

O soerguimento do domínio Macururé e sua influência na sedimentação turbidítica no Cretáceo Superior da Sub-bacia de Sergipe, Bacia de Sergipe-Alagoas

Macururé domain uplift and its influence on Upper Cretaceous turbidity sedimentation of Sergipe Sub-basin, Sergipe-Alagoas Basin

Cristiano Camelo Rancan¹, Filipe Silva Lira², Edison Massato Nishimura³, Ana Lucia Novaes de Araújo⁴

resumo

A Bacia de Sergipe-Alagoas situa-se no nordeste do Brasil, em um contexto regional que inclui terrenos geológicos de diferentes idades e ambiências tectônicas. Os terrenos pré-cambrianos componentes do Escudo Atlântico são: Cráton do São Francisco, Maciço Pernambuco-Alagoas e Faixa Sergipana. Os terrenos fanerozoicos estão distribuídos nos riftes juro-cretácicos abortados das bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá, além da Bacia de Sergipe-Alagoas, foco deste trabalho.

A Formação Calumbi, associada à sedimentação da fase drifte da bacia em estudo, constitui um importante alvo na exploração e produção de hidrocarbonetos, com reservatórios senonianos presentes nos campos de Ilha Pequena, cidade de Aracaju, Angelim, Brejo Grande, Ponta dos Mangues, Salgo, Robalo, Mero e Piranema. No Terciário, são produtores os campos de Guaricema e Dourado. O estudo detalhado da gênese e processos envolvidos na erosão, transporte e deposição

dos arenitos do Cretáceo Superior da Sub-bacia de Sergipe elevaram a compreensão sobre a evolução sedimentar e estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas durante o Senoniano. Os estudos de proveniência da Formação Calumbi, que incluíram geoquímica de granadas, traço de fissão de apatita, sedimentologia e sísmica, indicam o Domínio Macururé (porção setentrional da Faixa Sergipana) como a principal fonte dos arenitos campanianos/maastrichtianos, com subordinada contribuição do Cráton do São Francisco. O soerguimento diferencial desses terrenos pode ter origem nos movimentos relacionados à ativação de grandes zonas de fratura oceânicas (zonas de fratura de Sergipe e Maceió-Ascensão), induzidas pela expansão do assoalho oceânico e controladas por antigas zonas de cisalhamento no embasamento (falhas associadas aos sistemas de Vaza-Barris e São Miguel do Aleixo).

Palavras-chave: Bacia de Sergipe-Alagoas | Cretáceo Superior | Formação Calumbi | Campo de Piranema | turbiditos | área-fonte | Faixa Sergipana | Domínio Macururé | Cráton do São Francisco

¹ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas. Exploração. Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica. cristianorancan@petrobras.com.br

² Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas. Ativo de Produção Sergipe Mar. Reservatórios. filipelira@petrobras.com.br.

³ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas. Engenharia de Produção. Caracterização e Estudos Especiais de Reservatórios. massato@petrobras.com.br.

⁴ Petrobras. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. P&D de Exploração. Gerência de Sedimentologia e Petrologia. ana.novaes@petrobras.com.br.

abstract

The Sergipe-Alagoas Basin is located in northeast Brazil, in a regional context that includes geological terrains of different tectonic settings and ages. The precambrian terrains of the Atlantic Shield are: São Francisco Craton, Pernambuco-Alagoas Massif and Sergipana Fold Belt. The phanerozoic terrains are distributed in Upper Jurassic to Early Cretaceous aulacogens of the Recôncavo, Tucano and Jatobá basins, including Sergipe-Alagoas Basin, which is the object of this study. The Calumbi Formation, related to the drift stage of the Sergipe-Alagoas Basin sedimentation, is an important hydrocarbon exploration and production target, with senonian reservoirs present in the oil fields of Ilha Pequena, Cidade de Aracaju, Angelim, Brejo Grande, Ponta dos Mangues, Salgo, Robalo, Mero and Piranema. The Calumbi Formation is also a producer in the Tertiary reservoirs of Guaricema and Dourado oil fields. The detailed study of genesis and processes related to erosion, transportation and deposition of the Upper Cretaceous sandstones in the Sergipe Sub-basin has brought a better understanding of the sedimentological and structural evolution of the Sergipe-Alagoas Basin, during the Senonian. Provenance studies of the Calumbi Formation, including geochemistry, apatite fission track, sedimentology and seismic data, indicates Macururé Domain (Northern Sergipana Fold Belt) as the main source of the Campanian to Maastrichtian sandstones, with some contribution from the São Francisco Craton. The differential uplift of these terrains could have resulted from oceanic fracture zones activation movements (Sergipe and Maceió-Ascensão fracture zones), induced by oceanic seafloor spreading and controlled by ancient shear zones in the basement (faults related to Vaza-Barris and São Miguel do Aleixo systems).

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: *Sergipe-Alagoas Basin | Upper Cretaceous | Calumbi Formation | Piranema Field | turbidite | source area | Sergipana Fold Belt | Macururé Domain | São Francisco Craton*

introdução

A Bacia de Sergipe-Alagoas situa-se no nordeste do Brasil, estabelecida em um contexto regional que

inclui terrenos geológicos de diferentes idades e ambiências tectônicas (fig. 1). Os terrenos pré-cambrianos componentes do Escudo Atlântico são: Cráton do São Francisco, Maciço Pernambuco-Alagoas e Faixa Sergipana. Os terrenos fanerozoicos estão distribuídos nos riftes juro-cretácicos abortados das bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá, além da Bacia de Sergipe-Alagoas, foco deste trabalho.

A Formação Calumbi (figs. 2 e 3), associada à sedimentação da fase drifte da bacia em estudo, constitui um importante alvo na exploração e produção de hidrocarbonetos (figs. 4 e 5), com reservatórios neocretácicos presentes nos campos de Ilha Pequena, cidade de Aracaju, Angelim, Brejo Grande, Ponta dos Mangues, Salgo, Robalo, Mero e Piranema. No Terciário, são produtores os campos de Guaricema e Dourado.

O campo de Piranema, primeira descoberta em águas profundas fora da Bacia de Campos, situa-se a cerca de 40km ao sul de Aracaju, com lâmina d'água variando de 50 a 2.000m (fig. 4). O levantamento e estudo de dados de proveniência realizados neste campo indicaram as possíveis áreas-fonte para os reservatórios explorados.

embasamento da Bacia de Sergipe-Alagoas

O embasamento da Bacia de Sergipe-Alagoas é constituído por rochas do Cráton do São Francisco e da Província Borborema (Maciço Pernambuco-Alagoas e Faixa Sergipana (fig. 1). A seguir, será apresentada uma descrição sucinta de cada um desses domínios.

Cráton do São Francisco

As rochas do Cráton do São Francisco são metamórficas ortoderivadas (com paraderivadas subbordinadas), cristalizadas no Meso a Neoarqueano, metamorfizadas e deformadas durante a Orogênese Transamazônica no Paleoproterozoico (Kosin *et al.*, 2004), na consolidação do Supercontinente Atlântica. Estão representadas por um pequeno apêndice do cráton na porção meridional do estado de Sergipe (figs. 1 e 6), inclusas no extremo leste do Bloco Serpentina, que foi dividido em leste e oeste, no processo de abertura da Bacia de Tucano.

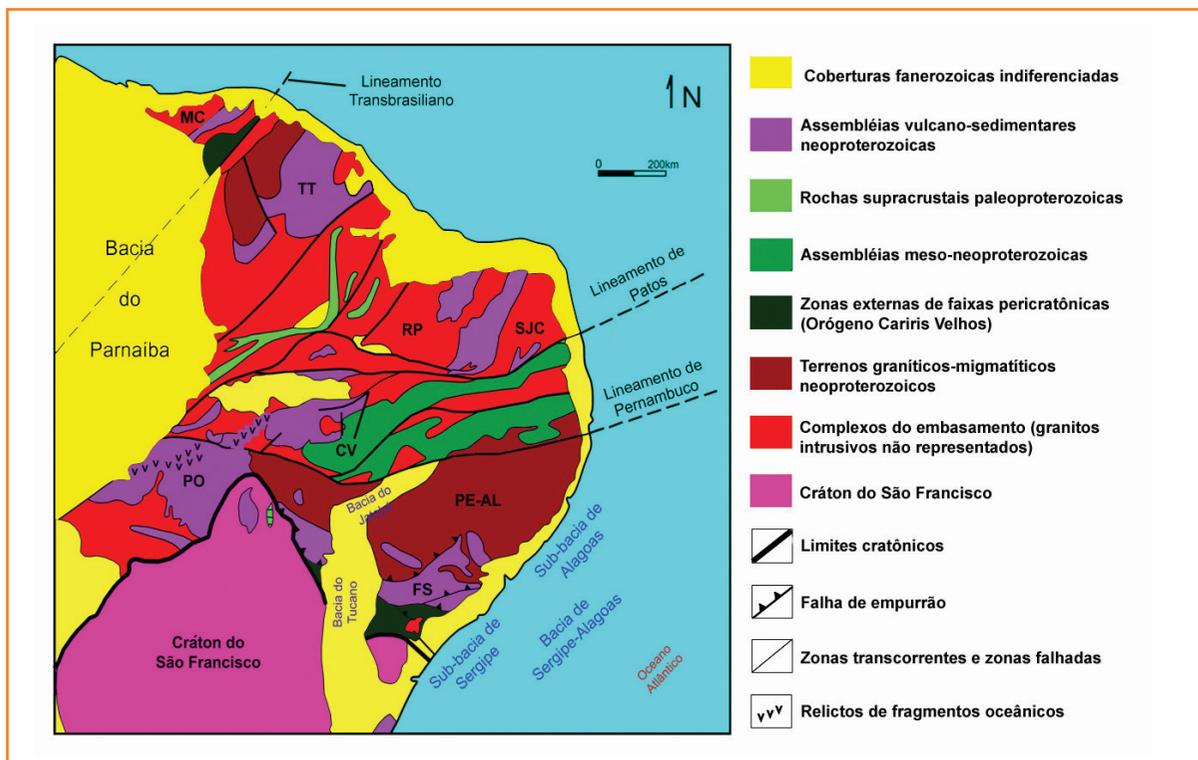


Figura 1 – Contexto tectônico do Nordeste do Brasil com a compartimentação da Província Borborema (MC: Domínio Médio Coreau; TT: Maciço Tróia-Tauá; RP: Maciço Rio Piranhas; CV: Faixa Cariris-Velhos; PE-AL: Maciço Pernambuco-Alagoas; FS: Faixa Sergipana; PO: Faixa Riacho do Pontal), o Cráton do São Francisco e os terrenos de idade Fanerozoica (modificado de Cordani *et al.*, 2000). Os terrenos que atuam como embasamento para a Bacia de Sergipe-Alagoas são o Cráton do São Francisco e a Faixa Sergipana (Sub-bacia de Sergipe), além do Maciço Pernambuco-Alagoas (Sub-bacia de Alagoas). Também estão presentes os riftes abortados juro-cretácicos das bacias de Tucano e Jatobá.

Figure 1 – Tectonic map of Northeast Brazil, highlighting Borborema Province partitioning (MC: Médio Coreau Domain; TT: Tróia-Tauá Massif; RP: Rio Piranhas Massif; CV: Cariris-Velhos Fold Belt; PE-AL: Pernambuco-Alagoas Massif; FS: Sergipana Fold Belt; PO: Riacho do Pontal Fold Belt), São Francisco Craton and Phanerozoic basins (modified from Cordani *et al.*, 2000). These terrains form the basement for the Sergipana Fold Belt and São Francisco Craton as well as Sergipe Sub-basin and Pernambuco-Alagoas Massif of the Alagoas Sub-basin. Jurassic to Cretaceous aborted rift basins (Tucano and Jatobá) are also present.

Maciço Pernambuco-Alagoas

As rochas do Maciço Pernambuco-Alagoas estão distribuídas nos complexos metassedimentares a metavulcano-sedimentares Cabrobó e Belém do São Francisco, em sua maioria de idade mesoproterozoica, intrudidos por granitoides neoproterozoicos (fig. 1). O metamorfismo atinge a fácies anfíbolito em algumas áreas, marcadas pela presença de granada e cianita (Delgado *et al.*, 2003).

Faixa Sergipana

A Faixa Sergipana corresponde a um cinturão metavulcano-sedimentar neoproterozoico de direção

NNW-SSE, intrudido por granitoides sin a pós-tectônicos nos períodos Criogeniano a Ediacarano (D'el-Rey Silva, 1995; Kosin *et al.*, 2004; Silva Filho *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2006), que possuem ocorrência restrita à porção setentrional da mesma (fig. 7). Em seu embasamento, estão rochas das janelas estruturais dos domos de Itabaiana, Simão Dias e Jirau do Ponciano (predominantemente ortognaisses, com ocorrência subordinada de supracrustais, com idades neoarqueanas a paleoproterozoicas).

A faixa está delimitada ao norte pelo Maciço Pernambuco-Alagoas e ao sul pelo Cráton do São Francisco. A porção oeste é seccionada pela Bacia de Tucano e a porção leste atua como embasamento para a Sub-bacia de Sergipe (fig. 7).

A faixa supracitada é dividida em seis domínios litotectônicos: Canindé, Poço Redondo, Marancó,

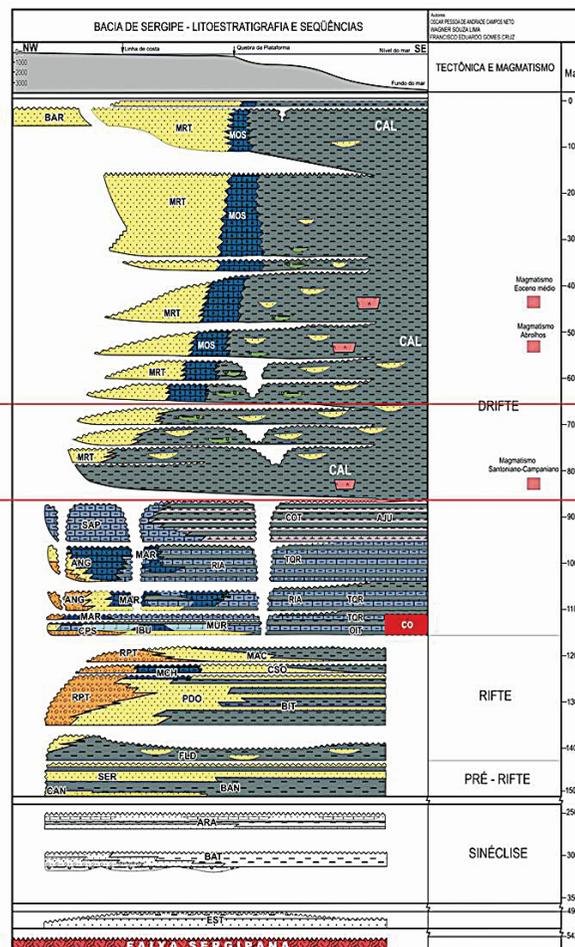
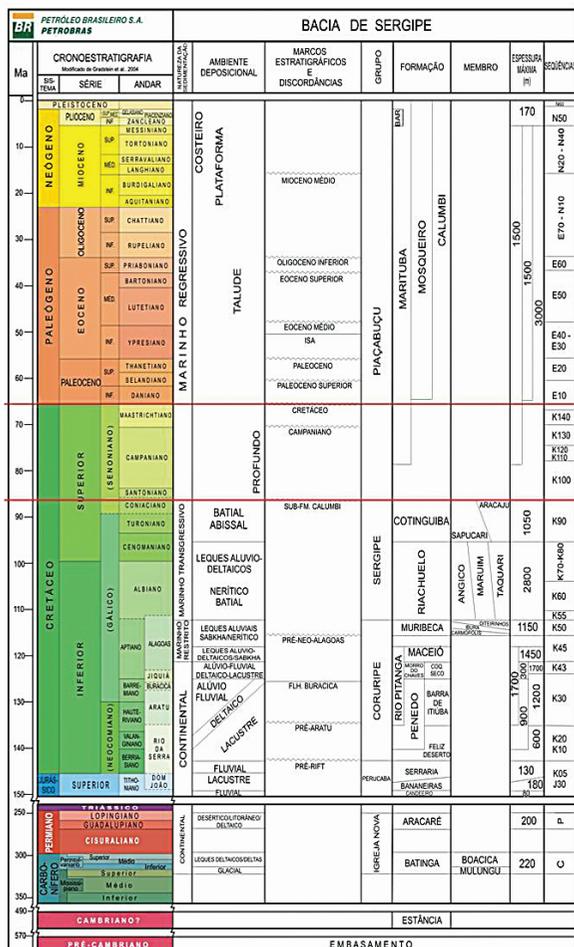


Figura 2 – Carta estratigráfica da Sub-bacia de Sergipe (Campos Neto et al., 2007). Destaque para a sedimentação siliciclástica drifte do Grupo Piaçabuçu, Formação Calumbi, ocorrida entre o Santoniano e Holoceno. O intervalo de estudo específico inclui as seqüências K100 e K110-120 (Santoniano a Eocampaniano), K130 (Neocampaniano) e K140 (Maastrichtiano).

Figure 2 – Sergipe Sub-basin Stratigraphic Chart (Campos Neto et al., 2007). Siliciclastic sedimentation of Calumbi Formation, Piaçabuçu Group, occurred between Santonian and Holocene, is highlighted. The specific studied interval includes K100 and K110-120 (Santonian to Early Campanian), K130 (Upper Campanian) and K140 (Maastrichtian) sequences.

Macururé, Vaza-Barris e Estância. Dentre estes, os três últimos serão detalhados, juntamente com o Domo de Itabaiana, em virtude de sua importância nos estudos de proveniência da Formação Calumbi.

Os diferentes domínios litotectônicos são limitados por grandes zonas de cisalhamento, denominadas de norte para sul como: Zona de Cisalhamento de Macururé (MSZ), Zona de Cisalhamento de Belo Monte-Jeremoabo (BMJSZ), Zona de Cisalhamento de São Miguel do Aleixo (SMASZ), Zona de Cisalhamento de Itaporanga (ISZ, fig. 7).

Domo de Itabaiana

As rochas do Domo de Itabaiana são ortognaisses bandados granodioríticos a graníticos e migmatitos com

enclaves de anfibólitos e metabasitos (fig. 7), presentes no embasamento do Domínio Vaza-Barris. As idades modelo estão entre 2,99 e 2,75 Ga (T_{dm}), com suposta idade de cristalização no Sideriano (Kosin et al., 2004). D'el-Rey Silva (1995) identificou o Domo de Itabaiana como um complexo de núcleo metamórfico associado a uma importante zona de cisalhamento presente na sua porção norte, conhecida como Zona de Cisalhamento de Macambira (ou Mocambo), relacionada à sua estruturação e que será citada, mais adiante, em função de sua importância na evolução fanerozoica da área.

Domínio Macururé

O Domínio Macururé é composto por granada mica-xistos (figs. 7 e 8a) e filitos, com intrusões

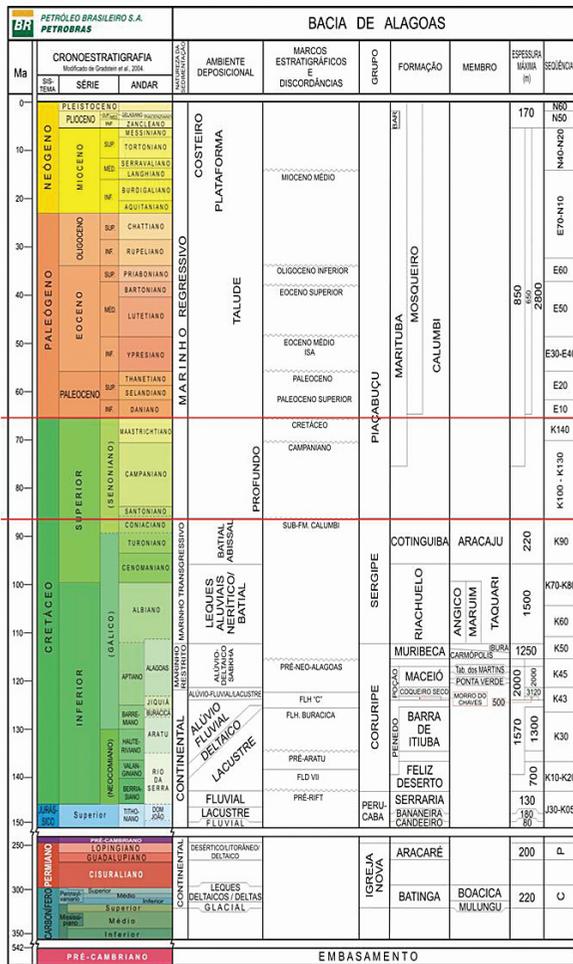


Figura 3 – Carta estratigráfica da Sub-bacia de Alagoas (Campos Neto et al., 2007). Destaque para a sedimentação siliciclástica drifte do Grupo Piaçabuçu, Formação Calumbi, ocorrida entre o Santoniano e Holoceno. O intervalo de estudo específico inclui as seqüências K100-130 (Santoniano a Campaniano) e K140 (Maastrichtiano).

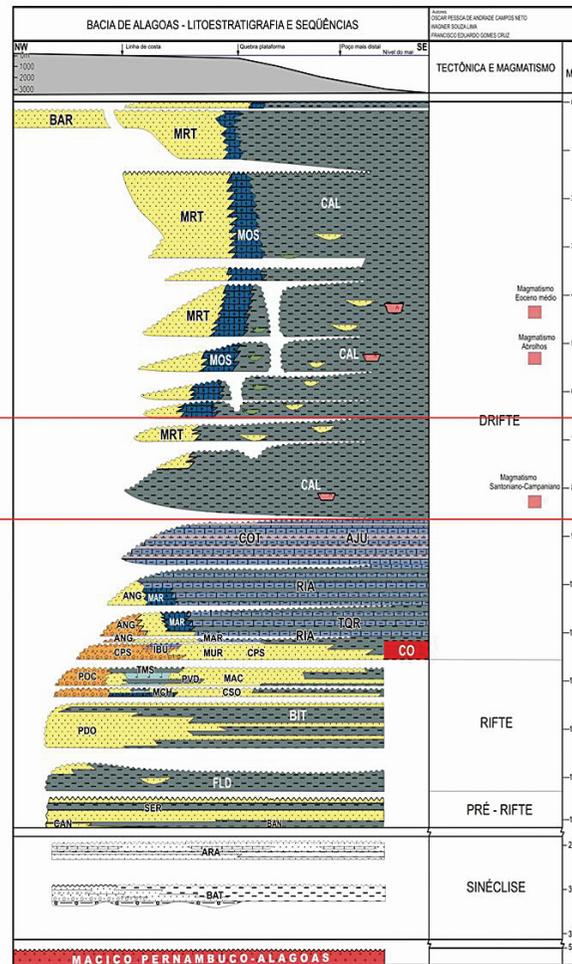


Figure 3 – Alagoas Sub-basin Stratigraphic Chart (Campos Neto et al., 2007). Siliciclastic sedimentation of Calumbi Formation, Piaçabuçu Group, (Santonian to Holocene) is highlighted. The specific studied interval includes K100-130 (Santonian to Campanian) and K140 (Maastrichtian) sequences.

de granitoides e de rochas máficas-ultramáficas (Oliveira et al., 2006). Zircões detríticos indicam deposição anterior à Orogênese Brasileira, com idade mínima de 900 Ma para a sedimentação (fig. 9a). A granitogênese é correlata àquela presente no Domínio Poço Redondo, com 628-625 Ma. O Domínio Macururé apresenta metamorfismo barroviano progressivo; do sul ao norte há transição entre isógradas da granada (ainda em xistos-verdes) e estaurólita (no início da fácies anfíbolito). Em direção ao nordeste, passa à isógrada da cianita (Silva et al., 1995) e, por fim, no sul do estado de Alagoas, alcança a isógrada da silimanita (fig. 10), cuja segunda isógrada encontra-se no Complexo Jaramataia, já na fácies granulito (Silva Filho et al., 2003).

Domínio Vaza-Barris

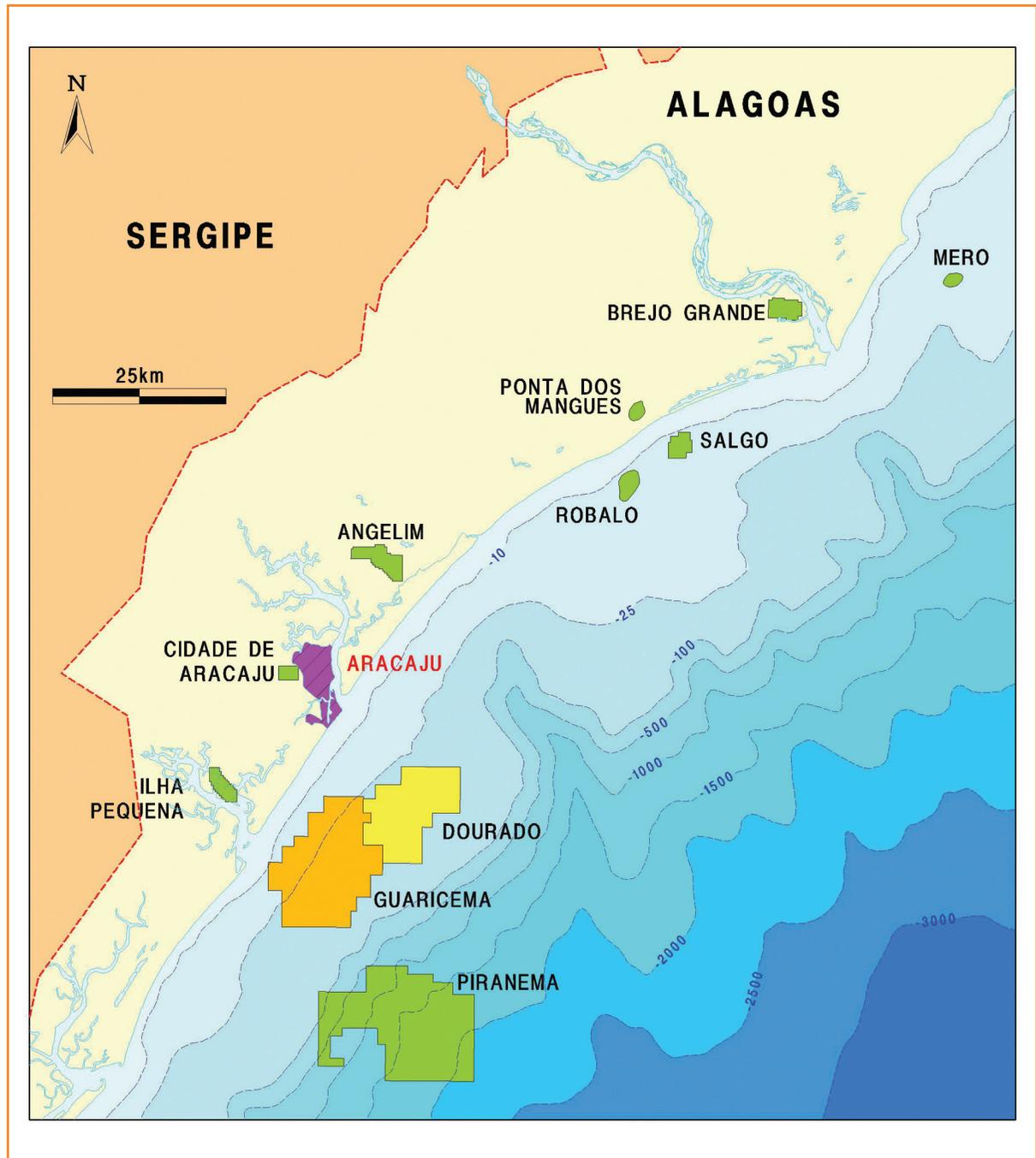
O Domínio Vaza-Barris (fig. 7), cujo embasamento é formado pelos ortognaisses do Domo de Itabaiana, é composto por rochas metassedimentares clásticas e químicas, metamorfizadas em fácies xistos verdes (D’el-Rey Silva e McClay, 1995). As datações para a sedimentação nessa bacia, conhecida como “Mar Canindé”, indicam que a deposição ocorreu há cerca de 750 Ma em dois ciclos sedimentares (fig. 10), cada um composto por uma megassequência siliciclástica capeada por uma megassequência carbonática (D’el-Rey Silva e McClay, 1995). Entretanto, amostras de zircões detríticos coletados em metagrauvacas do segundo ciclo de sedimentação (fig. 9b) indicam

Figura 4

Mapa de localização dos campos de petróleo com hidrocarbonetos em reservatórios da Formação Calumbi na Bacia de Sergipe-Alagoas. Legenda: IP (Ilha Pequena), CAU (Cidade de Aracaju), AN (Angelim), PDM (Ponta dos Mangues), RB (Robalo), SG (Salgo), BRG (Brejo Grande), ME (Mero), GA (Guaricema), DO (Dourado) e PRM (Piranema). A cor verde destaca área com ocorrência de reservatórios de idade Senoniano, laranja de idade Paleoceno Superior e amarelo de idade Eoceno Inferior. O Campo de Piranema situa-se 40 quilômetros ao sul da Cidade de Aracaju, nas águas profundas da porção meridional da Sub-bacia de Sergipe.

Figure 4

Location map of petroleum fields with hydrocarbons in Calumbi Formation reservoirs, Sergipe-Alagoas Basin. Legend: IP (Ilha Pequena), CAU (Cidade de Aracaju), AN (Angelim), PDM (Ponta dos Mangues), RB (Robalo), SG (Salgo), BRG (Brejo Grande), ME (Mero), GA (Guaricema), DO (Dourado) and PRM (Piranema). Green color highlights reservoirs with Senonian age, orange for Upper Paleocene age and yellow for Lower Eocene age. Piranema Field is situated 40 kilometers to the south of Aracaju City, in the southern deep water of Southern Sergipe Sub-basin.



idade mínima de 615 Ma para sua deposição (Oliveira *et al.*, 2006). Desta forma, é possível que, no Domínio Vaza-Barris, o primeiro ciclo sedimentar tenha ocorrido a 750 Ma e o segundo a 615 Ma, com um hiato estratigráfico considerável entre os dois ciclos de sedimentação.

Os dados também indicam forte proveniência a partir do norte, nos domínios presentes na porção setentrional da Faixa Sergipana, com contribuição menor do Cráton do São Francisco (fig. 12).

Domínio Estância

O Domínio Estância é formado por rochas sedimentares a anquimetamórficas (fig. 8c). No modelo de D'el-Rey Silva (2000), essa sedimentação ocorreu em continuidade com a sedimentação no Domínio Vaza-Barris, com o Cráton do São Francisco atuante como principal área-fonte de sedimentos (fig. 13). As idades dos zircões detríticos de Oliveira *et al.* (2006) questionam esse modelo, pois se situam entre 570 e 657 Ma

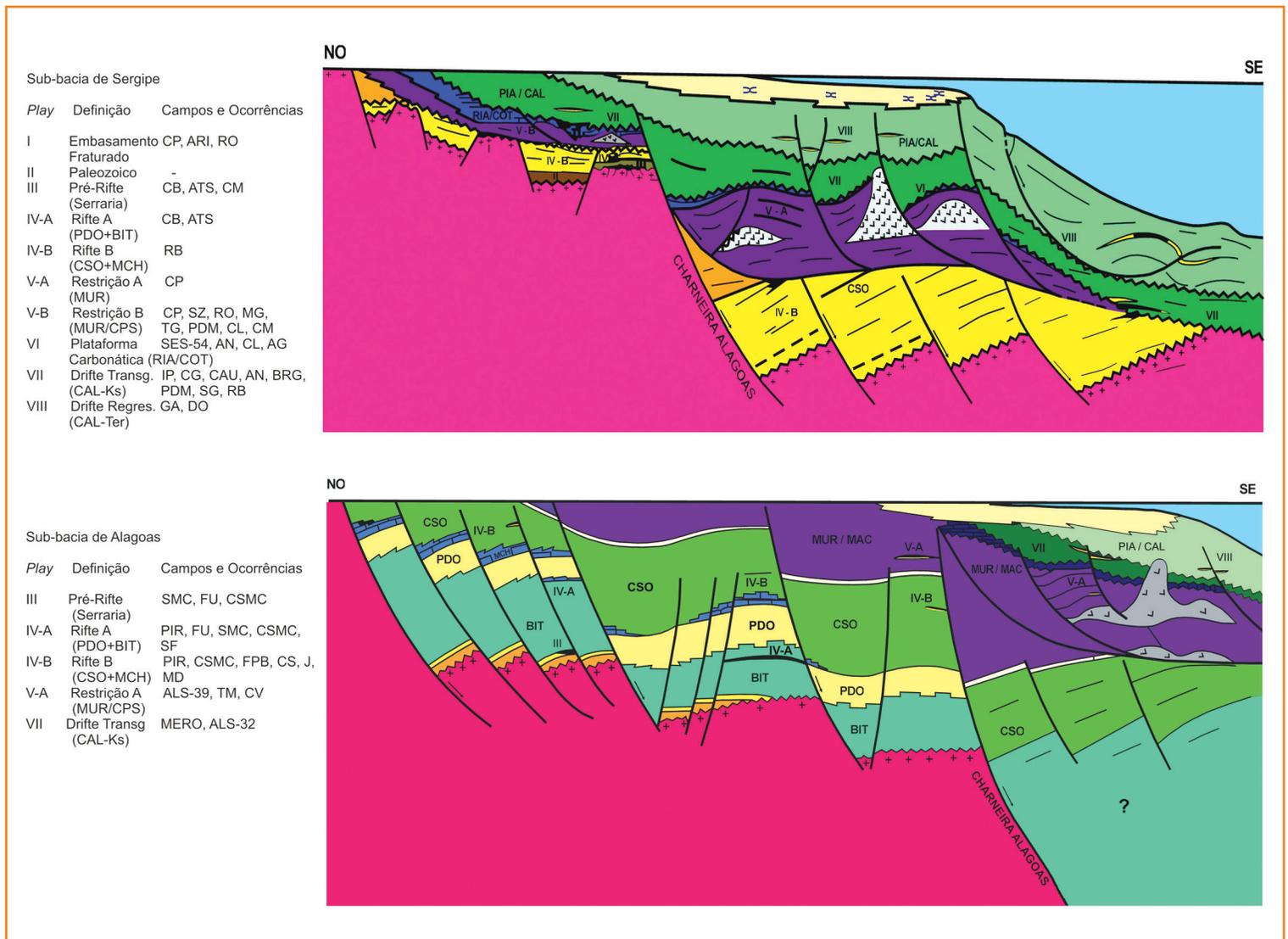


Figura 5 –Seções geológicas esquemáticas na Bacia de Sergipe-Alagoas, com a localização dos alvos exploratórios e de produção para hidrocarbonetos nos reservatórios da Formação Calumbi nos plays VII e VIII da Sub-bacia de Sergipe, drifte transgressivo e regressivo respectivamente, e VII na Sub-bacia de Alagoas, drifte transgressivo (modificado de Lana, 1990). Também estão destacados os demais alvos estudados na bacia até o início da década de 1990, com destaque para o alvo embasamento fraturado.

Figure 5 – Schematic geologic sections along Sergipe-Alagoas Basin, with locations of hydrocarbon exploratory and production targets in the Calumbi Formation reservoirs in plays VII and VIII of Sergipe Sub-basin, transgressive and regressive drift respectively, and VII in the Alagoas Sub-basin, transgressive drift (modified from Lana, 1990). Other targets, studied until the beginning of the 1990s, are also highlighted, specifically the fractured basement play.

(fig. 9c), com ocorrências menores de 800 a 1.100 Ma e ínfimas ocorrências paleoproterozoicas e arqueanas. A interpretação desses autores aponta uma sedimentação em bacias *foreland* para a porção superior dos domínios Vaza-Barris e Estância, com fontes principais nas porções centro-setentrionais da Faixa Sergipana e outras áreas ao norte, na Província Borborema (fig. 12). D’el-Rey Silva (2000) sugere a construção de montanhas na margem norte do Cráton do São Francisco, por infracarreamento (*underthrusting*) induzido por uma zona de subducção.

evolução estrutural e tectônica

A compreensão do comportamento estrutural da Faixa Sergipana (porção meridional) e sua relação com os terrenos adjacentes podem ser simplificadas pelo estudo do modelo de D’el-Rey Silva (1995) para a região do Domo de Itabaiana, onde as características estruturais são mais bem conhecidas (fig. 14). A história do Mar Canindé inicia-se por uma extensão de direção norte-sul, com a abertura de

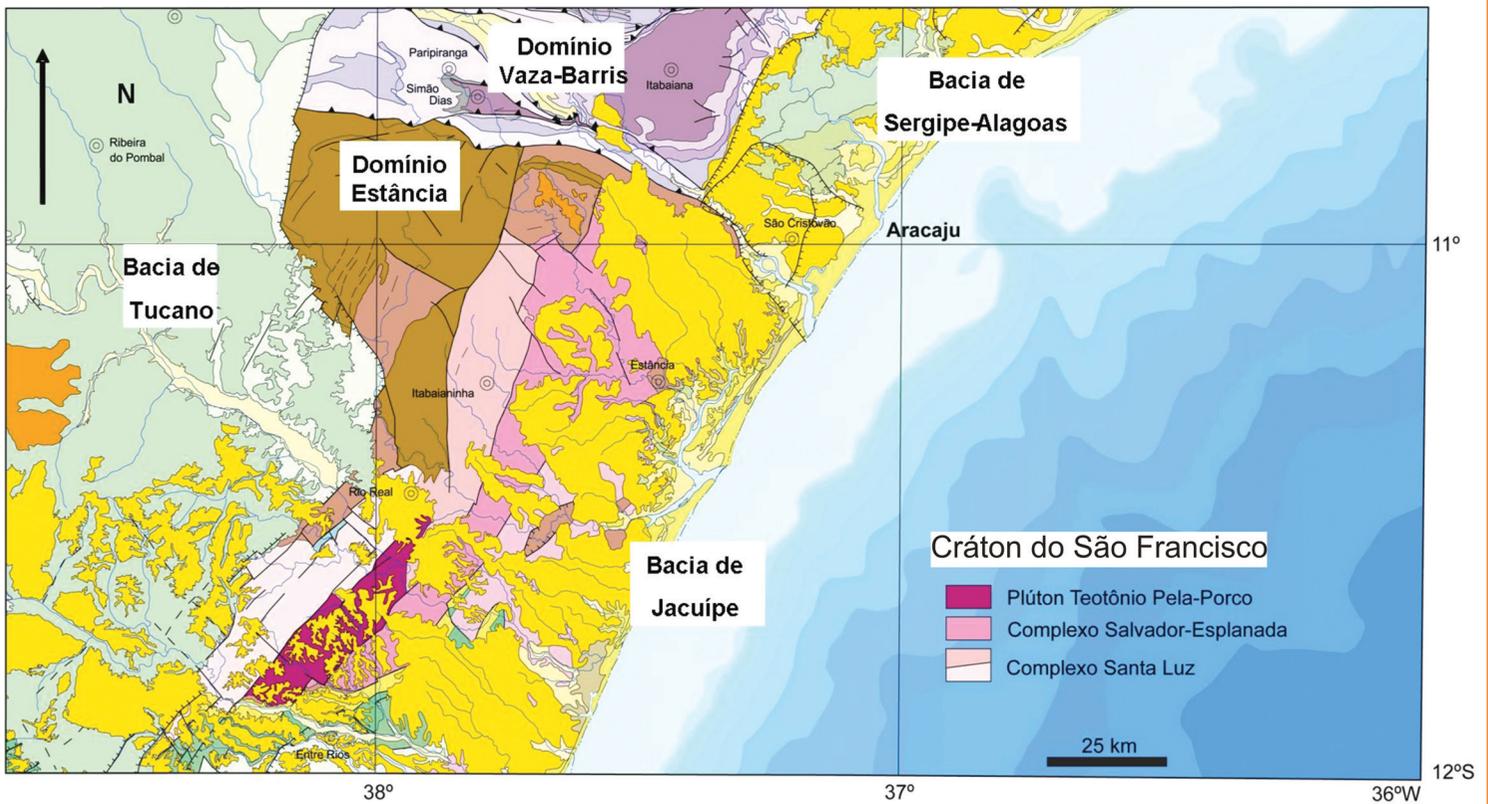


Figura 6 – Mapa geológico da porção sul do Estado de Sergipe, com a localização do Cráton do São Francisco (modificado de Kosin et al., 2004). Há apenas um pequeno apêndice do mesmo (parte do Bloco Serrinha), limitado a norte pela Faixa Sergipana e recoberto a oeste pelo Domínio Estância, sul-sudoeste pela Bacia do Tucano e a leste pela Sub-bacia de Sergipe. A legenda é voltada unicamente para o cráton, dividida em: Complexo Santa Luz (ortognaisses e ocorrências menores de rochas supracrustais), Complexo Salvador-Esplanada (ortognaisses, metagabronorito, rochas calcissilicáticas e quartzito) e Plúton Teotônio Pela-Porco (granito, granodiorito e tonalito).

Figure 6 – Geologic map of southern Sergipe State, with São Francisco Craton position (modified from Kosin et al., 2004). There is only a little part of it (Serrinha Block), limited in the North by the Sergipana Fold Belt and covered by Estancia Domain to the West, the Tucano Basin to the South-Southwest and to the East by the Sergipe Sub-basin. The legend only shows units of São Francisco Craton, divided into: Santa Luz Complex (ortognaisses and minor occurrence of metavolcanic and metasedimentary rocks), Salvador-Esplanada Complex (ortognaisses, metagabronorite, calc-silicate rocks and quartzite) and Teotônio Pela-Porco Pluton (granite, granodiorite and tonalite).

um sistema de meios-grábens e formação do par sinforme-antiforme na capa da falha sintética principal (figs. 11 e 14a).

O fechamento desse mar começa com a atuação de um binário compressivo de direção norte-sul, que inverteu as falhas distensionais E-W, formando falhas de empurrão subhorizontais (fase D1). A segunda fase de deformação (fase D2) apresenta um binário compressivo, inicialmente paralelo ao primeiro e posteriormente rotacionado (NNE-SSW), gerando falhas de empurrão subverticais de direção SSW e transcorrentes sinistras E-W. Tardamente à fase D2, o Domo de Itabaiana foi rotacionado pelas falhas maiores de direção NNW-SSE. A fase de deformação D3 surge como um evento tardio de D2, caracterizado

por escorregamento interfoliação em deformação progressiva rúptil-dúctil e rúptil.

O efeito final em mapa apresenta conformação estrutural semelhante à textura porfiroblástica bola de neve, comum em granadas situadas em meio aos filossilicatos, geralmente observadas em lâminas delgadas. Assim, em escala regional, o Domo de Itabaiana representaria esse porfiroblasto e, as rochas metassedimentares do Domínio Vaza-Barris, a matriz com textura lepidoblástica.

A evolução da Faixa Sergipana é interpretada como resultado da inversão de meio-grábens sob descolamento de baixo ângulo de um sistema de falhas lítricas, contidas na crosta continental. Essa evolução estrutural-metamórfica ocorreu entre 673 e

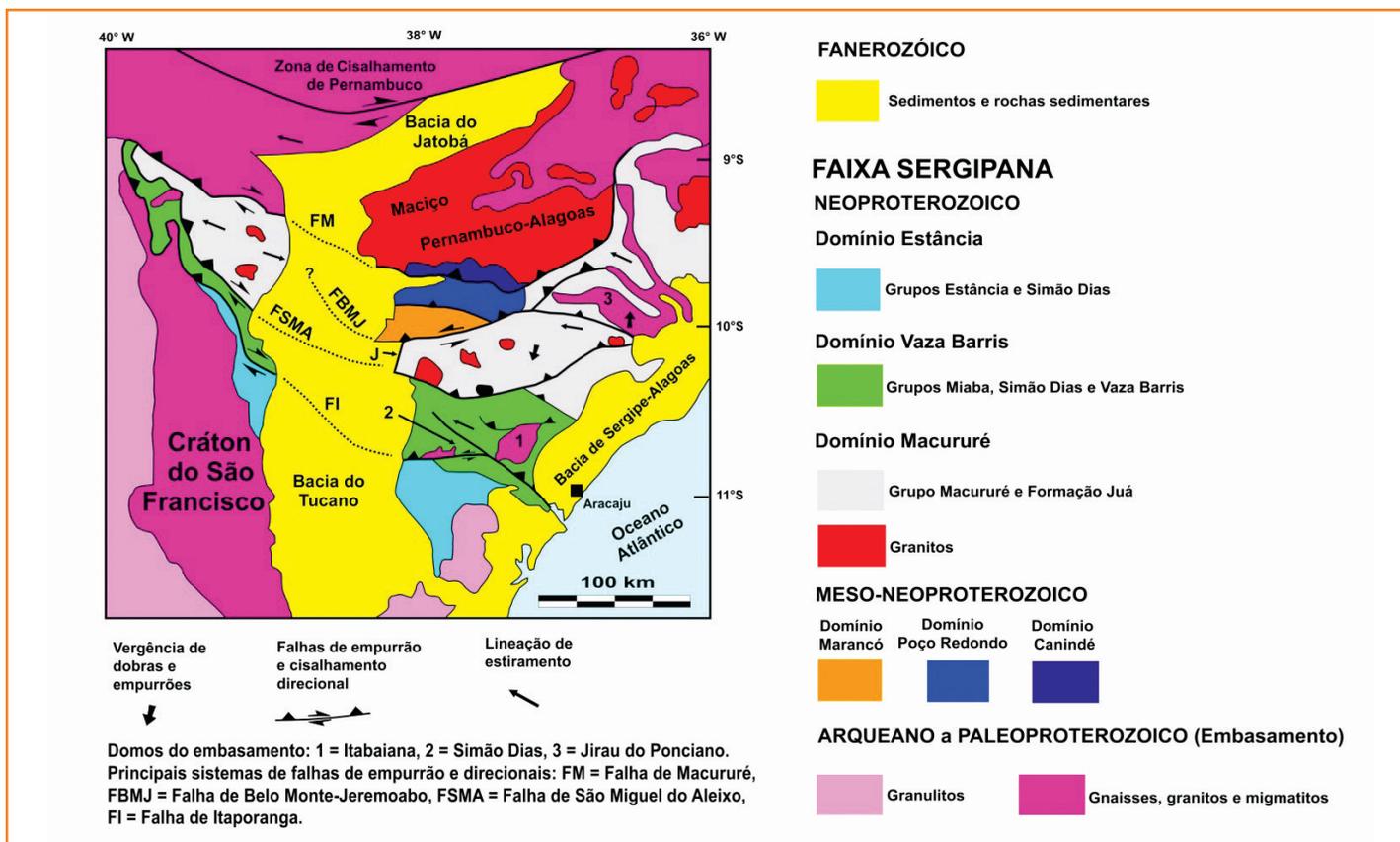


Figura 7 – Mapa geológico da Faixa Sergipana e áreas adjacentes (modificado de D’el-Rey Silva, 1992), dividida em seis domínios litotectônicos: Estância, Vaza-Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé, separados por grandes sistemas de falhas que são: As zonas de cisalhamento de Itaporanga (FI), São Miguel do Aleixo (FSMA), Belo Monte-Jeremoabo (FBMJ) e Macururé (FMS). Além dessas estruturas, também são ressaltadas as janelas estruturais dos domos de Itabaiana e Simão Dias, no Domínio Vaza-Barris e o Domo de Jirau do Ponciano, na porção setentrional do Domínio Macururé.

Figure 7 – Geologic map of Sergipana Fold Belt and adjacent areas (modified from D’el-Rey Silva, 1992). It’s divided into six lithotectonic domains: Estância, Vaza-Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo and Canindé, separated from each other by a big fault systems. They are the shear zones of: Itaporanga (ISZ), São Miguel do Aleixo (SMASZ), Belo Monte-Jeremoabo (BMJSZ) and Macururé MSZ). In addition to these structures, also highlighted are the window structures of: Itabaiana and Simão Dias domes, in the Vaza-Barris Domain and the Jirau do Ponciano Dome, in the Northern Macururé Domain.

600 Ma Rb/Sr (D’el-Rey Silva, 1995) ou entre 630-600 Ma U/Pb (Oliveira *et al.*, 2006) como consequência da colisão frontal a oblíqua entre o Cráton do São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas (fig. 15).

Assim como o Maciço Pernambuco-Alagoas e o Cráton do São Francisco se aproximavam durante a orogênese que resultou na estruturação da Faixa Sergipana (na Província Borborema), o Cráton do Congo se aproximava do Bloco Adamawa-Yadé, na estruturação da Faixa Yaoundé (na Província África Central, República dos Camarões, fig. 16). Há correlação clara entre as Faixas Yaoundé e Sergipana, no que concerne às idades radiométricas (Neoproterozoico Tardio para a sedimentação e deformação das sequências mais jovens), estruturação (com empilhamento de domínios

litotectônicos ao sul, contra os crátons) e metamorfismo barroviano regional (anquimetamórfico ao SSW a granulítico ao NNE). O metamorfismo e estruturação de ambas as faixas ocorreu na Orogênese Pan-Africana/Brasiliana, no fim da Era Neoproterozoica, quando foi consolidado o Supercontinente Gondwana.

Bacia de Sergipe-Alagoas

As unidades estratigráficas mais antigas da Bacia de Sergipe-Alagoas foram depositadas no Carbonífero e no Permiano (figs. 2 e 3) por meio de sistemas

Figura 8

Exemplos de litotipos presentes na Faixa Sergipana (modificado de Oliveira et al., 2006 e Souza-Lima, 2006b). a) Mica Xisto Macururé, b) Metacalcários da Formação Jacoca e c) Arenitos do Domínio Estância.

Figure 8

Lithotype rock examples from The Sergipana Fold Belt (modified from Oliveira et al., 2006 and Souza-Lima, 2006b). a) Mica Schist Macururé, b) Metalimestones from the Jacoca Formation and c) Sandstones from the Estância Domain.

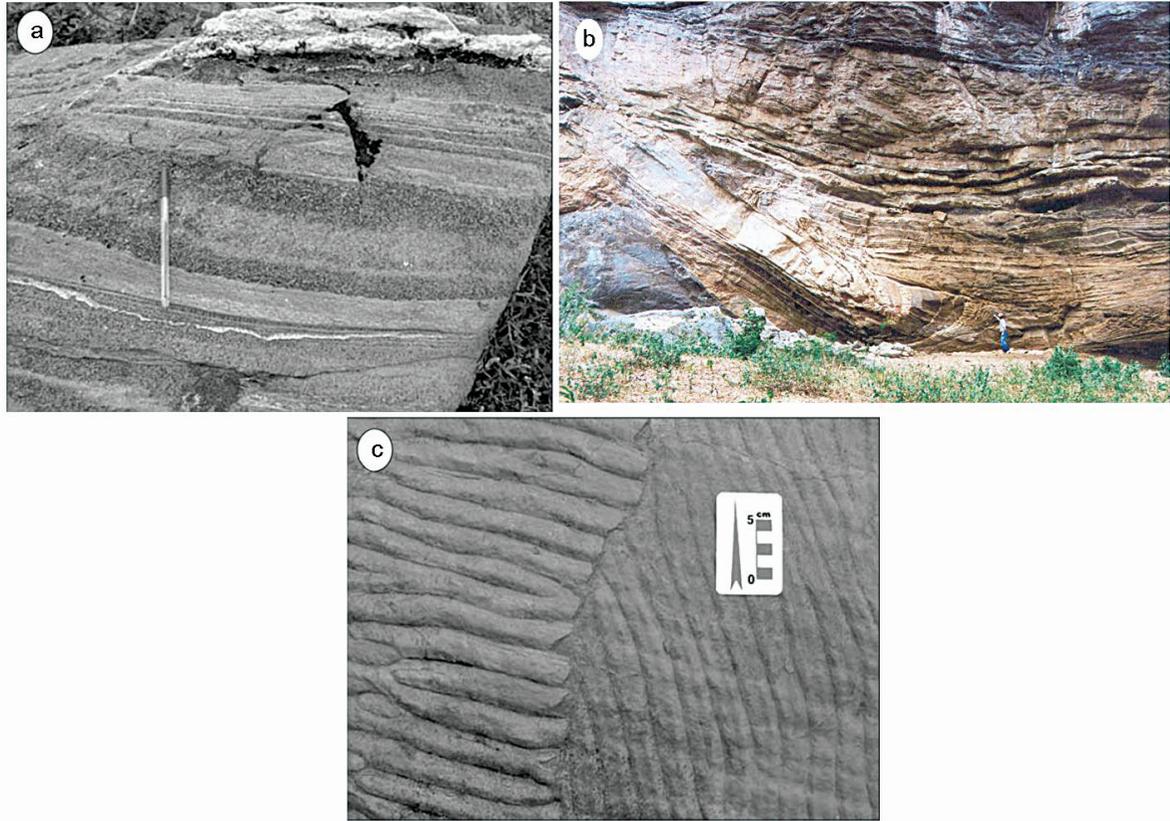
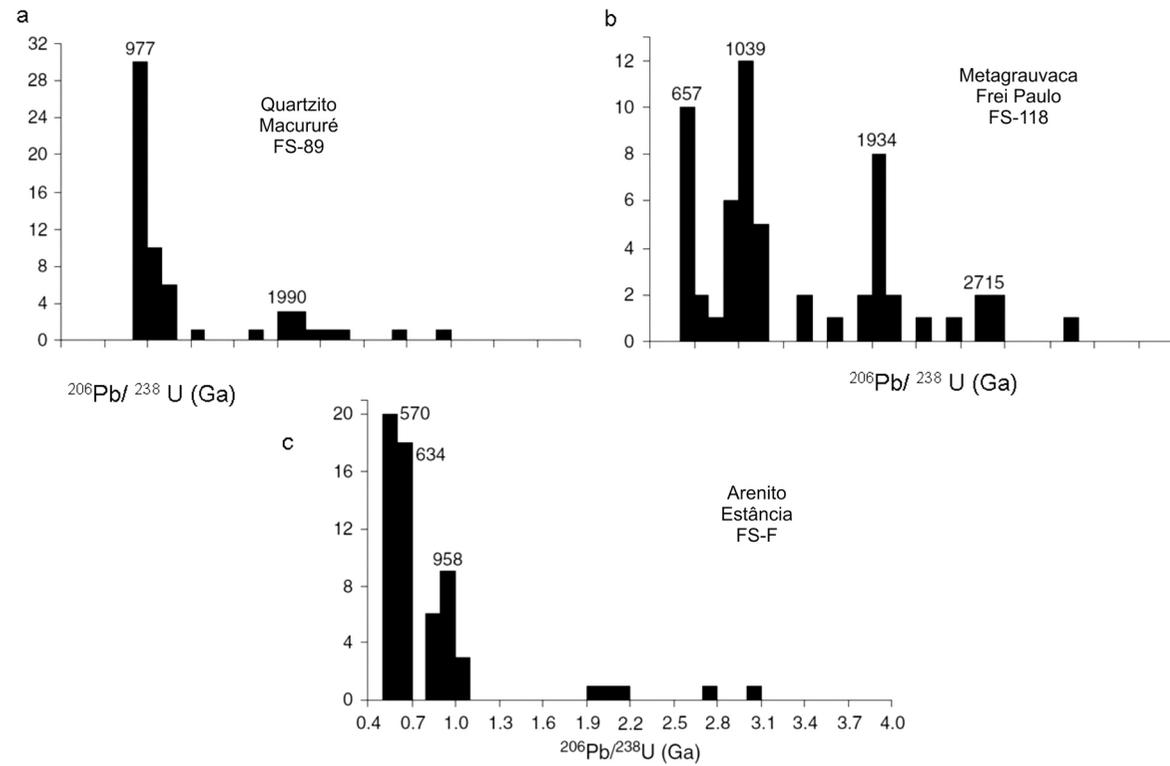


Figura 9

Histogramas de idades U/Pb SHRIMP em zircões detriticos de rochas dos domínios Macururé, Vaza-Barris e Estância (modificado de Oliveira et al., 2006), nas figuras a, b e c respectivamente. No eixo das abscissas estão as idades U/Pb SHRIMP e nas ordenadas o número de análises.

Figure 9

Histogram of detrital zircon from U-Pb SHRIMP ages for rocks from the Macururé, Vaza-barris and Estância domains (modified from Oliveira et al., 2006), in pictures a, b and c respectively. In the horizontal axis, are the U-Pb ages and in vertical axis, the number of analyses.



glacio-marinhos e costeiros em clima semiárido, respectivamente (Campos Neto *et al.*, 2007). Essa sedimentação ocorreu nos mares epicontinentais que prevaleceram no Supercontinente Gondwana ao longo da Era Paleozoica, e apresentam correlação ao longo das bacias do tipo sinéclise intracratônica brasileiras.

A evolução estrutural e tectônica preservada como resquício na Bacia de Sergipe-Alagoas apresenta ampla relação com o embasamento (comportamento reológico e composicional), assim como franca correlação com as bacias fanerozoicas supracitadas na evolução juro-cretácica do Nordeste Brasileiro.

No contexto regional, a Bacia de Sergipe-Alagoas correlaciona-se às bacias do Recôncavo, Tucano, Jatobá, Almada, Camamu, Araripe e Gabão, na chamada Depressão Afro-brasileira (Garcia, 1991). Esta ampla e rasa bacia era representada por lagos das formações Aliança e Bananeiras, colmatados pelos sistemas fluviais a flúvio-eólicos das formações Sergi e Serraria. As relações evolutivas entre essas bacias continuam até o fim do estágio rifte, quando as fossas do Recôncavo, Tucano e Jatobá abortaram e a Bacia de Sergipe-Alagoas evoluiu para uma margem passiva. (Sztamari *et. al.*, 1987)

A evolução diferenciada entre as sub-bacias de Sergipe e Alagoas é observada ao longo dos diferentes estágios das mesmas (figs. 2 e 3). Ao longo das sequências que compõem a Supersequência Rifte, a Sub-bacia de Alagoas comporta lagos mais profundos do que a Sub-bacia de Sergipe, com destaque para o Lago Coqueiro Seco (Neojiquiá), onde a diferença é de cerca de 1.400m entre uma sub-bacia e a outra (Campos Neto *et al.*, 2007). Na Supersequência Pós-rifte, as espessuras são semelhantes para ambas as sub-bacias. Na Sub-bacia de Sergipe, a sedimentação de deriva continental é mais desenvolvida, notadamente do Albiano ao Coniaciano, onde a diferença alcança cerca de 2.100m.

As diferenças de comportamento entre as duas sub-bacias também levou ao desenvolvimento de uma sedimentação costeira mais acentuada na Sub-bacia de Sergipe no Senoniano e Terciário (diferenças para as formações Marituba e Mosqueiro que, somadas, alcançam 1.500m), enquanto a sedimentação de talude e bacia (Formação Calumbi) possui espessuras semelhantes para ambas.

Formação Calumbi

A Formação Calumbi é um importante alvo exploratório da Bacia de Sergipe-Alagoas. Seus

reservatórios estão distribuídos nos campos de petróleo situados em terra (campos de Ilha Pequena, cidade de Aracaju, Angelim, Brejo Grande e Ponta dos Mangues), águas rasas (Salgo, Robalo, Guaricema e Dourado) e águas profundas (Campo de Piranema, figs. 4 e 5). Destes, o Campo de Piranema, descoberto em 2001, constitui-se em uma área de grande interesse no estudo de sistemas deposicionais de águas profundas e de geologia do petróleo.

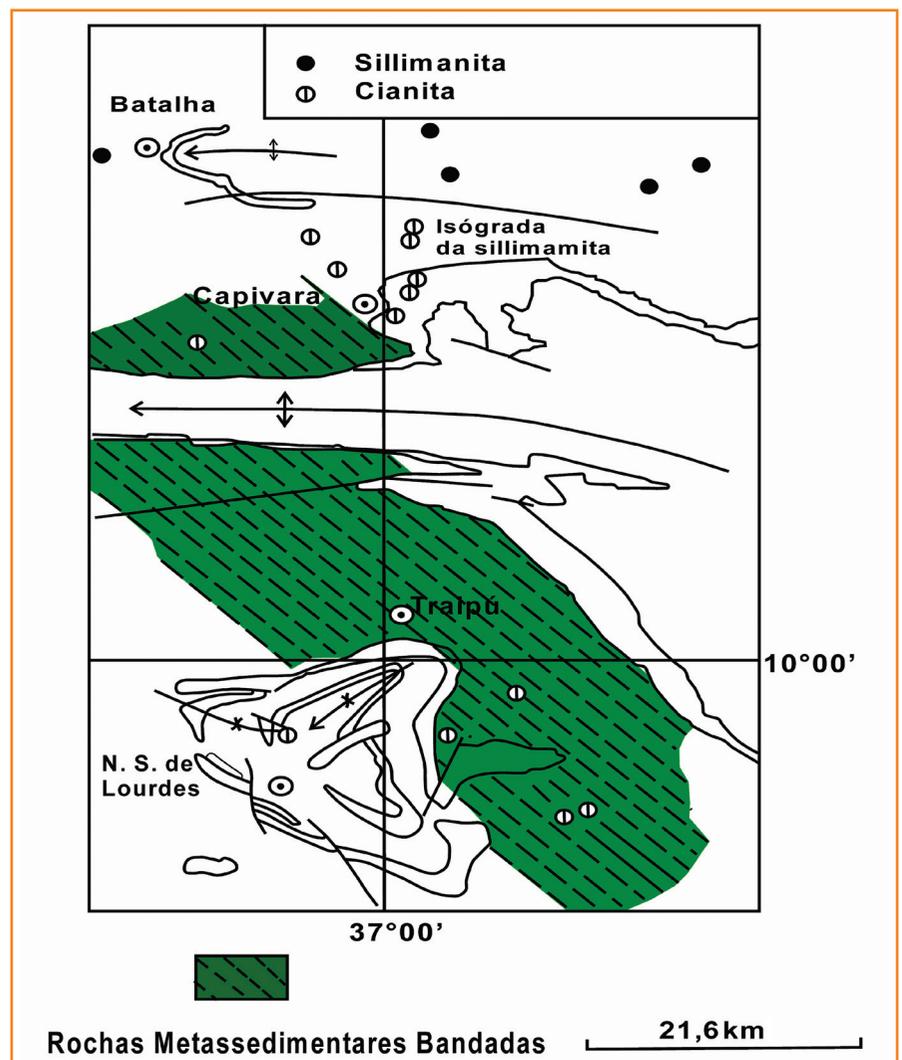
A Formação Calumbi está inclusa no Grupo Piaçabuçu, junto às formações Mosqueiro e Marituba (Feijó, 1994), depositada do Santoniano ao Holoceno em 12 sequências de terceira ordem (fig. 2), internas à Supersequência Drifte (Campos Neto *et al.*, 2007). É limitada em sua base pela Discordância Sub-formação Calumbi (Campos Neto *et al.*, 2007), de idade neoconiaciana, presente em toda a Bacia de Sergipe-Alagoas. Essa discordância foi causada por rebote elástico tardio, associado aos processos

Figura 10

Esboço da porção setentrional do Domínio Macururé (antiga Faixa Sul-alagoana ou Domínio Rio Coruripe), com as zonas metamórficas da cianita e sillimanita, entre as áreas de Batalha e Capivara. A isógrada marcada é a primeira da sillimanita (modificado de Silva *et al.*, 1995).

Figure 10

Picture of northern portion of the Macururé Domain (ancient Sul-Alagoana Fold Belt or Rio Coruripe Domain), with metamorphic zones of kyanite and sillimanite between the areas of Batalha and Capivara (modified from Silva *et al.*, 1995). The isograd marked is the first of sillimanite.



terminais de ruptura entre as placas sul-americana e africana e é reflexo do predomínio dos processos de subsidência térmica sobre os de subsidência mecânica (ainda muito presente no Albiano), que resultou em

mudanças climáticas associadas à expansão do assoalho oceânico do Atlântico Sul (Souza-Lima, 2006a). A descontinuidade no registro estratigráfico marca a mudança de uma sedimentação predominantemente

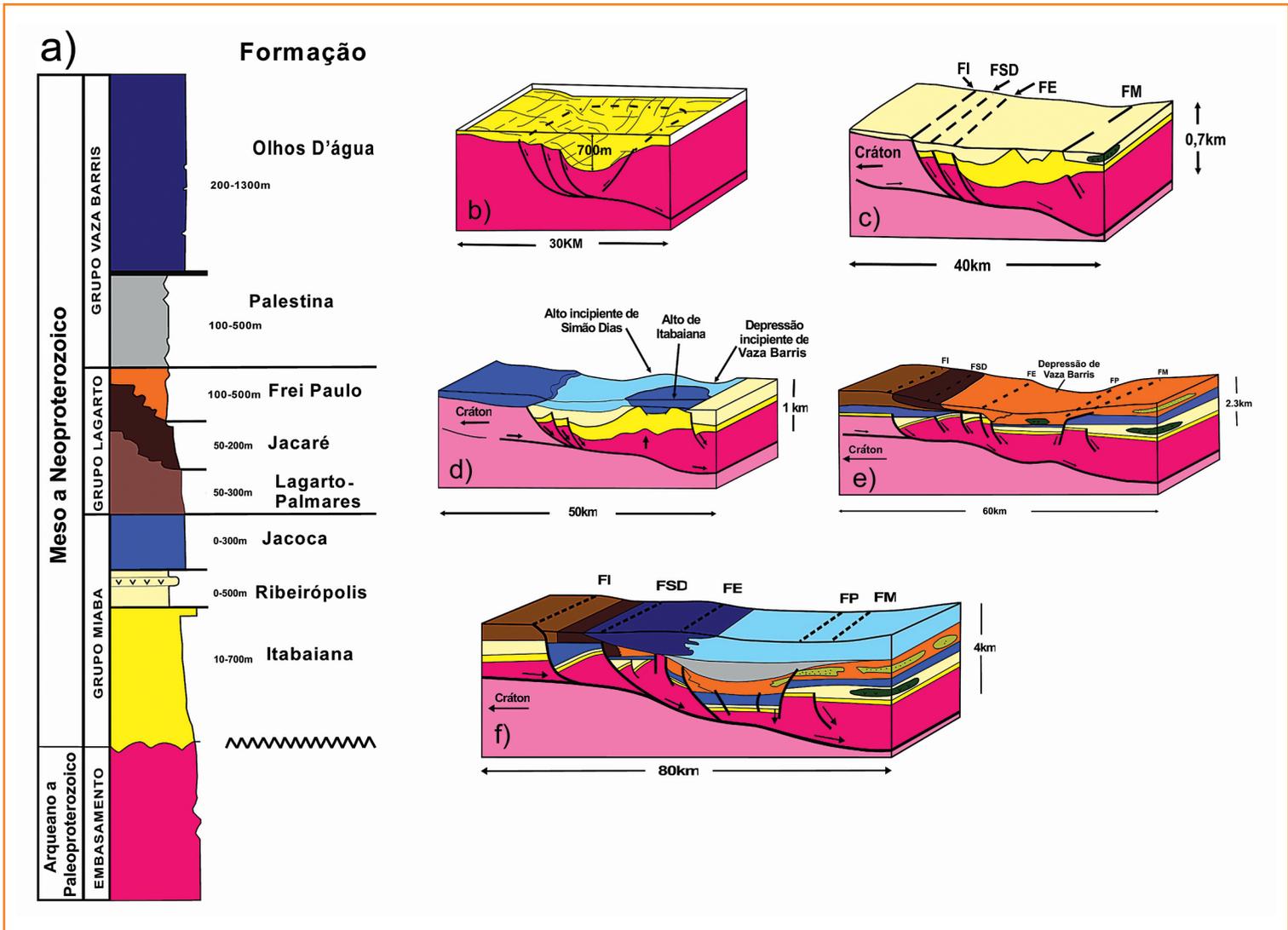
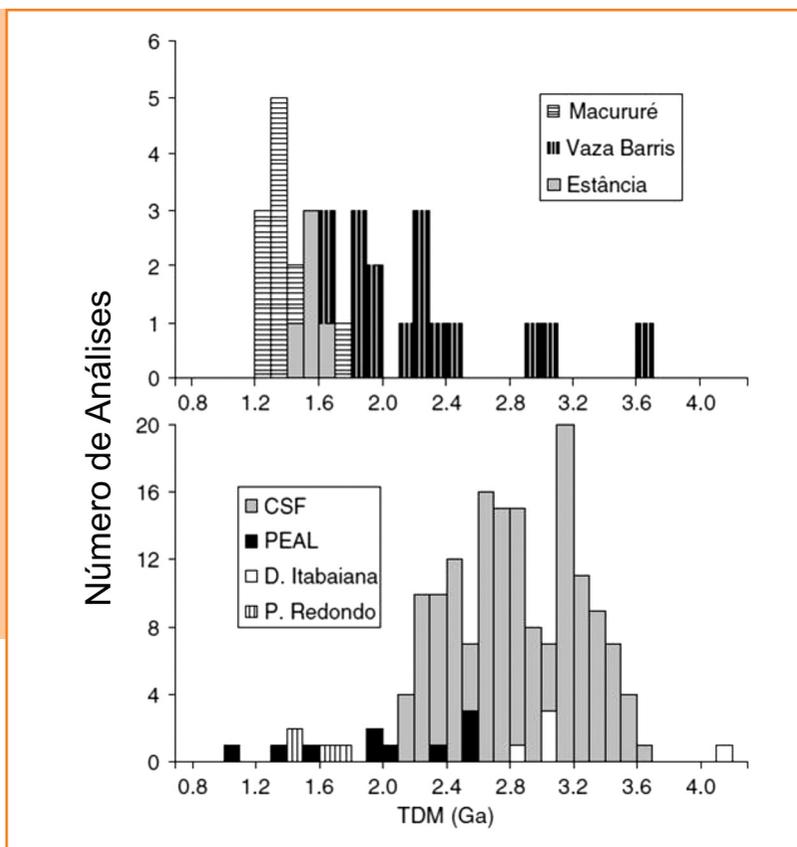


Figura 11 – a) Coluna litoestratigráfica do Domínio Vaza-Barris (modificado de D’el-Rey Silva, 1999). Esquema evolutivo da sedimentação do Mar Canindé em que a sedimentação ocorreu em dois ciclos, cada qual composto por duas megassequências siliciclásticas (MS) capeadas por uma megassequência carbonática (MC). Ciclo I: formações Itabaiana e Ribeirópolis (MS) e Formação Jacoca (MC); Ciclo II: Grupo Lagarto e Formação Palestina (MS), e Formação Olhos D’água (MC). b) Deposição dos arenitos Itabaiana no depocentro profundo, onde futuramente instalar-se-ia o Domo de Itabaiana. c) Deposição dos siliciclásticos grossos Ribeirópolis e vulcânicos. d) Deposição da porção superior Grupo Miaba (em correlação com o Grupo Estância, no Domínio Estância), com soerguimento do Alto de Itabaiana e parcialmente Simão Dias, onde ocorreu a deposição dos calcários Jacoca. e) Deposição do Grupo Lagarto (também conhecido como Simão Dias). f) Deposição do Grupo Vaza-Barris. Legenda das figuras b a e: FI (Falha de Itaporanga), FSD (Falha de Simão Dias), FE (Falha de Escarpa), FP (Falha de Pelada) e FM (Falha de Mocambo).

Figure 11 – a) Lithostratigraphic column of Vaza-Barris Domain (modified from D’el-Rey Silva, 1995). Schematic evolution of The Canindé Sea, where sedimentation history occurred in two cycles, each one formed by a siliciclastic megassequence (SM) capped by a calcareous megassequence (CM). Cycle I: Itabaiana and Ribeirópolis formations (SM) and Jacoca Formation (CM). Cycle II: Lagarto Group and Palestina Formation (SM) and Olhos D’água Formation (CM). b) Deposition of Itabaiana sandstones in a deep depocenter, where the future Itabaiana Dome would form. c) Deposition of clastic rocks and volcanic rocks of Ribeirópolis Formation. d) Deposition of upper part of Miaba Group (in correlation with Estância Group, in Estância Domain), with uplift of Itabaiana High and part of Simão Dias High, where Jacoca limestones were deposited. e) Deposition of Lagarto Group (also named Simão Dias Group). f) Deposition of Vaza-Barris Group. Legend of the figures b to e: FI (Itaporanga Fault), FSD (Simão Dias Fault), FE (Escarpa Fault), FP (Pelada Fault) and FM (Mocambo Fault).

Figura 12 – Idades modelo (T_{DM}) com relação ao manto “depletado” para os domínios clásticos da Faixa Sergipana, com indicação de suas potenciais áreas-fonte (Oliveira et al., 2006). PEAL – Maciço Pernambuco-Alagoas; CSF: Cráton do São Francisco, D: Domo de Itabaiana (Archeano), P. Redondo: migmatitos e gnaisses Poço Redondo (Mesoproterozoico). Há expressiva contribuição de fontes mesoproterozoicas em detrimento das fontes arqueanas, previamente interpretadas como fontes principais.

Figure 12 – Depleted mantle Nd model ages for clastic domains of Sergipana Fold Belt and their potential sources (Oliveira et al., 2006). PEAL – Pernambuco-Alagoas Massif; CSF: São Francisco Craton, D: Itabaiana Dome (Archean), P. Redondo: Poço Redondo migmatite and gneiss. There is an expressive contribution of middleproterozoic source rocks and a little contribution of the Archean source, previously interpreted as the main source.



carbonática (micritos e brechas carbonáticas da Formação Cotinguiba) para uma predominantemente siliciclástica (folhelhos bacinais da Formação Calumbi).

A Formação Calumbi é representada por folhelhos verdes plataformais a bacinais, com intercalações de arenitos de sistemas e costeiros distais, além dos depósitos mais distais de fluxos de massa do tipo folhelho escorregador, fluxos de detritos e correntes de turbidez, sendo estes relacionados à deposição de reservatórios para hidrocarbonetos, em águas profundas (Cainelli, 1994). Vale ressaltar que o termo turbidito está sendo utilizado de forma genérica, como um depósito de fluxos gravitacionais subaquosos do tipo correntes de turbidez, sem conotação tectônica ou similaridade direta com àqueles definidos por Kuenen e Migliorini (1950) e Mutti et al. (1999).

A deposição do Grupo Piaçabuçu relaciona-se ao afogamento da Rampa Mista Cotinguiba por um evento transgressivo, que depositou sedimentos siliciclásticos de talude e bacia, no Santoniano. Até o Eocampaniano, a sedimentação foi predominantemente transgressiva (com padrão de empilhamento retrogradacional) e, desde então, o aumento no aporte sedimentar implicou em sedimentação francamente regressiva (com padrão de empilhamento progradacional). Ao longo da linha de costa, esses sedimentos progradantes interdigitam-se aos arenitos costeiros da Formação Marituba, enquanto em direção a águas profundas, persistia a deposição de folhelhos bacinais e eventuais arenitos turbidíticos da Formação Calumbi (Campos Neto et al., 2007).

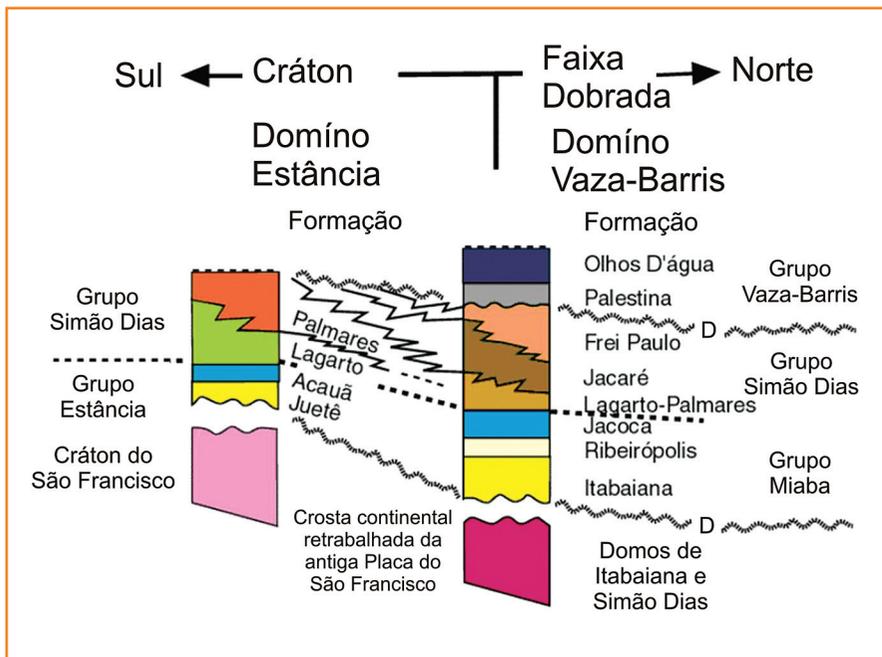


Figura 13 – Correlação geológica entre os domínios meridionais da Faixa Sergipana, com o primeiro (Domínio Vaza-Barris) ao norte e interno à faixa e o segundo (Domínio Estância) ao sul, já em área cratônica (modificado de D’el-Rey Silva, 2000). Também é ressaltada a estratigrafia de ambos e suas diferenças.

Figure 13 – Geologic correlation between southern domains of the Sergipana Fold Belt, with the first (Vaza-Barris Domain) in the north (inner belt) and the second (Estância Domain) in the south, in cratonic area (modified from D’el-Rey Silva, 2000). Both their stratigraphy and their differences are highlighted.

base de dados e proveniência da Formação Calumbi

O estudo de proveniência teve como objetivo a definição das diferentes áreas-fonte e suas variações ao longo do tempo, durante a sedimentação da Formação Calumbi (Araújo *et al.*, 2008). Três tipos de dados foram utilizados: química mineral de granadas (importante traçador de área-fonte de sedimentos),

variações relativas nas razões de minerais pesados com diferentes comportamentos hidráulicos e dados de traços de fissão em apatita.

Foram analisadas 125 amostras de subsuperfície (testemunhos e amostras de calha) e 45 amostras de areias de drenagens atuais. Adicionalmente, foram realizadas análises de microsonda em 75 amostras de granadas (57 de subsuperfície e 18 de drenagens). As granadas foram separadas em três grupos: a (com ocorrência de piropo), b (almandina + espessartita) e c (glossulária + andradita), plotados em gráficos ternários.

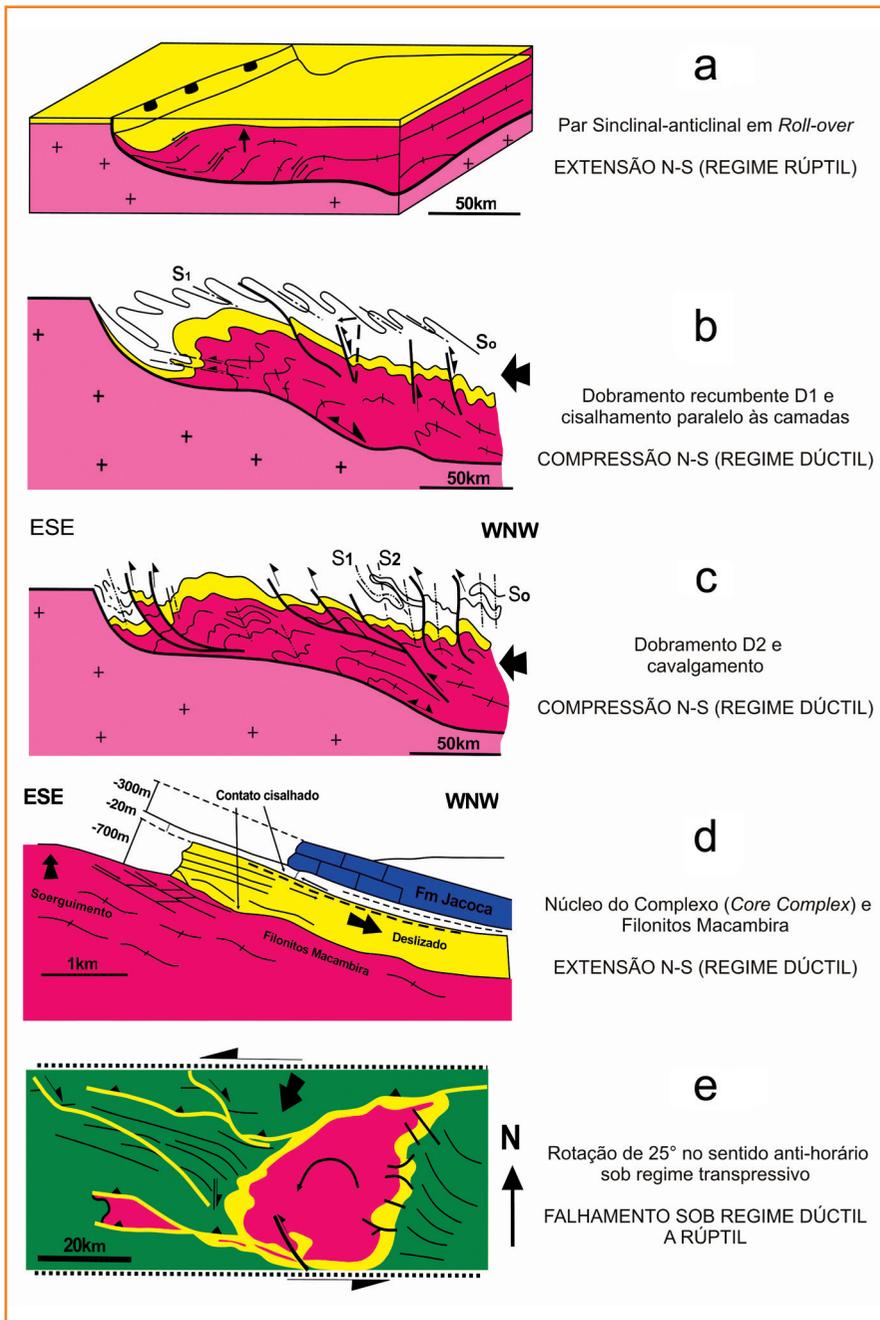


Figura 14 – Evolução estrutural da Faixa Sergipana na área do Domo de Itabaiana (modificado de D’el-Rey Silva, 1995). a) Estágio inicial sinsedimentar extensional, com abertura de falhas E-W, em função da extensão N-S. b) Binário compressivo de direção norte-sul, inverteu as falhas distensionais E-W, em falhas de empurrão subhorizontais (fase D1). c) Segunda fase de deformação (D2) apresenta um binário compressivo, inicialmente paralelo ao primeiro e posteriormente rotacionado (NNE-SSW), que gerou falhas de empurrão subverticais de direção SSO e transcorrentes sinistras E-W. d) Tardiamente à fase D2, o Domo de Itabaiana foi rotacionado pelas falhas maiores de direção NNW-SSE. A fase de deformação D3 surge como um evento tardio de D2, caracterizado por escorregamento interfoliação em deformação progressiva rúptil-dúctil e rúptil. e) Efeito final em mapa, semelhante à textura porfiroblástica bola de neve, com o Domo de Itabaiana atuante como porfiroblasto e as rochas metassedimentares do Domínio Vaza-Barris como a matriz com textura lepidoblástica.

Figure 14 – Structural evolution of the Sergipana Fold Belt in the Itabaiana Dome area (modified from D’el-Rey Silva, 1995). a) Synsedimentary initial stage, with E-W extensional faults, related to N-S extension. b) N-S compressive binary reversed E-W faults in subhorizontal thrust faults (D1 phase). c) The second deformation phase (D2) shows a compressive binary which was initially parallel to the first and later it rotated (NNE-SSW) that resulted in SSW subvertical thrust fault belts and E-W sinistral transpressional faults. d) During the end of D2 phase, Itabaiana Dome was rotated by NNW-SSE major faults. D3 deformation phase is a late D2 event, characterized by interfoliation slump in ductile to brittle progressive deformation. e) Final effect in map, like a snowball porphyroblastic texture, with Itabaiana Dome as porphyroblast and metasedimentary rocks of Vaza-Barris Domain as lepidoblastic matrix.

No intervalo de estudo, o poço II apresenta concentração de granadas tipo B, presentes em rochas metassedimentares, das fácies xistos-verdes de alta (isógrada da granada) e anfibolito (fig. 17). Os gráficos de proporção de minerais pesados (estauroлита e cianita) *versus* profundidade demonstram a diminuição das proporções destes minerais nas proximidades de 1.000m, mas ainda ocorrem para as profundidades referentes aos reservatórios do Campaniano e Maastrichtiano, e sua presença é diagnóstica no que concerne à área-fonte (fig. 18).

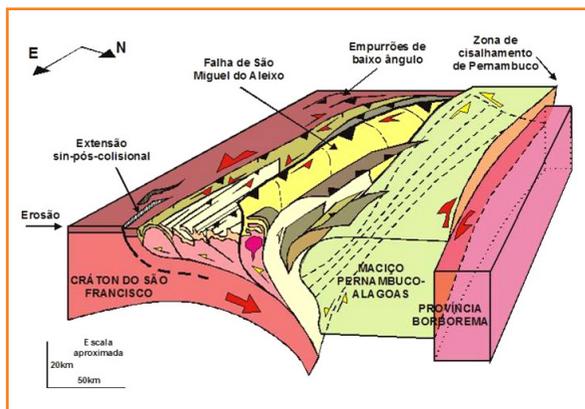


Figura 15 – Evolução tectônica da Faixa Sergipana (Souza-Lima, 2006b; modificado de D’el-Rey Silva, 1995), interpretada como resultado da inversão de meio-grábens sob descolamento de baixo ângulo de um sistema de falhas listricas contidas na crosta continental. Essa evolução estrutural-metamórfica ocorreu entre 673-600 Ma Rb/Sr (D’el-Rey Silva, 1995) ou 630-600 Ma U/Pb (Oliveira et al., 2006), como consequência da colisão frontal a oblíqua entre o Cráton do São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas. Esse arcabouço estrutural controlou a evolução estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas, com a direção NE-SW herdada do Cráton do São Francisco e as direções E-W e NW-SW herdadas da Faixa Sergipana.

Figure 15 – Tectonic evolution of Sergipana Fold Belt (Souza-Lima, 2006b; modified from D’el-Rey Silva, 1995), interpreted as a half graben inversion, by a low angle décollement of a listric fault system in the continental crust. This structural-metamorphic evolution occurred between 673-600 Ma Rb/Sr (D’el-Rey Silva, 1995) or 630-600 Ma U/Pb (Oliveira et al., 2006), as a result of the frontal to oblique collision between São Francisco Craton and Pernambuco-Alagoas Massif. This structural framework controlled the evolution of Sergipe-Alagoas Basin, with NE-SW trend from São Francisco Craton and Pernambuco-Alagoas Massif and E-W and NW-SE trends from Sergipana Fold Belt.

Os dados de traço de fissão de apatita apresentam-se muito esparsos e indicam apenas um período contínuo de soerguimento, do Mesocretáceo ao Campaniano (etapa final de soerguimento a 80 Ma).

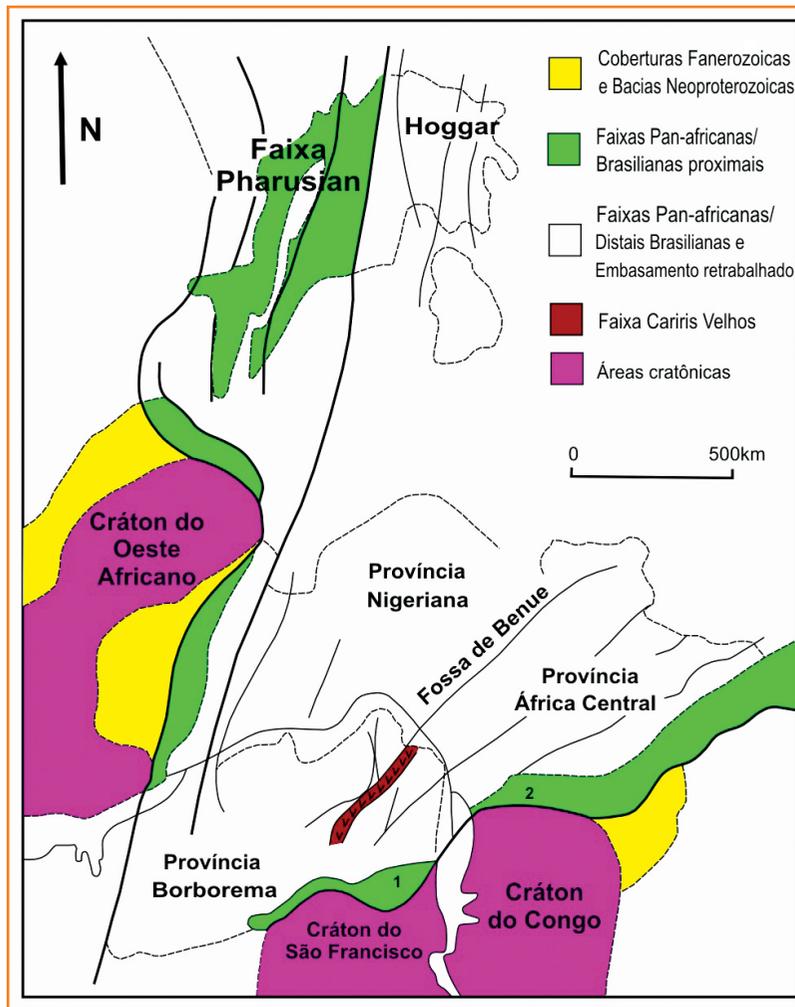


Figura 16 – Mapa tectônico simplificado do nordeste brasileiro e oeste africano (modificado de Trompette, 1994), com a localização das faixas Sergipana (1, Brasil, América do Sul) e Yaoundé (2, República dos Camarões, África). Assim como o Maciço PE-AL e o Cráton do São Francisco aproximavam-se na orogênese que resultou na estruturação da Faixa Sergipana (na Província Borborema), o Cráton do Congo aproximava-se do Bloco Adamawa-Yadé, na estruturação da Faixa Yaoundé (na Província África Central). O metamorfismo e estruturação de ambas as faixas ocorreu na Orogênese Pan-Africana/Brasiliana, no fim da Era Neoproterozoica, quando foi consolidado o Supercontinente Gondwana.

Figure 16 – Simplified tectonic map of Northeastern Brazil and Western Africa (modified from Trompette, 1994), with location of Sergipana (1, Brazil, South America) and Yaoundé (2, Cameroon Republic, Africa). While Pernambuco-Alagoas Massif and São Francisco Craton collided in Sergipana Fold Belt evolving (Borborema Province), Congo Craton and Adamawa-Yadé Block were in the same process, which resulted in Yaoundé Fold Belt creation (Central Africa Province). Structuring and metamorphism of both fold belts occurred in Pan-Africana/Brasiliana Orogeny, at the end of Neoproterozoic Era, when Gondwana Supercontinent was consolidated.

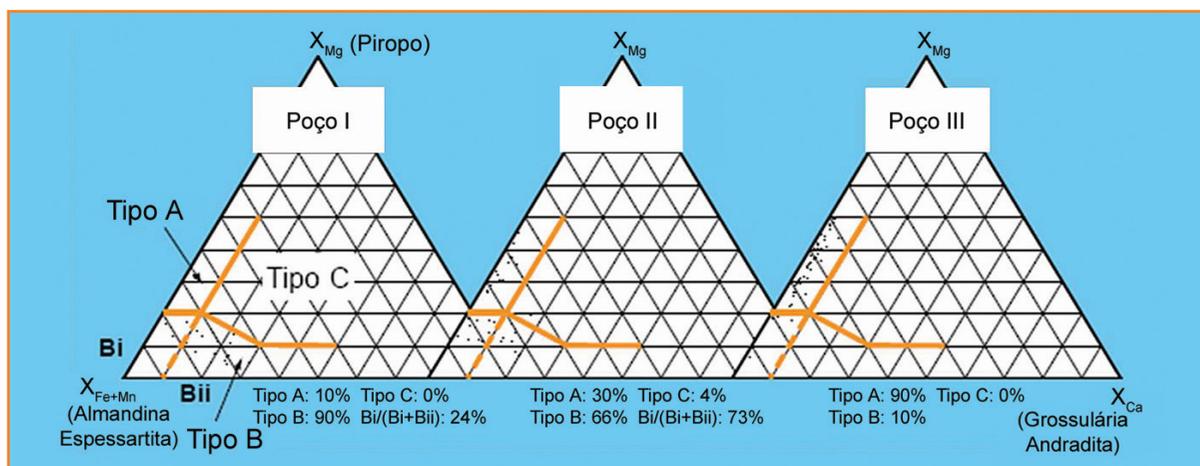


Figura 17 – Gráficos ternários para geoquímica de granadas em três diferentes poços (I, II e III). As granadas foram separadas em três grupos: A (com ocorrência de pirope), B (almandina + espessartita) e C (glossulária + andradita). No intervalo de estudo, o Poço II (vide gráfico) apresenta alta concentração de granadas tipo B (assim como o Poço I), presentes em rochas metassedimentares, dos fácies xistos-verdes de alta (isógrada da granada) e anfibólito, com pequena contribuição de granadas do tipo A. O Poço III (único exemplo para o intervalo Albiano), apresenta nítida composição com presença de pirope (grupo A), com fonte única no Cráton do São Francisco.

Figure 17 – Ternary graphs of garnet geochemistry in three distinct wells (I, II and III). The garnets were divided in three groups: A (with pyrope), B (almandine + spessartine) and C (grossular + andradite). In the studied interval, well II shows high content of garnet type B (also in well I), present in metasedimentary rocks of high greenschist (garnet isograd) and amphibolite facies, with low contribution of type A garnets. Well III (unique example of Albian interval), shows a diagnostic assemblage, with pyrope (Group A), sourced only from the São Francisco Craton.

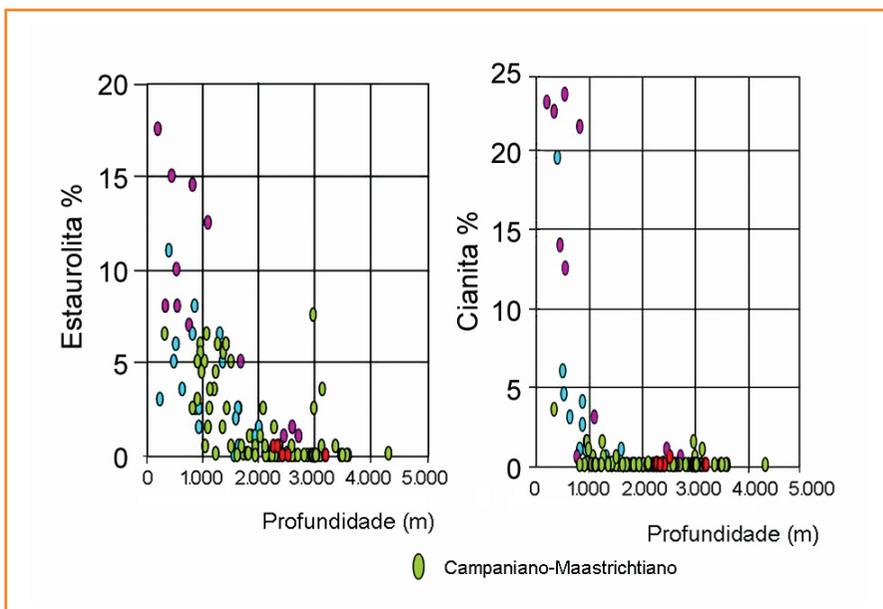


Figura 18 – Gráficos de profundidade (metros) versus percentagem de minerais pesados susceptíveis à proveniência (estaurolita e cianita) para um poço na área de estudo. Apesar da diminuição de duas proporções relativas nas proximidades de 1.000m nos reservatórios do Campaniano e Maastrichtiano, atribuída a diagênese, suas presenças foram úteis no reconhecimento das possíveis áreas-fontes dos sedimentos.

Figure 18 – Graphs of depth (meters) versus staurolite and kyanite percentage for one well in the study area. Despite the decreasing content in the Campanian and Maastrichtian reservoir (near 1.000m), attributed to diagenetic process, their presence was used to diagnose the source area identification.

integração entre Pré-cambriano e Fanerozoico

O Domínio Macururé representa uma fonte mais importante do que as demais no Cretáceo Superior no que concerne a razões que envolvem cianita e estaurolita e grandes quantidades de granada (tipo B e, secundariamente, tipo A). Os resultados da análise dos dados apontam para a atuação do Domínio Macururé como a fonte primária de sedimentos para ambos os reservatórios, campanianos e maastrichtianos, na área de Piranema. O Cráton do São Francisco atuaria como fonte secundária (fig. 19).

Ao longo da história de sedimentação da Formação Calumbi (Senoniano ao Holoceno), observa-se a presença de três cânions (ou paleocalhas) atuantes como sítios de passagem sedimentar (bypass) bem como sítios deposicionais (Cainelli, 1992, 1994): São Francisco, Japarutuba e Vaza-Barris. São estas feições fisiográficas as principais condutoras de sedimentos, desde águas rasas até águas profundas. A posição exata dos condutos e sítios de sedimentação migrou ao longo do tempo, mas, na escala de bacia, essa variação é pouco significativa.

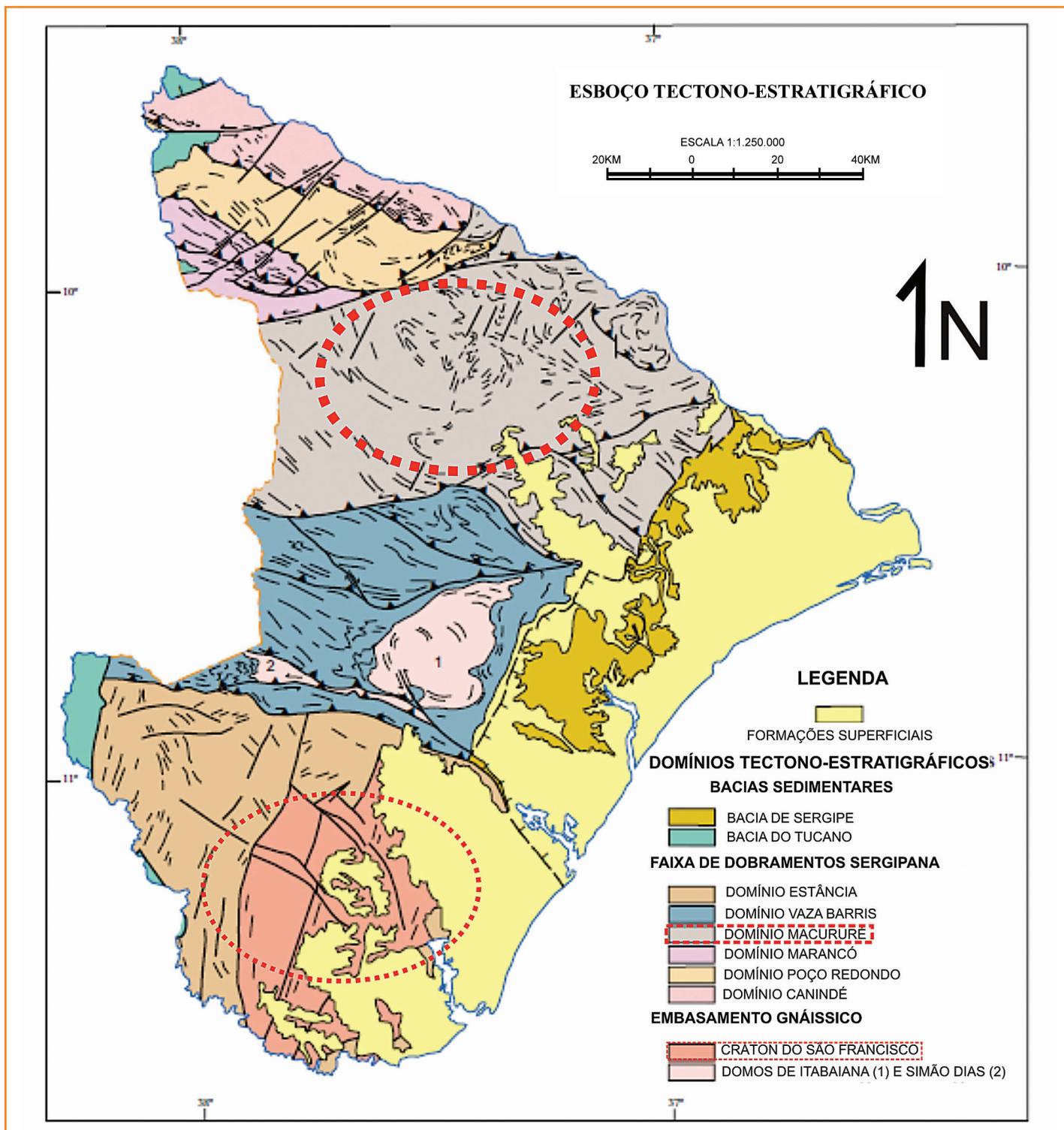


Figura 19 – Mapa geológico simplificado do Estado de Sergipe (modificado de CPRM, 1997), que ilustra as principais áreas-fonte para os arenitos senonianos da Formação Calumbi. O Domínio Macururé (círculo vermelho espesso) representa uma fonte mais importante, com relação às razões que envolvem cianita e estaurólita (incluindo o norte do Domínio Macururé ou Faixa Sul-Alagoana) e grandes quantidades de granada (tipo B). O Cratão do São Francisco (círculo vermelho) atua como fonte secundária, com granadas de composições químicas bem definidas no tipo A.

Figure 19 – Simplified geologic map of the Sergipe State (modified from CPRM, 1997), which illustrates the main source area for senonian sandstones in the Calumbi Formation. Macururé Domain (bold red circle) was the most important source area, based on kyanite and staurolite ratios as well as garnets (type B) amounts. São Francisco Craton (red circle) was a secondary source area, based on the percentage of type A garnets.

O Paleocânion do São Francisco situa-se à jusante da área do Domínio Macururé, enquanto os demais, ao sul da mesma. A interpretação integrada desses dados indica que, durante o Campaniano, houve acúmulo de areia na plataforma continental em frente à área do Paleocânion do São Francisco, parcialmente depositada por fluxos gravitacionais nas águas profundas em frente a este cânion, e, parcialmente conduzida pelas correntes litorâneas a uma posição situada em frente ao Paleocânion de Vaza-Barris (de onde foi conduzida, posteriormente, por fluxos gravitacionais em direção a águas profundas).

No Maastrichtiano, os dados do estudo indicam as mesmas áreas-fonte dos sedimentos campanianos, porém, com contribuição um pouco mais expressiva do Cratón do São Francisco.

Como as rochas do Domínio Vaza-Barris estão metamorizadas em fácies xistos-verdes nas isógradas da clorita e da biotita, a geoquímica de granadas não foi eficaz no seu reconhecimento como possível área-fonte. Para os demais minerais pesados, vale ressaltar a atuação do Domínio Macururé e demais terrenos ao norte, como expressiva fonte de sedimentos para o Domínio Vaza-Barris durante o Neoproterozoico (conforme zircões detríticos). Estes, portanto, teriam assinaturas semelhantes. Como o Domo de Itabaiana (que possui assinatura típica) não atuou como área-fonte, estima-se que a taxa de soerguimento e erosão na área do Domínio Vaza-Barris tenha sido pouco expressiva. Portanto, mesmo que este tenha atuado como área-fonte, seu papel seria secundário.

relações entre tectônica e sedimentação

As relações entre tectônica e sedimentação na Bacia de Sergipe-Alagoas são bem compreendidas para a seção neojurássica a neoalbiana, entretanto, são pouco conhecidas para a seção mais jovem que o Eocenomaniano.

A integração do mapa estrutural-sísmico do embasamento da Bacia de Sergipe-Alagoas com o mapa geológico de superfície para o embasamento da mesma (CPRM, 1997) e os dados de proveniência supracitados sugere algumas relações entre tectônica e sedimentação para o Senoniano da Formação Calumbi (fig. 20). A deflexão para sudeste de uma das

falhas da Zona de Cisalhamento de São Miguel do Aleixo, que se encontra com a deflexão para nordeste da Zona de Cisalhamento de Mocambo (fig. 20 – B), adentra a bacia, controlando o alinhamento que estrutura o Alto de Siririzinho, o limite entre os altos de Japoatã, Palmeira Alta e Penedo (a norte) com os baixos de Japarutuba e São Francisco e a Rampa de Alagamar-Piranhas (ao sul). Aparentemente, o lineamento termina no limite sul do Baixo de Coruripe.

Por outro lado, três falhas maiores desta mesma Zona de Cisalhamento apresentam deflexões (fig. 20) para nordeste (C), leste-sudeste (D) e sudeste (E), cuja confluência parece entrar na bacia controlando o limite sul do Degrau de Sinimbu e o limite norte do Baixo de Coruripe. Movimentos diferenciais ao longo dessas grandes discontinuidades crustais, motivados pela expansão do assoalho oceânico, podem ter resultado em um soerguimento diferencial do Domínio Macururé. Situação semelhante, porém de menor expressão, ocorreu ao longo da Falha de Vaza-Barris, que, possivelmente, reativou a Zona de Cisalhamento de Itaporanga e soergueu o pequeno apêndice do Cratón do São Francisco (fig. 20 – A), logo ao sul do Domínio Vaza-Barris, o que resultou na ação deste como fonte secundária de sedimentos para a região do Campo de Piranema. Uma interpretação alternativa para estes grandes lineamentos está presente no trabalho de Souza-Lima (2006b), (fig. 21).

Durante a realização deste estudo, foi constatada a presença de granadas no embasamento das rochas sedimentares em poço no Campo de Carmópolis. Nesta área, o domínio atuante como embasamento é o Vaza-Barris, que nas descrições anteriores fora metamorizado até a isógrada da biotita. Portanto, esta constatação pode estender a isógrada da granada, antes restrita ao Domínio Macururé, até o Domínio Vaza-Barris, por baixo da Sub-bacia de Sergipe. Outra interpretação é que o Domínio Macururé atua, parcialmente, como embasamento do Campo de Carmópolis.

conclusões

Os estudos de proveniência da Formação Calumbi foram fundamentais para a compreensão das áreas-fonte dos reservatórios do Campo de Piranema. A associação destes estudos com os relacionados ao embasamento e aos sistemas deposicionais da

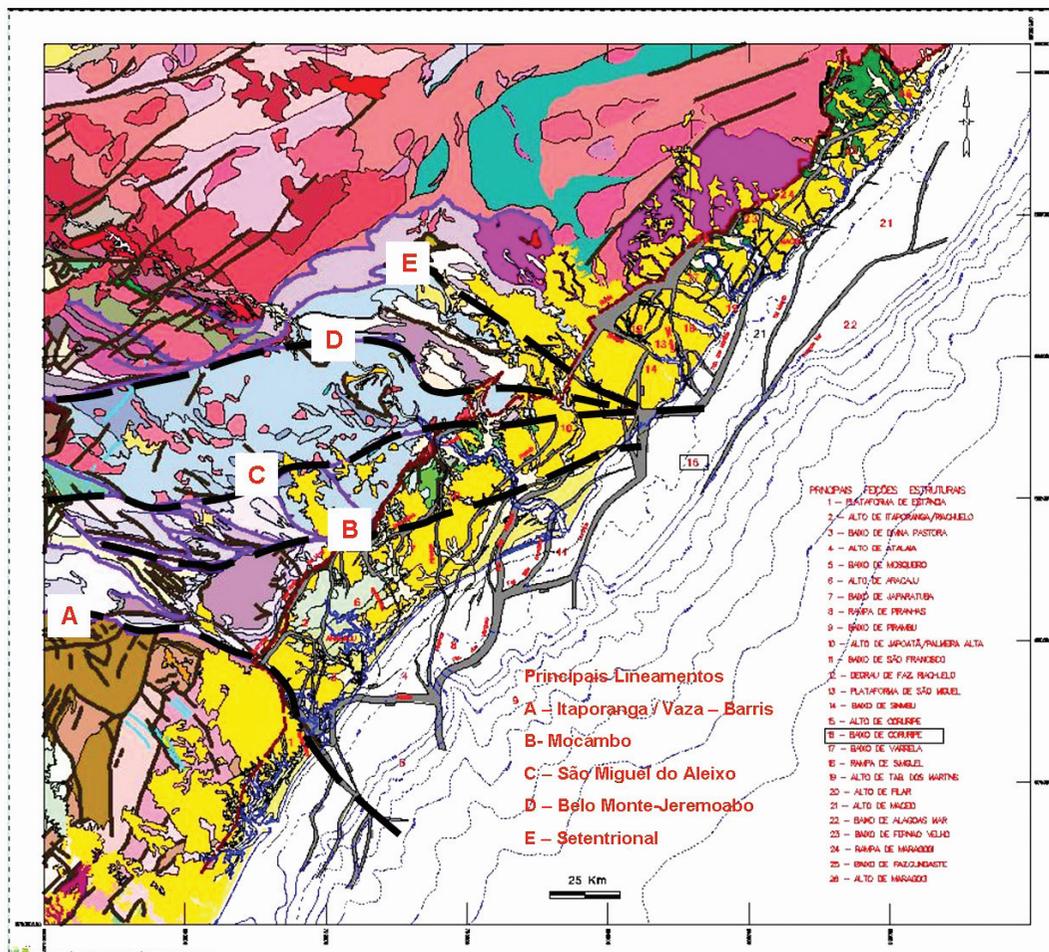


Figura 20 – Mapa estrutural sísmico do embasamento da Bacia de Sergipe-Alagoas integrado com mapa geológico de superfície (modificado de CPRM, 1997). Em preto, estão ressaltados os sistemas de falhas e zonas de cisalhamento maiores, que podem estar relacionados às reativações das áreas-fonte no Domínio Macururé e Cráton do São Francisco. São elas: alinhamento entre a Zona de Cisalhamento de Itaporanga e Sistema de Falhas de Vaza-Barris (A), alinhamento da Zona de Cisalhamento de Mocambo (B), no controle dos compartimentos estruturais da bacia (terminação no sul do Baixo de Coruripe), alinhamento da Zona de Cisalhamento de São Miguel do Aleixo (C - controla o norte do Baixo de Coruripe), alinhamento da Zona de Cisalhamento de Belo Monte – Jeremoabo e alinhamento setentrional da Faixa Sergipana (D e E - a confluência dos mesmos também termina no norte do Baixo de Coruripe).

Figure 20 – Basement structural seismic map of Sergipe-alagoas Basin, integrated with geologic surface map (modified from CPRM, 1997). In black are highlighted major shear zones and system faults, possibly related to reactivations of source areas in Macururé Domain and São Francisco Craton. They are: alignment between Itaporanga Shear Zone and Vaza-Barris System Fault (A), alignment of Mocambo Shear Zone (B), in the control of structural compartments of basin (ending to the south of Coruripe Low), alignment of São Miguel do Aleixo Shear Zone (C - controls the north of Coruripe Low), alignment of Belo Monte-Jeremoabo Shear Zone and northern alignment of Sergipana Fold Belt (D and E - confluence between them also finished to the north of Coruripe Low).

Bacia de Sergipe-Alagoas sugere um modelo simples para a área.

Os reservatórios do Cretáceo Superior do Campo de Piranema tiveram como principal área-fonte o Domínio Macururé (com base em geoquímica de

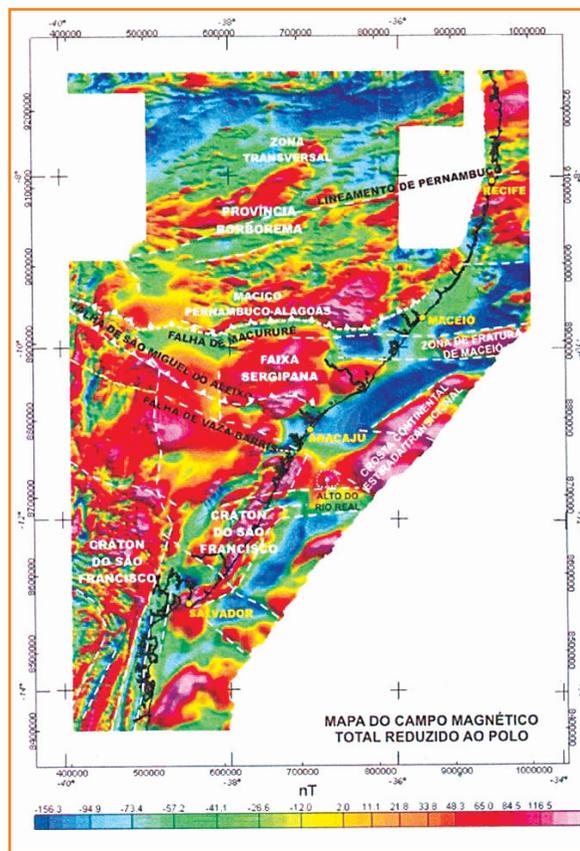
almandinas e espessartitas, a presença e razões associadas à cianita e estauroilita). A sugestão de alimentação dos sistemas deposicionais na Sub-bacia de Sergipe é que o Domínio Macururé foi fonte para os sedimentos que atravessaram o Paleocânion de

Figura 21

Mapa do campo magnético total reduzido ao pólo da Bacia de Sergipe-Alagoas e adjacências (Souza-Lima, 2006a). Neste mapa estão ressaltados os alinhamentos principais supracitados na figura 20, assim como a Zona de Fratura de Maceió, porém com uma interpretação um pouco diferente e em escala mais local, no caso da figura 20. Há controle claro da Zona de Fratura de Maceió por lineamentos oriundos do continente.

Figure 21

Total magnetic field reduced to pole map for Sergipe-Alagoas Basin and surrounding areas (Souza-Lima, 2006a). The alignments showed in figure 20 highlighted area, as well as Maceió Fracture Zone, but with a little different interpretation and in a more local scale for figure 20. There is a clear control of the Maceió Fracture Zone by continental lineaments.



São Francisco e, também, aos que se acumularam na plataforma continental e foram guiados pelas correntes litorâneas até a área em frente ao Paleocânion de Vaza-Barris. Ali, misturaram-se aos sedimentos oriundos do Cráton do São Francisco e foram transportados por fluxos gravitacionais subaquosos até o Campo de Piranema.

O Cráton do São Francisco atuou como fonte secundária, principalmente com base na geoquímica de granadas (piropo com alguma almandina e essartita). A importância relativa do Cráton do São Francisco como área-fonte aumenta do Campaniano para o Maastrichtiano.

O Domínio Vaza-Barris também pode ter atuado como fonte, porém, por ter o Domínio Macururé e terrenos ao norte como áreas-fonte principais e estar metamorfozado em fácies xistos-verdes, isógradas da clorita e biotita, sua assinatura pode estar falseada, pois o método teria pouca sensibilidade para defini-la como área-fonte (vale lembrar que os domos de Itabaiana e Simão Dias, por certo, não foram importantes áreas-fonte).

A expansão do assoalho oceânico durante o Campaniano parece ter induzido esse soerguimento diferencial do Domínio Macururé ao longo de grandes

descontinuidades crustais, que controlam falhas na Sub-bacia de Sergipe e sul da Sub-bacia de Alagoas, conhecidas na Faixa Sergipana como a Zona de Cisalhamento de São Miguel do Aleixo. Na porção sul da Sub-bacia de Sergipe, o soerguimento diferencial do Cráton do São Francisco ocorreu ao longo do Sistema de Falhas de Vaza-Barris, conectado à Zona de Cisalhamento de Itaporanga. O vulcanismo é confirmado pela análise de sismofácies, que indica a presença do mesmo no Alto do Rio Real, com provável idade santoniana.

A observação de granadas no embasamento do Campo de Carmópolis permite duas interpretações. Na primeira, a isógrada da granada, presente somente ao norte (Domínio Macururé), poderia ser estendida à porção setentrional do Domínio Vaza-Barris. Na segunda, o Domínio Macururé estender-se-ia por baixo da Sub-bacia de Sergipe, atuante como embasamento do Campo de Carmópolis.

O trabalho mais recente a apresentar integração entre a Bacia de Sergipe-Alagoas e seu embasamento é de Souza-Lima (2006b). Os demais são da década de 1980 e início da década de 1990, a despeito da Unidade de Negócios de Sergipe-Alagoas produzir hidrocarbonetos no embasamento do Campo de Carmópolis (fig. 5, *play* I). Assim, o conhecimento sobre o mesmo é fundamental para a prospecção e otimização da produção e para balizar e enriquecer possíveis modelos exploratórios da bacia.

agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos aos colegas da Unidade de Negócios de Sergipe-Alagoas, assim como às equipes da interpretação exploratória e do Cenpes, do Rio de Janeiro, pelas discussões. Também gostaríamos de agradecer à comissão organizadora do Boletim de Geociências da Petrobras pela oportunidade de publicar este trabalho. Cabe também um agradecimento especial à Verônica Viana Oliveira pelo grande esforço, paciência e afinho na edição de nossas ilustrações.

referências bibliográficas

ARAUJO, A. L. N.; SANTOS, J. F.; MENDONÇA, K. R.; SILVEIRA, L. S.; GRASSI, A. A.; FERREIRA, J. V.; ANDRADE RAMOS, A. J.; RANCAN, C. C. Análise de minerais pesados para o estudo de proveniência dos reservatórios marinhos da Bacia de Sergipe-Alagoas. In: Simpósio de Sedimentologia e Estratigrafia, 4., 2008. **Anais...** [S.l.]: Petrobras, 2008.

CAINELLI, C. Estratigrafia de sequências, cânions e depósitos gravitacionais da Formação Piaçabuçu, Bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1/2, p. 97, jan./jun. 1992.

CAINELLI, C. Canyons, channels and associated gravity mass-flow deposits in the Piaçabuçu Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil. In: INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS, 14., 1994, Copenhagen. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1994. p. F6-7.

CAMPOS NETO, O. P. A.; SOUZA-LIMA, W.; CRUZ, F. G. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, maio/nov. 2007.

CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. Crustal Evolution of the South American Platform. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Ed.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2000. p. 19-40.

CPRM. Mapa Geológico do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. In: **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**: geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Brasília: CPRM; Aracaju: CODISE, 1997. 107 p.

DELGADO, I. M.; SOUZA, J. D.; SILVEIRA FILHO, N. C.; SANTOS, R. A.; PEDREIRA, A. J.; GUIMARÃES, J. T.; ANGELIM, L. A. A.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; LACERDA FILHO, J. V.; VALENTE, C. R.; PERROTA, M. M.; HEINECK, C. A.; Geotectônica do escudo Atlântico. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. p. 227-334.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. **Tectonic evolution of the southern part of the Sergipano Fold Belt, northeastern Brazil**. 1992. 257 p. Thesis (PhD) – Royal Holloway University of London, England, 1992.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. The evolution of basement gneiss domes of the Sergipano fold belt (NE Brazil) and its importance for the analysis of Proterozoic basins. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 8, n. 3-4, p. 325-340, July/Oct.1995.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic sedimentary cover. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 12, n. 5, p. 453-470, Sept. 1999.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. Deformation in the northern edge of the São Francisco Craton adjacent to SE part of the Sergipano Belt (NE Brazil): mountain building by underthrusting. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000.

D'EL-REY SILVA, L.J.H. e McCLAY, K.R. Stratigraphy of the southern part of the Sergipano Belt, NE Brazil: tectonic implications. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 185-202, set. 1995.

FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 149-162, jan./mar. 1994.

GARCIA, A. J. V. **Estratigrafia, sedimentação e diagênese dos arenitos da formação Serraria, Cretáceo Inferior da Bacia Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil**. 1991. 305 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

KOSIN, M. D.; ANGELIM, L. A. A.; SOUZA, J. D.; GUIMARÃES, J. T.; TEIXEIRA, L. R.; MARTINS, A. A. M.; BENTO, R. V.; SANTOS, R. A.; VASCONCELOS, A. M.; NEVES, J. P.; WANDERLEY, A. A.; CARVALHO, L. M.; PEREIRA, L. H. M.; GOMES, I. P. Aracaju. Folha SC.24. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. (Ed.). **Carta Geológica do Brasil**

ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM, 2004. CD-ROM.

KUENEN, Ph. H.; MIGLIORINI, C. I. Turbidity currents as a cause of graded bedding. **Journal of Geology**, v. 58, n. 2, p. 91–127, Mar. 1950.

LANA, M. C. Bacia de Sergipe-Alagoas: uma hipótese de evolução tectono-sedimentar. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Coord.). **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**, Rio de Janeiro: Petrobras, 1990. p. 311-332.

MUTTI, E.; TINTERI, E. R.; REMACHA, E.; MAVILLA, N.; ANGELLA, S.; FAVA, L. **An introduction to the analysis of ancient turbidite basins from an outcrop perspective. American Association of Petroleum Geologists:** Tulsa, USA. 1999. (AAPG Continuing Education Course Note Series, 39). 61 p.

OLIVEIRA, E. P.; TOTEU, S. F.; ARAÚJO, M. N. C.; CARVALHO, M. J.; NASCIMENTO, R. S.; BUENO, J. F.; MCNAUGHTON, N.; BASILICI, G. Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, África). **Journal of African Earth Sciences**, Amsterdam, v. 44, n. 4-5, p. 470-478, Apr. 2006.

SILVA, J. M. R.; CAMPOS NETO, M. C.; BRITO NEVES, B. B. Deformação e metamorfismo principais de uma

parte da Faixa Sul-Alagoana (Complexo Macururé), Sistema de Dobramentos Sergipano, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 343-350, dez. 1995.

SILVA FILHO, M. A., ACIOLY, A. C. A., TORRES, H. H. F., ARAÚJO, R. V. O Complexo Jaramataia no contexto do Sistema Sergipano. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 16, n. 2, p. 99–110, 2003.

SOUZA-LIMA, W. Litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar da Bacia de Sergipe-Alagoas: introdução. **Phoenix**, Aracaju, v. 8, n. 89, 2006a.

SOUZA-LIMA, W. Litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar da Bacia de Sergipe-Alagoas: o embasamento. **Phoenix**. Aracaju, v. 8, n. 90, 2006b.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLF, S. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 2, p. 180-188, 1987.

bibliografia

TROMPETTE, R. **Geology of Western Gondwana**. Rotterdam: Amsterdam A. Balkema, 1994. 350 p.

expanded abstract

The Sergipe-Alagoas Basin is located in northeast Brazil, in a regional context that includes geological terrains of different tectonic settings and ages. The precambrian terrains of the Atlantic Shield are: São Francisco Craton, Pernambuco-Alagoas Massif and Sergipana Fold Belt. The phanerozoic terrains are distributed in the Upper Jurassic to Early Cretaceous aulacogenous rifts of the Recôncavo, Tucano and Jatobá basins, including Sergipe-Alagoas Basin, which are the object of this study. From basement terrains, the Sergipana Fold Belt is the most expressive source area for Sergipe Sub-basin.

The Sergipana Fold Belt corresponds to a neoproterozoic metavolcano-sedimentary sequence, with NNW-SSE trend, intruded by syn to post-tectonic granitoids, limited by Pernambuco-Alagoas Massif to the north and to the south, by the São Francisco Craton. The west portion is hacked by the Tucano Basin and the east portion is covered by the Sergipe Sub-basin. This fold belt can be divided into six lithotectonic domains (from north to south): Canindé, Poço Redondo, Marancó, Macururé, Vaza-Barris and Estancia.

These different lithotectonic domains are limited by huge shear zones, designated from north to south as: Macururé Shear Zone (MSZ), Belo Monte-Jeremoabo Shear Zone (BMJSZ), São Miguel do Aleixo Shear Zone (SMASZ) and Itaporanga Shear Zone (ISZ).

The Macururé Domain (Northern Sergipana Fold Belt), composed of garnet mica-schist and phyllites (with intrusions of granitoids and mafic-ultramafic rocks), shows progressive Barrovian metamorphism; from south to north, there are transitions between the garnet isograd (green schist) and staurolite (at the beginning of the amphibolite facies). Towards the northeast, it becomes the kyanite isograd (Silva et al., 1995) and, finally, in southern Alagoas state, it becomes sillimanite isograd.

The Calumbi Formation, related to the Sergipe-Alagoas Basin drift stage sedimentation, is an important hydrocarbon exploration and production target, with senonian reservoirs present in the oil fields of Ilha Pequena, Cidade de Aracaju, Angelim, Brejo Grande, Ponta dos Mangues, Salgo, Robalo, Mero and Piranema. The Calumbi Formation is also a producer in the Tertiary reservoirs of Guaricema and Dourado oil fields.

Provenance studies for the Calumbi Formation, included garnet geochemistry (a heavy mineral sensitive to source area identification) determination of relative

variations in the heavy mineral contents, grain count and its relative variation, as well as apatite fission track analysis, were fundamental to understand the source areas for the sandstone reservoirs of Piranema Field, located at about 40km to the south of Aracaju city, in a water depth of 50 to 2.000m. The provenance data integration, depositional system and basement studies allow us to suggest a simple model for the area.

Based on almandine and spessartite geochemistry with the presence and ratios of kyanite and staurolite, two heavy minerals with similar hydraulic behavior, the Macururé Domain was the main source area for the Upper Cretaceous sandstones of the Piranema Field.

The detailed study of genesis and erosion processes, transportation and deposition of turbidites in the Piranema Field, integrated with provenance data, suggest the sediments, from Macururé Domain, stacked on the adjacent continental shelf and transported by alongshore drift current until the Vaza-Barris Paleocanyon area. Once there, they mixed with the sediments eroded from the São Francisco Craton, further transported by subaqueous gravity flows to the Piranema Field area.

The São Francisco Craton was secondary as a source area, based on garnet geochemistry. Its importance increases from Campanian to Maastrichtian. The Vaza-Barris Domain had no influence worth considering as a source area,

Probably, the seafloor spreading during the Campanian was the start mechanism of the Macururé Domain differential uplift, along large continental discontinuities that control faults in the Sergipe Sub-basin and in southern Alagoas Sub-basin, known in the Sergipana Fold Belt as the São Miguel do Aleixo Shear Zone. In the south portion of the Sergipe Sub-basin, this uplift occurred along the Vaza-Barris System Fault, connected to the Itaporanga Shear Zone. The volcanic activity, confirmed by seismic data, is present in the Rio Real High, probably of Santonian age.

The apatite fission tract data is very sparse and only indicates a continuous uplift period from Mesocretaceous to Campanian (the end of uplift at 80My).