

## AS RELAÇÕES DE BORDA DA SEQÜÊNCIA RIFTE NA SUB-BACIA DE PERNAMBUCO, NE DO BRASIL\*

Emanuel Ferraz Jardim de Sá<sup>1</sup>, Fernando César Alves da Silva<sup>1</sup>, Mário Ferreira Lima Filho<sup>2</sup>, Alex Francisco Antunes<sup>3</sup>, Liliane Rabelo Cruz<sup>2,4</sup>, Camilla Bezerra de Almeida<sup>4</sup>, Marcos Antonio Leite do Nascimento<sup>3</sup>, Ingrid Maria Guimarães Guedes<sup>3</sup>, Luiz Jorge Frutuoso Jr.<sup>4</sup>, Zorano Sérgio de Souza<sup>1</sup>, Virgínio Henrique M. Lopes Neumann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geologia e Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN e PRH22 – ANP, Campus Universitário, CEP 59078-970, Natal – RN, e-mail: emanuel@ccet.ufrn.br

<sup>2</sup> Departamento de Geologia e Programa de Pós-Graduação em Geociências – UFPE e PRH26 – ANP, Cidade Universitária, CEP 59040-630, Recife – PE

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN e Bolsista PRH22 – ANP, Campus Universitário, CEP 59078-970, Natal – RN

<sup>4</sup> Curso de Geologia – UFRN e Bolsista PRH 22 – ANP, Campus Universitário, CEP 59078-970, Natal – RN

\*Trabalho realizado com apoio/sob contrato com a Agência Nacional de Petróleo - ANP

**Resumo** – A Sub-bacia de Pernambuco constitui uma das fronteiras exploratórias na costa leste do Brasil. Esta sub-bacia oferece um exemplo aflorante de uma seqüência rifte, compreendendo a Formação Cabo e a Suíte Magmática Ipojuca. A fácies mais característica da Formação Cabo são os conglomerados contendo blocos e seixos, depositados como leques aluviais associados às falhas normais na borda da bacia. Estas falhas dispõem-se de forma escalonada, sendo as regiões de ponte ocupadas por falhas de transferência, normalmente com rejeito oblíquo/dextral. Na região do Grande Recife, ou nas proximidades do Alto de Maragogi, a Formação Cabo assenta em não conformidade sobre o embasamento precambriano; neste caso, os litotipos basais são arenitos de granulometria variada, com ausência ou reduzida expressão do vulcanismo. Um outro tipo de relação de borda é observado na região de Camela, onde a base da Formação Cabo (novamente dominada por arenitos) é acompanhada por uma zona de descolamento distensional, na qual se enraízam falhas listricas antitéticas e sintéticas. Todas essas estruturas obedecem a um eixo principal de distensão NW-SE, que identifica a abertura oblíqua do rifte, neste setor da margem continental. Estes dados vão compor um modelo tectono-estratigráfico a ser utilizado na reavaliação do potencial petrolífero desta bacia.

Palavras-Chave: relações de borda, seqüência rifte, Sub-bacia de Pernambuco

**Abstract** – The Pernambuco Sub-basin is one of the exploration frontiers along the eastern Brazilian coast. This sub-basin presents an example of an outcropping rift sequence, comprising the Cabo Formation and the Ipojuca Magmatic Suite. A characteristic facies of the Cabo Formation is made up by conglomeratic fans with large blocks and pebbles, adjacent to normal faults along the basin border. These faults display an *en échelon* arrangement, with oblique/dextral transfer faults occupying the bridge sectors. In the Grande Recife region, or close to the Maragogi High, the Cabo Formation unconformably overlies the Precambrian basement; in this case, the basal sediments are sandstones with variable granulometry, volcanics being absent or very subordinate. Another kind of border relation is observed in the Camela region, where the base of the Cabo Formation (once again dominated by sandstones) is accompanied by an extensional detachment, in which listric antithetic and synthetic faults are rooted. These structures define a NW-SE trending major extension axis, identifying an oblique rift opening along this sector of the continental margin. These data will be integrated in a tectono-stratigraphic model to be used in re-evaluating the oil potential of this basin.

Keywords: border relations, rift sequence, Pernambuco Sub-basin

## 1. Introdução

Embora situada entre duas bacias produtoras (Potiguar a norte/NW, e Sergipe-Alagoas, a sul), a Bacia Pernambuco-Paraíba tem despertado pouco interesse prospectivo, em função de um quadro geológico considerado como de baixo potencial para ocorrências significativas. A Agência Nacional de Petróleo (ANP) está desenvolvendo um projeto de reavaliação dos dados existentes na bacia, acoplado a uma revisão geológica, de modo a estabelecer estratégias futuras de exploração. O projeto está sendo executado pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, reunindo pesquisadores dessa instituição e da UFPE.

Tendo em vista os grandes traços geológicos, a Bacia Pernambuco-Paraíba é dividida em dois segmentos, as sub-bacias da Paraíba e de Pernambuco, situadas respectivamente a norte e a sul do Lineamento Pernambuco, que é interceptado pela linha de costa. A Sub-bacia da Paraíba exibe expressiva cobertura neocenozóica, que capeia sedimentos do estágio drifte; deste modo, sua borda é definida por relações de não conformidade, e a seqüência rifte só ocorre na porção *offshore* da sub-bacia.

Ao contrário, na Sub-bacia de Pernambuco a cobertura neocenozóica tem ocorrência mais restrita. Capeada por esses sedimentos mais novos, ou por unidades da seqüência drifte, esta sub-bacia oferece boas (ressalvado o forte intemperismo na faixa litorânea) exposições da seqüência rifte, que compreende as rochas siliciclásticas da Formação Cabo e as rochas vulcânicas e plutônicas da Suíte Magmática Ipojuca (abreviada por SMI).

O conhecimento geológico sobre a Sub-bacia de Pernambuco foi sintetizado e reavaliado por Feijó (1994) e Lima Filho (1998), entre outros. A borda da sub-bacia, delimitada pelo embasamento precambriano, tem sido classicamente referida e mapeada como falhas normais, acompanhadas por conglomerados com blocos e seixos do embasamento cristalino, a fácies mais característica da Formação Cabo. Lima Filho (1998) e Polônia (1997) também mapearam falhas de rejeito direcional, interligando as falhas normais, interpretadas como falhas transcorrentes ou de transferência.

O presente trabalho detalha outros tipos de relações de borda da sub-bacia, que constituem parâmetros importantes para delinear a distribuição e arquitetura dos depósitos do estágio drifte, cujas rochas constituem os possíveis geradores para esta bacia. O modelo desenvolvido no continente será utilizado posteriormente para recompor a geometria dos depocentros na porção submersa da bacia.

## 2. A Seqüência Rifte na Sub-Bacia de Pernambuco

A seqüência rifte desta sub-bacia aflora no continente, desde o sul de Recife até a região de Tamandaré. O limite norte dessa faixa de ocorrência é condicionado (ou pelo menos, influenciado) pelo Lineamento Pernambuco; a norte desta estrutura (Sub-bacia da Paraíba), a seqüência rifte é restrita à porção *offshore* da bacia. O mesmo ocorre ao longo do Alto de Maragogi (sul de Tamandaré), que marca o limite com a Bacia de Alagoas. A oeste, aflora o embasamento cristalino precambriano, e a caracterização desse limite é o objeto principal desta contribuição.

A seqüência rifte desta sub-bacia tem idade aptiana-albiana e é constituída pelas rochas siliciclásticas da Formação Cabo e pelas rochas ígneas (vulcânicas e o “Granito do Cabo”) da Suíte Ipojuca.

A Formação Cabo é constituída por leques aluviais e depósitos lacustres arrançados em três fácies (Lima Filho 1998). A *fácies proximal* é composta por conglomerados polimíticos de matriz arcoseana, imatura. Os fragmentos (e mais caracteristicamente, seixos e grandes blocos) são derivados do embasamento cristalino. A *fácies mediana* está representada por arenitos grossos a conglomeráticos, arcoseanos, com níveis de conglomerados e siltico-areníticos. A *fácies distal* é composta por siltitos, argilitos e folhelhos, intercalados com arenitos. Nesta fácies a sedimentação lacustre (lagos tectonicamente controlados, na fase rifte) é representada por folhelhos, enquanto que a sedimentação turbidítica é registrada pelas intercalações arenosas, silticas e argílicas, que representam as progradações e retrogradações das porções distais do leque aluvial interrompendo a sedimentação no lago.

O conteúdo fossilífero da Formação Cabo, em especial as palinozonas P-260, P-270 e P-280, identificadas no *Poço do Cupe* (Feijó 1994, Lima Filho 1998), permitem inferir uma idade Aptiana-Albiana (Alagoas) para esta unidade.

A Suíte Magmática Ipojuca (Cruz 2002) é composta por rochas vulcânicas e hipabissais/epizonais, incluindo basaltos, traqui-andesitos e traquitos, riolitos, piroclásticas e o Granito do Cabo de Santo Agostinho. Todas essas rochas estão intercaladas ou encaixadas nos litotipos da Formação Cabo. A presença de derrames e camadas piroclásticas (inclusive na base do pacote sedimentar), junto com corpos intrusivos, indica que o magmatismo foi contemporâneo e sucedeu (provavelmente por curto lapso de tempo) a deposição dos sedimentos. Este conjunto de litotipos ígneos parece estar filiado a dois magmas parentais (básico e ácido), pelo menos em parte coexistentes, ambos de afinidade alcalina (Nascimento *et al.* 2002).

As idades radiométricas mais confiáveis, para as rochas da Suíte Ipojuca, variam de 100 a 111 Ma (isócrona Rb-Sr e dados Ar/Ar; Long *et al.* 1986; Lima Filho e Szatmari 2002), em concordância aproximada com os dados bioestratigráficos e as relações de campo. Todavia, algumas idades K-Ar, obtidas previamente (Vandoros *et al.* 1996), parecem ser anormalmente jovens (com até 85 Ma).

A Formação Cabo é recoberta por margas e carbonatos da Formação Estiva, pobremente exposta e cujos escassos registros fossilíferos indicam idades variando do Albiano ao Santoniano, em diferentes localidades (Lima Filho 1998). Alternativamente, os sedimentos sobrepostos correspondem à Formação Algodoads (idade incerta, pós-

Santoniano a Paleógeno). Superfícies de discordância são reconhecidas na base destas duas últimas formações; considerações sobre o nível de alojamento de alguns corpos ígneos (como o *Granito do Cabo*) sugerem a remoção erosional de uma seção expressiva do topo da sequência rifte (até centenas de metros, pelo menos em alguns setores), antes da deposição daquelas unidades mais jovens.

### 3. A Tectônica do Estágio Rifte a as Bordas da Bacia

Dados regionais, obtidos nas Bacias Potiguar e Sergipe-Alagoas, indicam uma distensão cretácea polifásica e variável no espaço e no tempo (Matos 1999). Para a Sub-bacia de Pernambuco, considerando-se um início de rifteamento no Aptiano inferior (ou mesmo no final do Barremiano), correspondente à fase sin-rifte III daquele autor, o eixo principal de distensão ( $\sigma_3$ ) teria orientação NW. Este contexto tectônico representaria a continuidade do estiramento associado à abertura da Bacia Sergipe-Alagoas, migrando para norte e afetando rochas albianas.

As falhas deste evento delimitam, em grande parte, a seção rifte da bacia (a Formação Cabo e a Suíte Ipojuca), em relação ao embasamento cristalino, a oeste, e constituem a sua estruturação principal (figura 1). Lima Filho (1998) e Polônia (1997) mapearam falhas de borda e internas na bacia, principalmente com *trend* NE, com rejeitos tipo normal, e falhas com *trend* NW/NNW, de rejeito direcional. Estas últimas possuem rejeito predominantemente dextral e são compatíveis com estruturas de transferência. A direção de distensão NW (com transporte tectônico predominante para SE) indica que a abertura do rifte se deu obliquamente ao seu eixo principal, inferido pela orientação da linha de costa e da quebra da plataforma.

A direção NE das falhas normais coincide com a estruturação dúctil do embasamento. Neste último, também se destacam estruturas transversais, com *trend* NW, que neste caso correspondem às falhas de transferência. Estes dois tipos de falhas definem, em sua maior parte, a borda continental da bacia. Todavia, foram reconhecidos setores nos quais a Formação Cabo (ou rochas vulcânicas) capeia o cristalino em não conformidade, ou é delimitada com o mesmo por falhas distensionais de baixo ângulo, feições até então desconhecidas.

Eventos mais jovens reativaram as falhas do estágio rifte (com cinemática similar ou distinta) e/ou originaram novas estruturas, todas assinaladas nas unidades pós-rifte.

### 4. Os Diferentes Tipos de Relações de Bordas

#### 4.1. Bordas Definidas por Falhas Normais de Alto Ângulo

Os setores da sub-bacia, com borda definida por falhas normais de alto ângulo, com *trend* NE, são caracteristicamente acompanhados por espessas cunhas de conglomerados da fácies proximal (Formação Cabo). Setores que exemplificam este tipo de borda ocorrem nas vizinhanças das cidades do Cabo e de Ipojuca. Nestes casos, o acamamento (localmente definido por níveis de granulometria mais fina) mergulha para o interior da bacia (SE) ou contrariamente às falhas, sugerindo rotação de blocos ou falhas lítricas. O arranjo de fácies da Formação Cabo fica bem explicado neste contexto, onde as escarpas de falhas ativas serviam como área de suprimento sedimentar para os conglomerados e arenitos adjacentes. A partir do mapeamento (incluindo valores de mergulho e cotas topográficas), a espessura mínima da Formação Cabo pode ser estimada na ordem de algumas centenas de metros (Cruz 2002), sendo interessante comparar tais valores com aqueles obtidos em poços perfurados (2.900 m no Poço do Cupe; 1.080 m no Poço de Piedade), sem que o embasamento tenha sido atingido. Também é importante frisar que as principais áreas de ocorrência das vulcânicas da Suíte Ipojuca coincidem com este tipo de borda, todavia localizadas em baixos estruturais internos. As falhas de borda devem ter funcionado com geometria tipo piso-e-rampa, conforme sugerido por estruturas de escala mesoscópica (falhas de alto e de baixo ângulo).

#### 4.2. Bordas Definidas por Falhas de Transferência

As falhas normais com *trend* NE ocorrem em um padrão de revezamento sinistrógiro. As regiões de ponte são estruturadas por falhas de alto ângulo, com direção NW e rejeito oblíquo ou direcional, predominantemente dextral. Bons exemplos deste tipo de contato ocorrem entre as cidades do Cabo e Ipojuca, bem como no entorno da Usina Trapiche, a norte de Sirinhaém. Em alguns casos, as zonas de transferência apresentam boa continuidade no interior da bacia, como no caso da estrutura do Engenho Caetés (SW de Cabo), que se prolonga em falhas oblíquas/direcionais que interceptam e controlam o alojamento do Granito do Cabo de Santo Agostinho, e ajudam a definir blocos rebaixados, que hospedam rochas vulcânicas. Neste tipo de borda, a Formação Cabo também se representa por sua fácies conglomerática, proximal.

#### 4.3. Bordas Definidas por Não Conformidade

Este tipo de borda foi agora reconhecido na região de Recife (BR-101 Sul) e a SE de Rio Formoso (estrada para o Engenho Amaragi/Rio Ariquindá; Morro do Cruzeiro na foz do Rio Formoso). Nestes casos, o embasamento precambriano é capeado pela fácies mediana (arenitos com intercalações conglomeráticas e siltico-argilosas) da Formação Cabo, indicando a ausência de escarpas próximas; localmente, a base da seção rifte inicia por lavas traquíticas (Morro do Cruzeiro). Este tipo de relação poderia representar uma rampa homoclinal (Recife ?), o piso da

bacia num setor localizado entre duas zonas de falhas normais (Sítio Barbalho, próximo à cidade do Cabo, onde os conglomerados capeiam diretamente o cristalino), ou uma rampa de revezamento (como pode ser o caso na região a SW de Tamandaré).

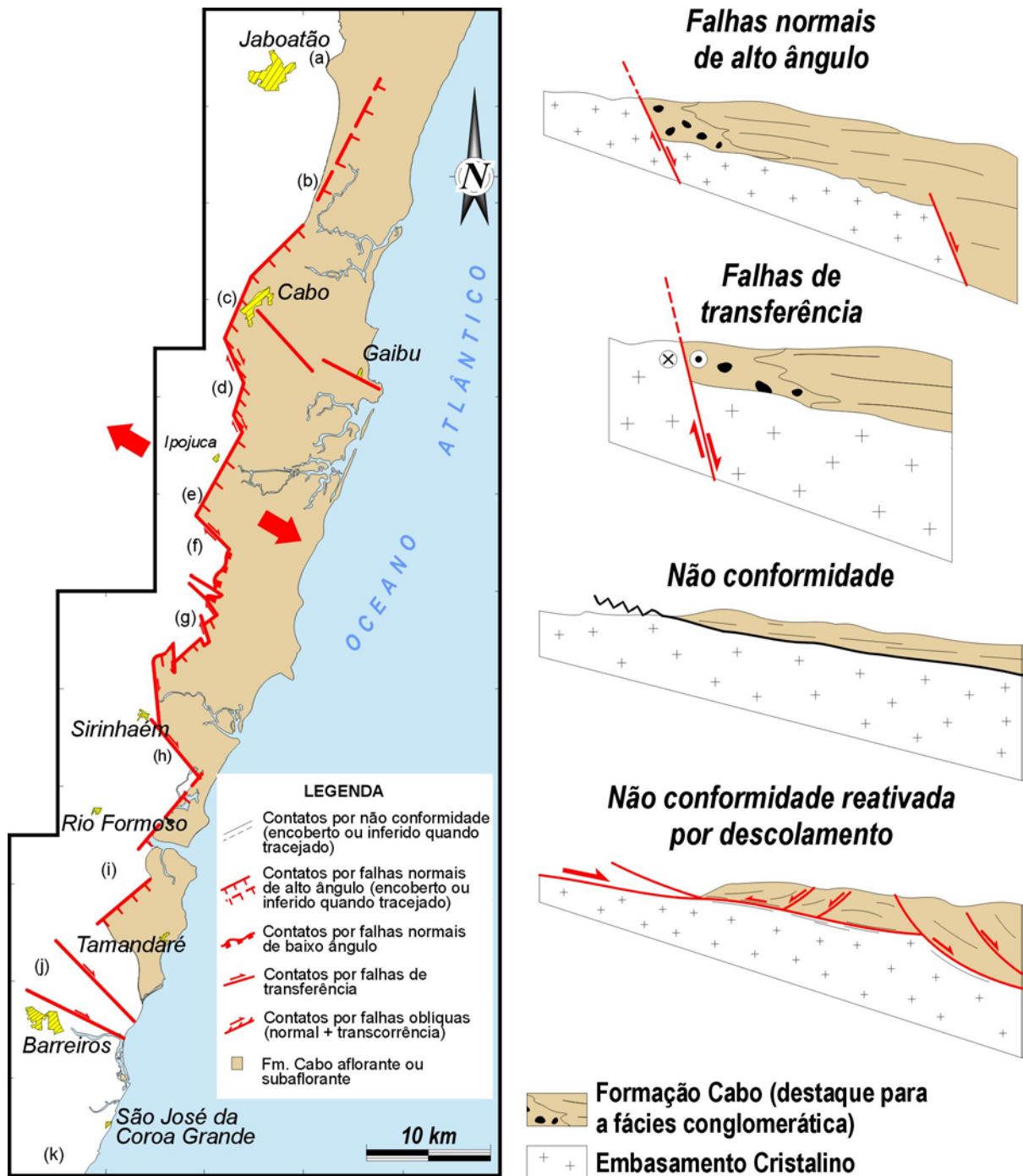


Figura 1: Arcabouço geológico-estrutural simplificado da Sub-Bacia de Pernambuco.

#### 4.4. Bordas Definidas por Zonas de Descolamento Distensionais

Neste outro tipo de relação, a base da Formação Cabo está marcada por uma superfície de *detachment*, paralela ou em baixo ângulo com o acamamento. Este tipo de contato foi reconhecido a leste de Camela, na estrada para Ponta de Serrambi e na região do Engenho Caeté. Na primeira localidade, falhas listricas, predominantemente antitéticas (mergulhos para NW) e com estruturas *roll-over* associadas, estão enraizadas no descolamento, que neste caso exibe, localmente, movimento antitético (*up-dip*). No Engenho Caeté, sítios de distensão (*pull-apart* ou interconexões do *detachment* com falhas de alto ângulo) controlam o alojamento de corpos riolíticos, encaixados na base da Formação Cabo ou no contato com o embasamento. O pacote sedimentar (seção rifte) pode ser descrito como parautóctone; a não conformidade originalmente presente foi aproveitada pelo descolamento.

## 5. Discussão Final e Implicações

As relações descritas constituem um modelo para os diferentes tipos de contato e relações de borda entre uma seqüência rifte e o embasamento cristalino, válidas tanto para comparações e extrapolações de estilos estruturais e arquitetura dos depósitos rifte, para o setor *offshore* desta sub-bacia (Pernambuco) e de bacias vizinhas (Paraíba, Alagoas e outras mais a sul, ao longo da margem oriental do continente). Os contatos por falhas normais constituem a relação clássica, originalmente reconhecida na bacia (Rand e Manso 1990). Falhas em meso-escala, e o basculamento do acamamento, conduzem à possibilidade de geometrias tipo lítrica ou de piso-e-rampa, para estas falhas. As bordas definidas por zonas de transferência acomodam a deformação distensional numa zona com geometria revezada, e o conjunto desses segmentos e dados cinemáticos associados permite delinear a abertura oblíqua do rifte, nesta sub-bacia; a implantação dessas falhas parece ter sido controlada pelo *fabric* (NE) e estruturas frágeis precambrianas. Relações de não conformidade podem representar interrupções e zonas de ponte no enxame de falhas de borda. O reconhecimento de falhas de baixo ângulo (*detachments*) tem implicações para a magnitude da deformação distensional na Sub-bacia de Pernambuco; os estilos estruturais associados exemplificam os possíveis trapas que podem estar presentes no setor submerso da sub-bacia, de maior potencial prospectivo.

## 6. Referências

- CRUZ, L. R. Mapeamento geológico da região de Cabo (PE), Sub-Bacia de Pernambuco. Relat. Graduação, Curso de Geologia, UFRN, Natal: 74p, 2002.
- FEIJÓ, F. J. Bacia Pernambuco-Paraíba. *Bol. Geociências PETROBRAS*, 8: p. 143-147, 1994.
- LIMA FILHO, M. F. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco. Tese de Doutorado, Inst. Geociências, USP, São Paulo: 139p, 1998.
- LIMA FILHO, M. F., SZATMARI, P. Ar-Ar geochronology of volcanic rocks of the Cabo Magmatic Province (CMP) – Pernambuco Basin. *Resumos II Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados*, p. 59-59, 2002
- LONG, L. E., SIAL, A. N., EKVANIL, H. E., BORBA, G. S. Origin of granite at Cabo de Santo Agostinho - Northeast Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92: p. 341-350, 1986.
- MATOS, R.M.D. History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa. In: CAMERON, N. R.; BATE, R. H.; CLURE, V. S. (eds.). *The oil and gas habitats of the South Atlantic*. Geol. Soc. Spec. Publ., 153: p. 55-73, 1999.
- POLÔNIA, J. A. P. Geometria e cinemática do Rifte do Cabo, litoral sul do Estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, Inst. Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro: 132p., 1997.
- RAND, H., MANSO, V. A. V. Mapas gravimétricos e magnetométricos da faixa costeira do Nordeste do Brasil. *Anais XXXVI Congr. Bras. Geol.*, 5: p. 2431-2438, 1990.
- VANDOROS, P., CORDANI, U. G., MATZKO, J. J. Idades absolutas das rochas ígneas da região do Cabo. *Anais XX Congresso Brasileiro de Geologia*, 1: p. 64-66, 1966.