados da análise de traços de fissão em apatita (mostrando máximas paleotemperaturas no Cenozóico, na faixa de 70° - 85°C) indicam que no mínimo 1.5 km de seção sedimentar foi removida por efeito de denudação. Essa estimativa de erosão deve ser tratada com ressalva, uma vez que se baseia em várias premissas, incluindo a causa do paleoaquecimento. Termocronologia por (U-Th)/He (indicador de baixa temperatura) e o incremento de análises adicionais virão contribuir para um melhor entendimento da exumação da Chapada do Araripe e conseqüente evolução do relevo regional.

## agradecimentos

À Petrobras e à UFOP, que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho. Aos geólogos Sidney Roos e Eugênio Vaz dos Santos Neto, pelas sugestões e discussões sobre a geologia da Bacia do Araripe. Todos os resultados analíticos, gráficos de idades e comprimentos de traços podem ser disponibilizados às pessoas interessadas através de solicitação aos autores.

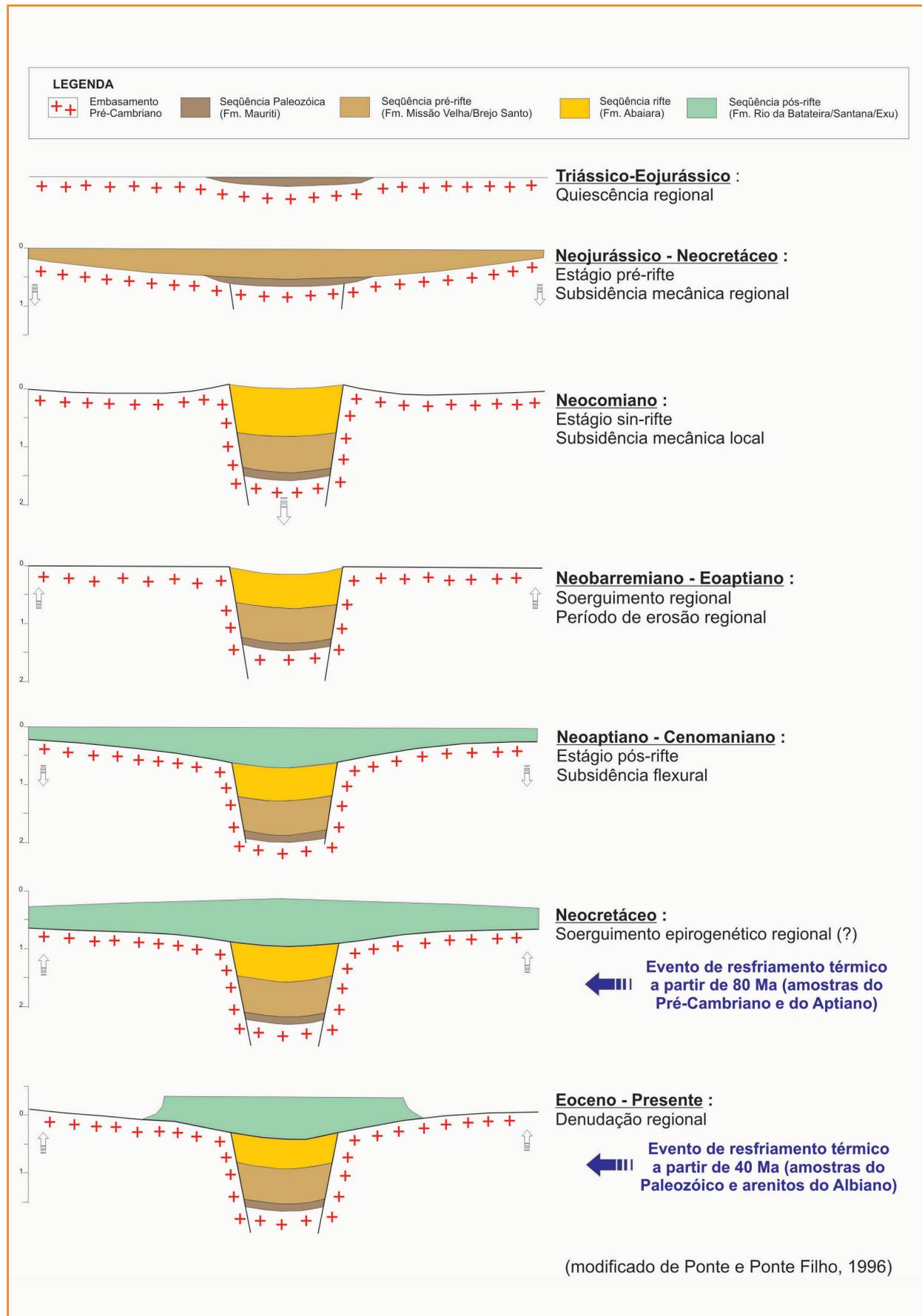


Figura 3

Evolução hipotética da Bacia do Araripe confrontada com os eventos térmicos determinados pela análise de traços de fissão em apatita (modificado de Ponte e Ponte Filho, 1996).

Figure 3

Schematic evolution of the Araripe Basin vs. thermal events interpreted from apatite fission track analysis (modified from Ponte and Ponte Filho, 1996).

## referências bibliográficas

ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.

HEGARTY, K.A.; MORAIS NETO, J. M.; KARNER, G. D. Mapping anomalous topography through time and understanding its origins : a study of the Borborema Province, NE Brazil. In : INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32., 2004, Florence. **Abstracts...** Florence, Italy : International Union of Geological Sciences, 2004, G05.08. 1 CD-ROM.

HEGARTY, K. A.; MORAIS NETO, J. M.; KARNER, G. D. The enigma of the Araripe Plateau : new constraints on its uplift and tectonic history using AFTA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa : Sociedade Brasileira de Geologia, 2002, p. 495.

MAGNAVITA, L. P.; DAVISON, I.; KUSZNIR, N. J. Rifting, erosion and uplift history of the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, northeast Brazil. **Tectonics**, Washington, v. 13, n. 2, p. 367-388, 1994.

MORAIS NETO, J. M.; HEGARTY, K. A.; KARNER, G. D.; ALKMIM, F. F.; MATOS, R. D. M. Timing, distribution and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, Northeast Brazil. Submitted, 2004.

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C. Evolução tectônica e classificação da bacia do Araripe. In : SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCIO DO BRASIL, 4., 1996, Rio Claro. **Boletim...** Rio Claro : UNESP, 1996, p. 123-133.

## abstract

The Araripe Basin, located in the Borborema Province, northeastern Brazil, developed through a sequence of distinct events related to the opening of the South Atlantic. Its geological history is recorded in the preserved stratigraphy, which ranges in age from Paleozoic to Middle Cretaceous. The most conspicuous feature associated with the Araripe Basin is the Araripe Plateau, a large mesa capped by Cenomanian-Albian non-marine sandstones (Exu Formation). At the plateau base, gray to black shales ("Batateiras layers") represent deposition in a large lake system covering part of northeastern Brazil during Early Aptian.

Previous researchers have used the preserved geological section in the basin to infer the landscape evolution of the Araripe Plateau, and they have suggested that its uplift and exhumation were caused by widespread epeirogenic movements associated with post-break-up events in the Borborema Province. Independent constraints on the timing and magnitude of uplift in the Araripe Plateau area can now be introduced by this preliminary study using apatite fission track analysis.

A series of samples along a N-S transect of the Araripe Basin and its neighboring basement provide clear evidence of heating in the past. Results from all samples also show evidence of Late Cenozoic cooling commencing sometime in the last 40 Ma. Maximum paleotemperatures associated with this event are very similar (70° - 90°C) between samples, consistent with little differential movement across the sampled region.

Fission track results from the Aptian sandstone sample (Rio da Batateira Formation) indicate an earlier event (pre-40 Ma). However, interpretation of data suggests that any paleo-heating between sediment deposition (112 Ma) and 40 Ma must be associated with paleotemperatures less than ~100°C, pointing to minor paleoburial during the Late Cretaceous in this area.

The timing of these various events are broadly consistent with the timing of events identified in and around the Borborema Plateau using the same method (Morais Neto et al. submitted), which identified two cooling episodes: a Late Cretaceous cooling event commencing sometime between 100 - 90 Ma and a Late Cenozoic cool-

ing commencing between 30 - 0 Ma. This coincidence in the timing of events suggests that these events may be regional in nature and therefore likely to be related to regional exhumation.

The uplift of the Araripe Basin can be related to epeirogenic movements associated with (or following) the Late Cretaceous cooling event. Thermal maturity presently observed in the "Batateiras layers" suggests that any source rock in the area ceased its thermal evolution due to such process. Present relief is interpreted as the result of subsequent erosion processes. If we assume a paleogeothermal gradient of 30°C/km (and a surface temperature of 25°C), we estimate an erosion of ~1.5 km across the Araripe area, associated with the Late Cenozoic cooling event.

While important parameters on the timing and magnitude of events in this area have been resolved based on only 6 samples, further work involving additional analysis and U-Th/He thermochronology is suggested.

## autor principal



**João Marinho de Morais Neto**

E&P Exploração

Gerência de Interpretação e Avaliação da Margem Equatorial

Endereço Atual: School of Physical Sciences -

Earth Sciences Department

The University of Queensland - St Lucia Campus

4072 Brisbane QLD Australia

e-mail: [marinho@uq.edu.au](mailto:marinho@uq.edu.au)

Formado em Geologia pela UFRN em 1987, ingressou no mesmo ano na Petrobras, onde atuou como geofísico nas bacias de Barreirinhas, Potiguar e Ceará em projetos exploratórios e de integração regional. Obteve Pós-Graduação em Geologia Estrutural e Tectônica na UFOP (1999) e, retornando a Natal, participou como representante técnico em projetos de parceria da UN-RNCE. Transferido para o EP-EXP em 2003, juntou-se ao grupo de interpretação da Margem Equatorial (águas profundas da Bacia do Ceará), onde acompanhou projetos em parceria com universidades brasileiras. Atualmente desenvolve projeto de doutorado na Austrália, na área de Termocronologia.