

Assinatura estrutural e geofísica da Porção Norte (fronteira Ceará-Piauí) do Lineamento Transbrasiliano: reativação na Bacia do Parnaíba

Structural and geophysical signature of the Northern Portion (Ceará-Piauí border) of the Transbrasiliano Lineament: reactivation in the Parnaíba Basin

Moisés Samuel João Bota Cacama¹, Emanuel Ferraz Jardim de Sá^{1,2}, Fernando César Alves da Silva^{1,2},
Fernando Antônio Pessoa Lira Lins²

¹Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Campus Universitário – Lagoa Nova, Caixa Postal 1.596, CEP 59078-970, Natal, RN, BR (ms32k@hotmail.com)

²Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, RN, BR (emanuel@ccet.ufrn.br; fernando@geologia.ufrn.br; flins@geologia.ufrn.br)

Recebido em 6 de maio de 2015; aceito em 20 de outubro de 2015

Resumo

O Lineamento Transbrasiliano é uma importante zona de cisalhamento com direção NE-SW, relacionada à orogênese Brasileira e que evoluiu em estágios de alta até baixa temperatura. No presente trabalho, investigou-se a assinatura estrutural e geofísica da porção norte do Lineamento Transbrasiliano (fronteira Ceará-Piauí). Na literatura é comum a referência à reativação fanerozoica dessa estrutura, a qual teria originado diversos grabens tardi-brasilianos precedentes à sinéclise paleozoica do Parnaíba, a exemplo do Graben de Jaibas. Em etapas evolutivas mais jovens, as falhas que seccionam as unidades da Bacia do Parnaíba, ao longo de toda a extensão do Lineamento Transbrasiliano, exprimem a sua reativação em eventos sucessivos. O mapa magnético da região exibe anomalias com direção NE, interpretadas como a assinatura do Lineamento Transbrasiliano (e das estruturas brasileiras da Província Borborema) na sua expressão de alta temperatura. O Graben de Jaibas é marcado por uma faixa anômala retilínea com alta suscetibilidade magnética, aparentemente sem continuidade expressiva no substrato da Bacia do Parnaíba. As análises geométrica e cinemática das estruturas da área, utilizando dados de sensor remoto e de campo, permitiram caracterizar quatro fases de deformação. A fase deformacional D_n ocorre de modo exclusivo no Graben de Jaibas (o que permite inferir sua idade, ediacarana-cambriana), com desenvolvimento de estruturas de temperatura mais elevada, comparativamente aos eventos subsequentes. As fases deformacionais D_1 , D_2 e D_3 ocorrem afetando tanto o Graben de Jaibas como as sequências paleozoicas da borda NE da Bacia do Parnaíba, com geração de estruturas em temperatura baixa, essencialmente rúpteis/cataclásticas, que são tentativamente correlacionadas com os estágios de abertura do Atlântico ou mesmo com eventos orogênicos distais de idade Paleozoica.

Palavras-chave: Lineamento Transbrasiliano; Graben de Jaibas; Bacia do Parnaíba.

Abstract

The Transbrasiliano Lineament is a major shear zone trending NE-SW, related to the Brasiliano orogeny and evolved through high to low temperature stages. In this study, the structural and geophysical signature of the northern segment of Transbrasiliano Lineament was studied in its northern border, between Ceará and Piauí states. In the literature, the Phanerozoic reactivation of this structure is commonly referred, generating several late Brasiliano grabens predating the Paleozoic Parnaíba synclisis, like the Jaibas Graben. Later on, faults that cut the stratigraphic units of the Parnaíba Basin along the entire length of the Transbrasiliano Lineament express its reactivation during successive events. Magnetic map exhibit NE-trending anomalies, interpreted as the signature of the Transbrasiliano Lineament (and Brasiliano structures of the Borborema Province) in its high-temperature expression. The Jaibas Graben is marked by a straight anomalous track with high magnetic susceptibility, apparently without significant continuity underneath Parnaíba Basin. The geometric and kinematic analysis of the structures in the study area, using remote sensing and field data, led to the characterization of four deformation phases. The D_n deformation phase occurs exclusively in the Jaibas Graben (constraining its Ediacaran-Cambrian age), with the development of comparatively higher temperature as regards to the younger events. D_1 , D_2 and D_3 deformation phases affect both the Jaibas Graben as well as the Paleozoic sequences of the northeastern edge of Parnaíba Basin, generating low temperature, essentially brittle/cataclastic structures, which are tentatively correlated with stages of Atlantic opening or to distal orogenic events during the Paleozoic.

Keywords: Transbrasiliano Lineament; Jaibas Graben; Parnaíba Basin.

INTRODUÇÃO

O Lineamento Transbrasiliiano (LTB), inicialmente assim denominado por Schobbenhaus et al. (1975), representa uma descontinuidade de escala litosférica de direção NE-SW (Figura 1) com mais de 2.700 km de extensão, interceptando os terrenos afetados pelo Ciclo Brasileiro localizados entre o Cráton Amazônico e o Cráton São Francisco (porção oeste do Escudo Atlântico). A sua contraparte africana (a zona de cisalhamento de Hoggar-Kandi) se estende desde a costa do Togo até a região central da Argélia. Esses dois segmentos perfazem uma estrutura com cerca de 4.000 km de extensão (Caby et al., 1991). Essa megaestrutura, cujo componente mais antigo é uma zona de cisalhamento transcorrente dextral plástica, foi reativada em diferentes épocas (sin e pós-Grupo Jaibaras, uma sequência molássica tardi-brasiliiana) em regimes cinemáticos distintos, como será discutido neste texto.

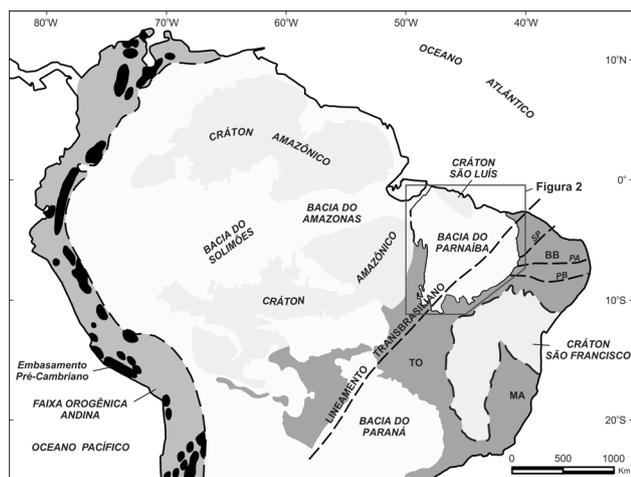


Figura 1. Mapa simplificado das porções norte e central da América do Sul (modificado de Bizzi et al., 2003; Alkmim, 2004; Fuck et al., 2008). Províncias orogênicas brasileiras: BB – Borborema, TO – Tocantins, MA – Mantiqueira. Zonas de cisalhamento: PA – Patos, PB – Pernambuco, SP – Senador Pompeu.

A origem e evolução do LTB tem sido amplamente discutida por diversos autores, entre eles, Almeida et al. (2000), Delgado et al. (2003), Cordani et al. (2013), Araújo et al. (2014) e Castro et al. (2014). No presente trabalho (como em outros precedentes), a designação “Lineamento Transbrasiliiano” é mais bem aplicada à deformação do ciclo Brasileiro, com cinemática transcorrente dextral em contexto intracontinental ou (cf. Araújo et al., 2013) como uma zona transformante tardicolisional. Na Bacia do Parnaíba (BP), estruturas mais jovens demarcam o seu traço nas sequências sedimentares, como eventos de reativação. Na

sua expressão de alta temperatura, essa grande estrutura aflora adjacente à borda NE da BP e é inferida no seu substrato, controlando estruturas de grabens preenchidos por depósitos pré-silurianos do Grupo Jaibaras, bem como altos estruturais e eixos deposicionais de unidades paleozoicas (Milani e Zalán, 1999).

As reativações pós-silurianas desse lineamento afetam (ou mesmo condicionam) unidades sedimentares e vulcânicas da BP (Vaz et al., 2007). A geometria das estruturas, cinemática e idade dos eventos deformacionais pós-silurianos, ao longo do LTB, são ainda pouco conhecidas. Diferentes autores postularam eventos de idades paleozoica (eodevoniânica e eocarbonífera, resultando em discordâncias, falhas normais e altos estruturais), tentativamente correlacionados a orogenias distais, e mesozoica (neotriássica e/ou jurássica-neocomiana), que devem ter correlação com a abertura do Atlântico Central ou Equatorial/Sul. Nesse contexto, o estilo estrutural da porção NE da BP, envolvendo o estágio de baixa temperatura da zona milonítica brasiliiana, e a sua reativação pós-siluriana constituem os objetivos deste trabalho. Para tanto, os estudos conduzidos enfatizam o Graben de Jaibaras (GJ) e as reativações do LTB na sua continuidade para SW. As ferramentas utilizadas incluem a análise de dados aeromagnéticos, imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e outras, além do levantamento de dados estruturais em campo.

CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

Embasamento cristalino pré-cambriano

O embasamento cristalino da área de estudo (Figuras 2 e 3) está inserido na porção noroeste da Subprovíncia Setentrional, especificamente nos domínios Médio Coreau e Ceará Central da Província Borborema (Oliveira e Mohriak, 2003). O termo “Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II” tem sido utilizado para o segmento do LTB na região NW do Ceará. Tendo em vista a dificuldade de inferência precisa da zona milonítica sob o capeamento sedimentar da BP, sugere-se simplificar esse termo para “Zona de Cisalhamento de Sobral”, limitando os domínios Médio Coreau e Ceará Central. Essa zona de cisalhamento apresenta um padrão S-C (Figura 3), com milonitos de alta temperatura aflorando a E/SE (e localmente também a NW) do GJ.

O Domínio Médio Coreau localiza-se a noroeste da Zona de Cisalhamento de Sobral (ZCS) e é recoberto, a sudoeste, por sequências sedimentares fanerozoicas da BP. Esse domínio compreende ortognaisses de idade paleoproterozoica (Santos et al., 2009). Sobrepostas estruturalmente ocorrem sequências neoproterozoicas que correspondem ao Grupo Martinópole (metavulcanossedimentar) e as rochas clásticas, pelíticas e carbonáticas de baixo grau metamórfico, do Grupo Ubajara. Ainda

ocorrem diversos plútons graníticos de idade sin a tardi-brasiliiana, e o mais jovem, o Plúton Mucambo (532 ± 7 Ma, U-Pb em zircão; Santos et al., 2008), intrude as rochas do Grupo Ubajara (Figura 3). O Domínio Ceará Central ocorre a sudeste da ZCS, incluindo um núcleo arqueano e

ortognaisses paleoproterozoicos. Essas rochas encontram-se parcialmente capeadas por rochas metassedimentares de médio a alto grau, de idade neoproterozoica (Grupo Ceará), que são intrudidas por expressivo plutonismo sin a pós-tectônico à Orogênese Brasiliiana (Arthaud et al., 2008).

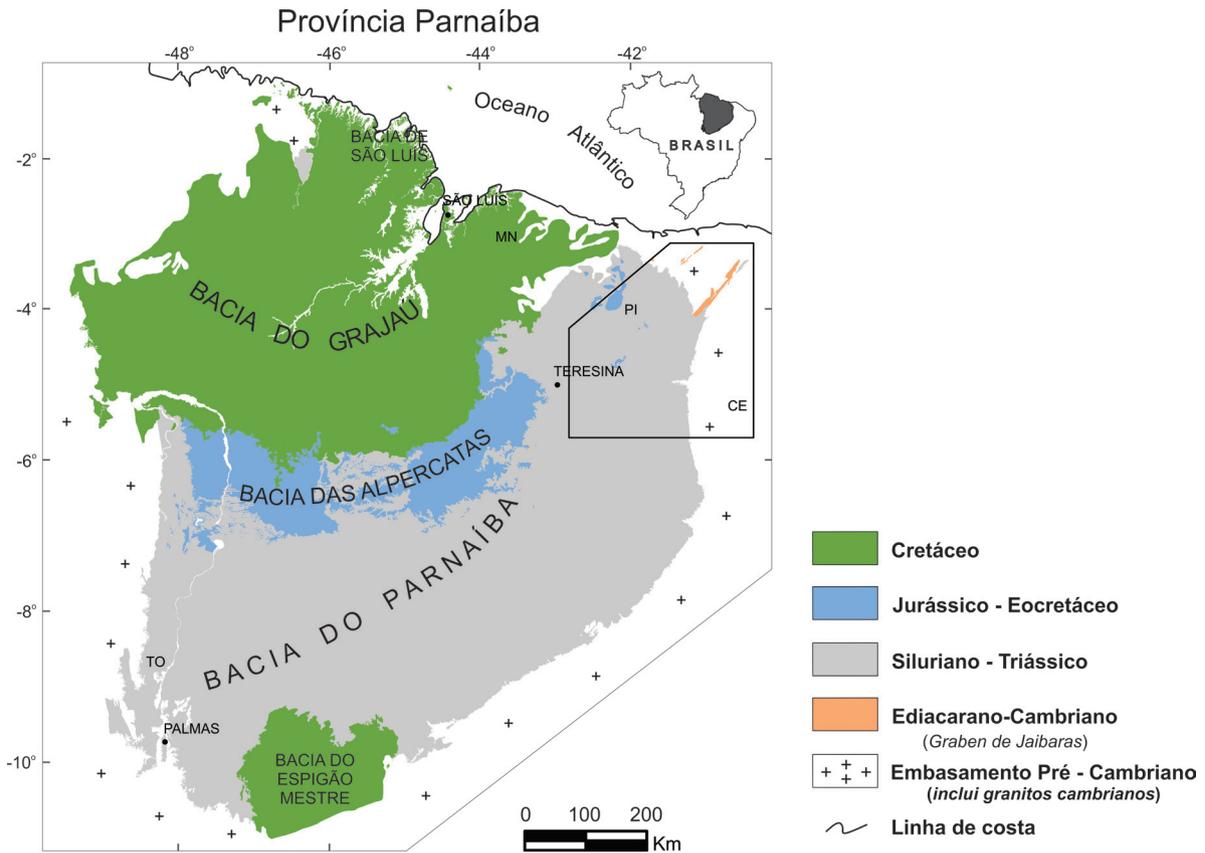


Figura 2. Mapa das sucessivas bacias sedimentares superpostas na “Província Parnaíba”, reproduzido (com modificações) de Góes (1995; ilustração obtida de Pedreira et al., 2003). A área de estudo encontra-se delimitada pelo polígono preto.

O Graben de Jaibaras e os granitos pós-tectônicos

O GJ encontra-se localizado no extremo noroeste da Província Borborema (Parente et al., 2004), onde faz parte do arcabouço estrutural do Domínio Médio Coreaú. O graben apresenta-se como uma extensa faixa (120 km de comprimento na área exposta) de direção preferencial NE-SW (Figuras 2 e 3), com largura variando de 10 a 20 km, formado a partir da reativação de estruturas preexistentes associadas ao LTB (Oliveira e Mohriak, 2003). As unidades vulcanossedimentares desse graben são formalmente denominadas de Grupo Jaibaras. Costa et al. (1975) subdividiram esse grupo em quatro unidades, da base para o topo: a Formação Massapê, onde predominam rochas conglomeráticas e brechoides com intercalações de arenitos

arcoseanos; segue, em contato transicional, a Formação Pacujá, composta de arenitos arcoseanos, folhelhos e siltitos; outra unidade, posteriormente redefinida como a Suíte Parapuá, é composta de rochas extrusivas e intrusivas encaixadas nas demais unidades citadas, incluindo basaltos, andesitos, traquitos e riolitos; por fim, e também em contato gradacional com a Formação Pacujá (Jardim de Sá et al., 1979), ocorre a Formação Aprazível, composta de conglomerados e brechas polimíticas, com intercalações de arenitos. Dados paleontológicos obtidos por Barroso et al. (2014) permitem estimar uma idade ediacarana-cambriana para as rochas pertencentes a esse grupo.

A borda NW do GJ corresponde à “Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras”, adjacente à qual ocorre o Granito Meruoca (Figura 3), cuja idade média ponderada obtida com a técnica de U-Pb em zircão é de 523 ± 10 Ma (Archanjo et al.,

2009). Esse granito encontra-se em contato intrusivo com o Grupo Ubajara (Costa et al., 1975; Gorayeb et al., 1988). Segundo Jardim de Sá et al. (1979), o Granito Meruoca em parte antecede o Grupo Jaibaras, conforme atestado por

seixos nas brechas da Formação Aprazível, mas também apresenta fácies marginais intrusivas nas formações Aprazível e Pacujá. Esse posicionamento estratigráfico é suportado pela combinação dos dados geocronológicos e paleontológicos.

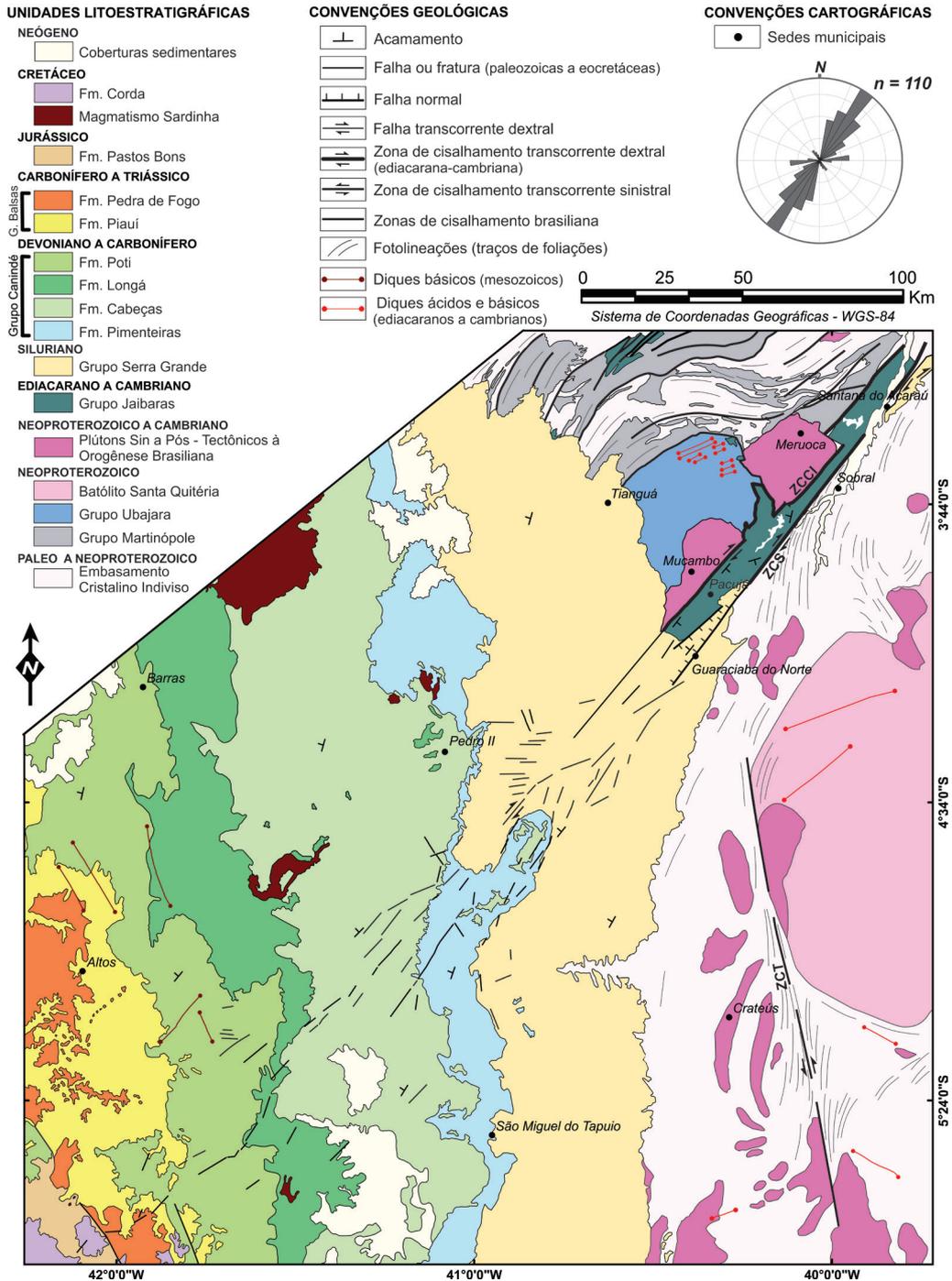


Figura 3. Mapa geológico da área estudada, modificado das cartas geológicas Fortaleza SA 24 e Jaguaribe SB 24 da CPRM, com a exibição de parte dos lineamentos cartografados em imagem SRTM. O diagrama de roseta representa os lineamentos (estruturas frágeis) das unidades estratigráficas da borda NE da BP, que ocorrem ao longo ou nas proximidades do *trend* NE do LTB. ZCS: Zona de Cisalhamento de Sobral; ZCCI: Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras; ZCT: Zona de Cisalhamento de Tauá.

Estudos geofísicos efetuados por Pedrosa Jr. et al. (2014) sugerem que os altos magnéticos observados nesse graben encontram-se associados a rochas vulcânicas e intrusões ígneas, enquanto interpretações de dados aerogeofísicos (magnéticos e gravimétricos) envolvendo a BP e o GJ, efetuadas por Castro et al. (2014), propõem a continuidade desse graben (e de várias outras estruturas análogas) sob a BP, ao longo e lateralmente ao *trend* NE-SW do LTB.

Bacia do Parnaíba

A BP encontra-se localizada na porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, onde ocupa grande parte dos estados do Piauí e do Maranhão, com extensões para os estados do Pará, Tocantins, Bahia e Ceará. Possui cerca de 600.000 km² de área aflorante, fazendo parte do grupo das grandes sinéclises paleozoicas, desenvolvidas durante o estágio de estabilização da Plataforma Sul-Americana (Almeida e Carneiro, 2004; Vaz et al., 2007). Em adição, a BP exhibe coberturas e suítes ígneas de idades eojurássica e eocretácea. Diferentes autores chamam atenção para a sua evolução complexa, distinguindo estágios das respectivas bacias, com configurações próprias, evoluindo do Siluriano ao Triássico, do Jurássico ao Cretáceo, além de uma herança estratigráfica e estrutural relacionada ao final do ciclo orogênico Brasileiro (Figura 2; no caso, atentar para a área designada de “Graben de Jaibas”).

O estágio de sinéclise compreende três sequências de primeira ordem representando ciclos de transgressão-regressão (sequências Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera e Neocarbonífera-Eotriássica; Vaz et al., 2007). As rochas sedimentares da Sequência Jurássica capeiam lavas e intrusivas básicas (Formação Mosquito), sendo o conjunto (designado de Bacia das Alpercatas, na Figura 2) tentativamente relacionado à abertura do Atlântico Central. A Sequência Cretácea, de idade aptiana a cenomaniana (Vaz et al., 2007), ocorre sobreposta a vulcânicas e intrusivas básicas (Formação Sardinha) associadas à abertura do Atlântico Sul (Milani e Thomaz Filho, 2000; Mizusaki et al., 2002). As rochas sedimentares cretáceas (a Bacia do Grajaú, na Figura 2) apresentam correlações ou continuidade com as unidades das bacias costeiras entre o Pará e o oeste do Ceará.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia aplicada neste trabalho foi desenvolvida por meio das seguintes etapas: 1) análise de dados aeromagnéticos, que serviu para caracterizar os principais lineamentos (em especial, o LTB), e domínios magnéticos, que foram correlacionados com as estruturas e unidades geológicas da área estudada, aflorando nas bordas da

BP; 2) análise das macroestruturas por meio de imagem SRTM; 3) levantamentos de dados estruturais de campo, principalmente ao longo do *trend* NE do LTB, tanto no embasamento como na BP.

Dados aeromagnéticos

Os dados aeromagnéticos empregados neste trabalho foram obtidos por meio de duas campanhas geofísicas distintas. Os levantamentos sob a égide da ANP recobriram uma área de 748.612 km² e 183.877 km lineares, com altura de voo variando de 1.100 a 1.800 m, e linhas de voo e controle espaçadas de 6 km e 24 km, orientadas nas direções E-W e N-S, respectivamente. Os levantamentos do Projeto Rio Acaraú (1975), executado para a CPRM, abrangeram uma área total de 21.000 km², com altura de voo de 150 m, linhas de voo N-S com espaçamento de 1 km, e linhas de controle E-W com espaçamento de 20 km. As variações nos espaçamentos das linhas e da altura do voo nesses levantamentos fizeram a porção NE da área estudada exibir anomalias magnéticas com mais detalhes. As técnicas para a junção desses dois levantamentos não serão aqui abordadas, pois fogem do escopo do presente trabalho.

O mapa aeromagnético ilustrado neste trabalho foi o do campo magnético anômalo reduzido ao polo (Figura 4). A vantagem de utilizar esse mapa é o posicionamento correto da anomalia sobre a sua fonte.

Análise de lineamentos/dados de sensor remoto/macroestruturas

A cartografia de lineamentos utilizou imagem SRTM com resolução espacial de 90 metros, obtida no sítio eletrônico da USGS (*United States Geological Survey*), com referencial planimétrico WGS 84 (*World Geodetic System* 1984). Deu-se especial atenção aos lineamentos principais que pudessem representar falhas/fraturas com *trend* NE-SW e associar-se ao LTB (Figura 3). Os lineamentos assim traçados foram considerados na análise das mesoestruturas da região estudada, buscando caracterizar as fases de reativação do LTB, ao longo da BP e no GJ.

Análise de mesoestruturas

Na escala mesoscópica, as estruturas foram caracterizadas de acordo com a sua geometria, espaçamento, abertura, preenchimento e indicadores cinemáticos. As relações com marcadores (diques de provável idade eocretácea) e a idade máxima das estruturas, indicada pela biocronostratigrafia das sequências afetadas, além de alguns casos de superposição de *slickenlines* em um mesmo plano de falha, forneceram indicações sobre a cronologia e o nível crustal dos eventos

tectônicos que ocorreram na área. Após a coleta, os dados referentes às falhas e aos respectivos *slickenlines* foram tratados com auxílio do programa Win-TENSOR (Delvaux, 1993), que tem como fundamento o método dos diedros retos de Angelier e Mechler (1977). Amostras das estruturas geradas pelos sistemas de paleotensões/*strain* foram comparadas entre si com base em modelos de cisalhamento simples ou puro, considerando etapas de reativações do LTB em associação com a abertura do Atlântico, além de possíveis orogenias distais, conforme aventado na literatura (Milani e Thomaz Filho, 2000; Vaz et al., 2007).

A análise das estruturas no GJ, ediacarano-cambriano, e na borda NE da BP evidencia pelo menos quatro eventos deformacionais que foram interpretados como reativações do LTB, em diferentes temperaturas e intervalos de tempo. O primeiro evento, denominado de D_n , é observado de modo exclusivo no GJ (ou no substrato adjacente) e as suas estruturas encontram-se relacionadas a uma deformação de temperatura mais elevada (localmente atingindo o limiar da plasticidade do quartzo), comparativamente aos três outros eventos (aqui designados de D_1 , D_2 e D_3), estes caracterizados tanto no graben como nas sequências paleozoicas da BP, com estruturas desenvolvidas em temperatura mais baixa, essencialmente rúpteis/cataclásticas.

ASSINATURA AEROMAGNÉTICA DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO

Na sua porção NW (Domínio Médio Coreáú), o mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (Figura 4) caracteriza-se por altos e baixos magnéticos alongados, com formas sigmoidais de direção dominante NE, mas variando até E-W, seguindo os *trends* dos blocos do embasamento pré-Grupo Jaibaras: os grupos Martinópole e Ubajara e o embasamento gnáissico (consultar a Figura 3 para comparação). Em geral, o Grupo Ubajara apresenta valores de baixa suscetibilidade magnética (A1 na Figura 4), que parecem adentrar sob a cobertura sedimentar da BP, todavia com menor definição ante o maior espaçamento das linhas de voo do levantamento regional. Uma anomalia com elevada resposta magnética (A2) é observada na porção centro-leste da área aflorante ocupada por esse grupo. A anomalia citada coincide com os enxames de diques ácidos e básicos, ediacarano-cambrianos (Enxame Médio Coreáú) que, isoladamente ou incluindo uma câmara alimentadora em subsuperfície, poderiam gerar essa anomalia.

Na sua expressão característica de uma zona milonítica de alta temperatura transcorrente dextral, a assinatura magnética do LTB (a ZCS) no local não é clara no mapa magnético. O alto magnético com direção NE (A3, a SE do GJ) pode constituir uma expressão dessa zona. Segundo Pedrosa Jr. et al. (2014), a possível fonte rica em minerais

ferromagnesianos coincide com a faixa granulítica de Cariré. Por outro lado, uma anomalia magnética NE ainda mais pronunciada também segue o *trend* dessa estrutura; todavia e ante sua geometria estreita e retilínea, a correlação com os litotipos do Grupo Jaibaras é a interpretação preferida, possivelmente creditada às intercalações vulcânicas da Suíte Parapuí (e câmaras magmáticas alimentadoras) nas encaixantes sedimentares.

No rumo SW, a assinatura do LTB tende a se tornar menos evidente no substrato da BP, embora faixas de altos e baixos magnéticos com orientação NE e comprimentos de onda mais expressivos ainda sejam evidentes a leste e SE de Pedro II (A4 na Figura 4), sendo interpretadas como fontes no substrato granito-gnáissico. A eventual presença de análogos ao GJ, cuja detecção é desfavorecida pela malha aeromagnética mais aberta, não pode ser descartada. *Trends* E-W delimitam domínios magnéticos ou anomalias de pequeno porte a leste de Pedro II.

Por outro lado e contrariamente ao esperado, as anomalias magnéticas não reproduzem os *trends* N-S/NNW do DCC, associados ao embasamento gnáissico e à Zona de Cisalhamento de Tauá (comparar com a Figura 3).

O GRABEN DE JAIBARAS E O LINEAMENTO TRANSBRASILIANO

Contexto e macroestruturas

Baseando-se em dados obtidos por meio de interpretação de imagem de sensor remoto e trabalhos de campo, foi possível observar que o GJ é delimitado por zonas de falhas (com brechação e cataclase) que também exibem feições dúcteis-frágeis precoces, superimpostas à trama milonítica de alta temperatura, esta impressa unicamente nos gnaissees do embasamento, mas aparentemente também refletida pela forma do Plúton Mucambo (“chifre” dextral). De modo mais localizado (em especial, na sua borda SE), são também observadas zonas miloníticas de baixa temperatura afetando as rochas sedimentares e vulcânicas do graben. Nesse contexto retrometamórfico em relação ao LTB, aqui rotulado como o evento D_n , as designações e caracterizações dos limites do graben devem ser revistas; no caso, a “Zona de cisalhamento Café-Ipueiras” e, em especial, a de “Sobral”. Essa última é adotada para designar o registro da deformação de alta temperatura (plástica, mais antiga) bem exposto nos arredores daquela cidade, substituindo o termo “Sobral – Pedro II”, comumente referido na literatura.

A deposição do Grupo Serra Grande nessa região, sem evidências de deformação penecontemporânea ao longo do LTB, constitui um importante marco tectônico a ser considerado, envolvendo uma discordância estrutural com o Grupo Jaibaras, sotoposto, e uma não conformidade com o embasamento mais antigo. Os eventos deformacionais subsequentes,

impressos no GJ e nas unidades paleozoicas na borda NE da BP, constituídas pelas sequências Siluriana (Grupo Serra Grande) e Mesodevoniana–Eocarbonífera (formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças, provavelmente incluindo as demais unidades do Grupo Canindé; no mapeamento regional (Figura 3), a Formação Itaim está “incorporada” à área limítrofe do Grupo Serra Grande com a Formação Pimenteiras), devem ter idade máxima pós-devoniana (ou pós-eocarbonífera),

podendo ainda envolver eventos de idade juro-cretácea. Até três fases deformacionais podem ser caracterizadas nessas unidades paleozoicas (o que será discutido mais adiante) e também nos litotipos do GJ; estruturas NE (*trend* do LTB) em regime transcorrente/transpressivo dextral (designadas de D_1) são distintas de estruturas também NE, mas com cinemática distensional (fase D_2), bem como de estruturas NE em regime transcorrente sinistral (fase D_3).

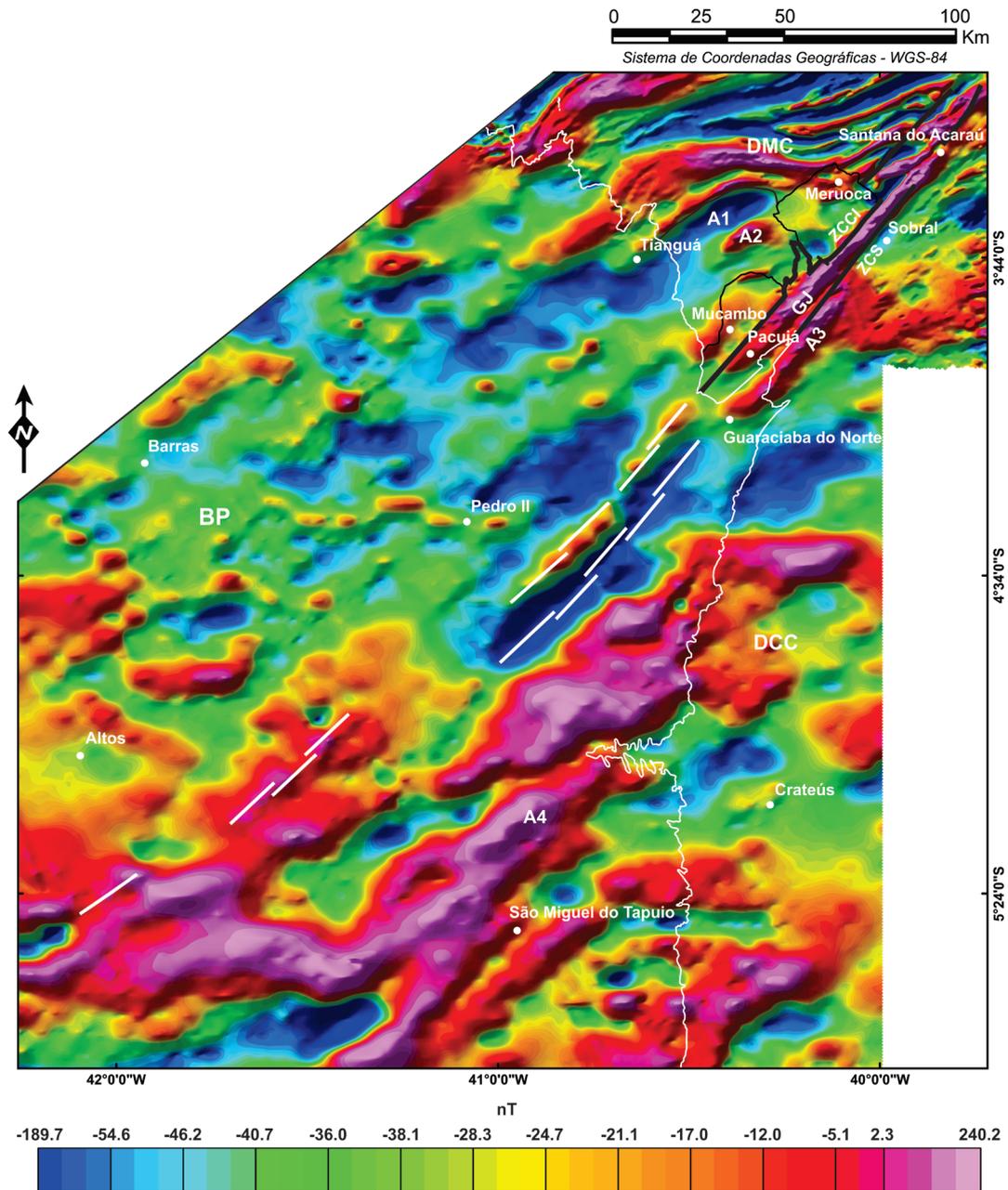


Figura 4. Mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo. DMC: Domínio Médio Coreau; DCC: Domínio Ceará Central; GJ: Graben de Jaibaras; BP: Bacia do Parnaíba; ZCS: Zona de Cisalhamento de Sobral; ZCCI: Zona de Cisalhamento Café-lpueiras. Traços brancos representam os lineamentos magnéticos associados ao LTB. A linha branca menos espessa indica o limite da BP.

Fase de deformação D_n

A fase deformacional D_n tem como principal registro as zonas de cisalhamento dúcteis-frágeis com direção NE-SW que delimitam o GJ e estruturas associadas. Na borda SE do graben, essa macroestrutura desenvolve (não de modo penetrativo) uma foliação S_n também com direção predominantemente NE a NNE (Figura 5A) e ângulo de mergulho forte, geralmente para NW. Em algumas localidades (norte de Santana do Acaraú), a fase D_n é registrada em veios graníticos com orientação ENE-WSW e está associada com veios de quartzo com foliação milonítica S-C (com quartzo estirado), indicando cinemática transcorrente dextral nos planos NE-SW (Figura 5B). Outras estruturas encontradas em campo foram as juntas T (Figura 5B), com ou sem preenchimento de veios de quartzo, em arranjo escalonado, também indicativas dessa cinemática (Figura 5C). Foram ainda observadas estruturas subparalelas ou em alto ângulo, com direções NE-SW ou NW-SE, representadas por falhas transcorrentes dextrais e sinistrais, respectivamente (Figuras 6A-a, 6A-b e 6A-c), além de juntas distensionais E-W e ENE-WSW associadas (Figura 6A-a). A cinemática transcorrente dextral do LTB envolve eixos de encurtamento Z (σ_1) com direção ENE-WSW e distensão X (σ_3) NNW-SSE (Figura 6A-d) horizontais. As estruturas NE-SW são elementos sintéticos (R, P) a falhas/zonas de cisalhamentos principais, enquanto as falhas NW-SE representam estruturas antitéticas do tipo R'. A idade dessa fase deformacional é inferida no final do Ediacarano ao Cambriano, considerando a idade do Grupo Jaibaras, a temperatura mais elevada dessas estruturas (mais evidente na região de Santana do Acaraú) e a cinemática dextral que também é inferida a partir do enxame de diques graníticos de Coreaú, subparalelos e subverticais com direção ENE-WSW, que cortam os metassedimentos do Grupo Ubajara (Figura 3) e precedem ou são precoces à deposição do Grupo Jaibaras (Jardim de Sá et al., 1979; Oliveira, 2001; Oliveira e Mohriak, 2003). Uma idade pré-Grupo Serra Grande é suportada pelo basculamento prévio das camadas do Grupo Jaibaras, sotopostas à discordância basal daquele grupo, como observado na porção sul do graben (a sul/SW da cidade de Pacujá; Figura 3).

REATIVAÇÕES DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO AFETANDO A BACIA DO PARNAÍBA

Lineamentos na Bacia do Parnaíba

O mapa geológico da área (Figura 3) ilustra lineamentos com forte concentração na direção NE-SW, que devem refletir a reativação do LTB em subsuperfície. Subordinadamente ocorrem lineamentos com direções

NW-SE e E-W. Para os lineamentos NE, o tamanho e a frequência destes tendem a diminuir no sentido SW, no qual são encontradas unidades estratigráficas mais jovens. Em campo, exemplos desses lineamentos NE encontram-se associados a falhas de regime normal ou com movimentações transcorrentes dextrais ou sinistrais, o que reflete a ocorrência de diferentes fases de reativação do LTB. Os lineamentos de direção NW (bem como a família NE) incluem alguns diques possivelmente correlatos ao Magmatismo Sardinha (eocretáceos), além de uma falha delimitando o contato entre as formações Pedra de Fogo, Corda e Pastos Bons, feições sugestivas de que pelo menos parte desses lineamentos deve ser mais jovem. Os lineamentos E-W se expressam como traços mais curtos (Figura 3). Exemplos de lineamentos com *trend* NW foram caracterizados em campo, como falhas transcorrentes ou oblíquas sinistrais, normais ou como juntas distensionais, enquanto os lineamentos E-W corresponderam a falhas transcorrentes dextrais ou a juntas distensionais, feições registradas nas Figuras 6 e 7, corroborando as diferentes fases de reativação ao longo do LTB. Os lineamentos NE que delimitam o GJ sofreram reativação distensional que afeta o Grupo Serra Grande, abatido no interior do graben ao longo da sua borda SE (Figura 3). Na região de Santana do Acaraú, as falhas NE que delimitam os arenitos Serra Grande exibem uma cinemática principal transcorrente dextral (Figura 3).

Fase de deformação D_1

As estruturas frágeis relacionadas à fase deformacional D_1 foram observadas principalmente ao longo do *trend* NE do LTB, afetando o Grupo Serra Grande e o Grupo Jaibaras. Essa fase é definida maioritariamente por estruturas de alto ângulo associadas a *slickenlines* com *rake* variando de moderado a baixo, representadas por falhas transcorrentes dextrais com orientação NE-SW (Figuras 5D e 6B-a) e falhas transcorrentes sinistrais NW-SE (Figuras 5E e 6B-b), ocorrendo também falhas normais oblíquas (componente sinistral) NW-SE (Figura 6B-c). No GJ, falhas transcorrentes dextrais e sinistrais (Figuras 6B-d e 6B-e, respectivamente) apresentam orientação e cinemática similares àquelas observadas no Grupo Serra Grande.

Comparadas às falhas do GJ relacionadas à deformação D_n , as falhas do sistema D_1 apresentam feições (ausência de plasticidade em quartzo ou dos preenchimentos típicos das fraturas da fase deformacional D_n , como quartzo e veios graníticos) que possibilitam associá-las a condições de temperaturas baixas, com comportamento rúptil/cataclástico, denotando que a deformação ocorreu em níveis crustais relativamente rasos, após exumação erosiva do GJ e seu embasamento pré-cambriano.

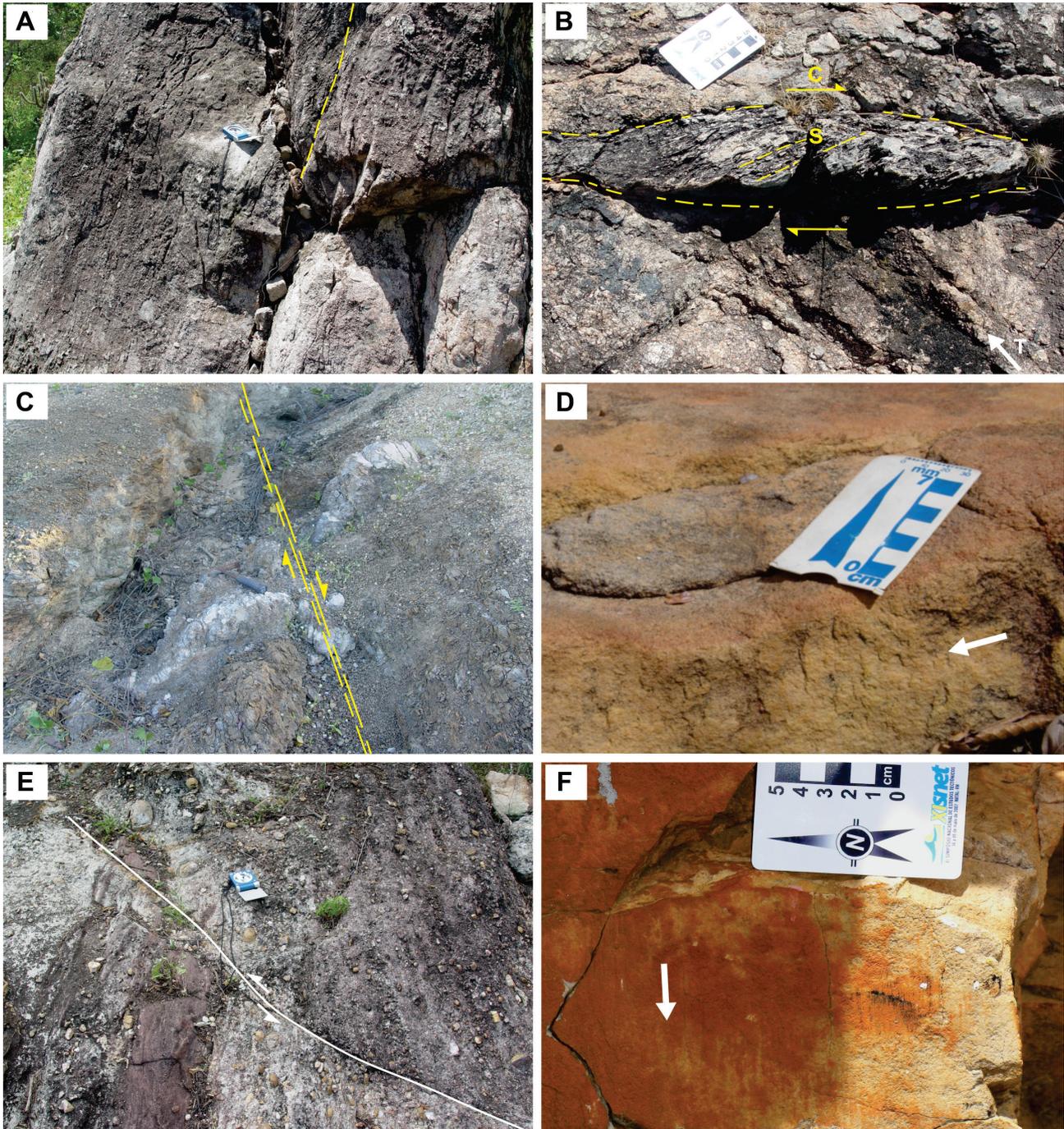


Figura 5. A) Foliação S_n de direção NE-SW e mergulho forte para NW, em afloramento da Formação Aprazível (a bússola aponta para o norte); B) Veio de quartzo com foliação milonítica S-C, transcorrente dextral, com a presença de juntas T tardias (zona de cisalhamento dúctil-frágil), também na Formação Aprazível. Nesse afloramento, destaca-se o caráter plástico do *fabric* do quartzo; C) Zona de falha transcorrente dextral, com juntas T escalonadas preenchidas por quartzo, afetando vulcânicas básicas da Suíte Parapuú (cabo do martelo indicando o norte); D) Plano de falha com *slickenlines* de *rake* baixo e ressaltos fibrosos, evidenciando uma transcorrência dextral em arenitos do Grupo Serra Grande; E) Falha transcorrente sinistral NW-SE em arenitos do Grupo Serra Grande. Observar o acamamento com forte mergulho e o estiramento (juntas distensionais) NNE dos seixos de quartzo (a bússola indica o norte); F) Plano de falha normal com orientação NNW-SSE, em arenitos da Formação Cabeças.

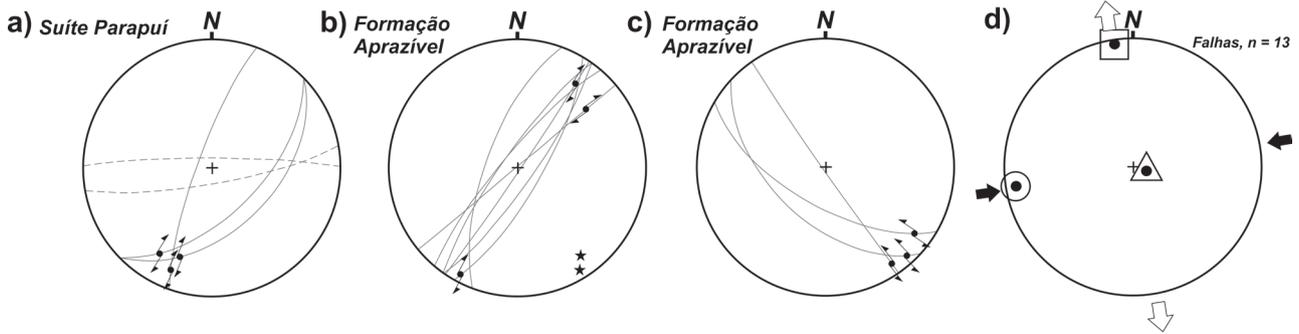
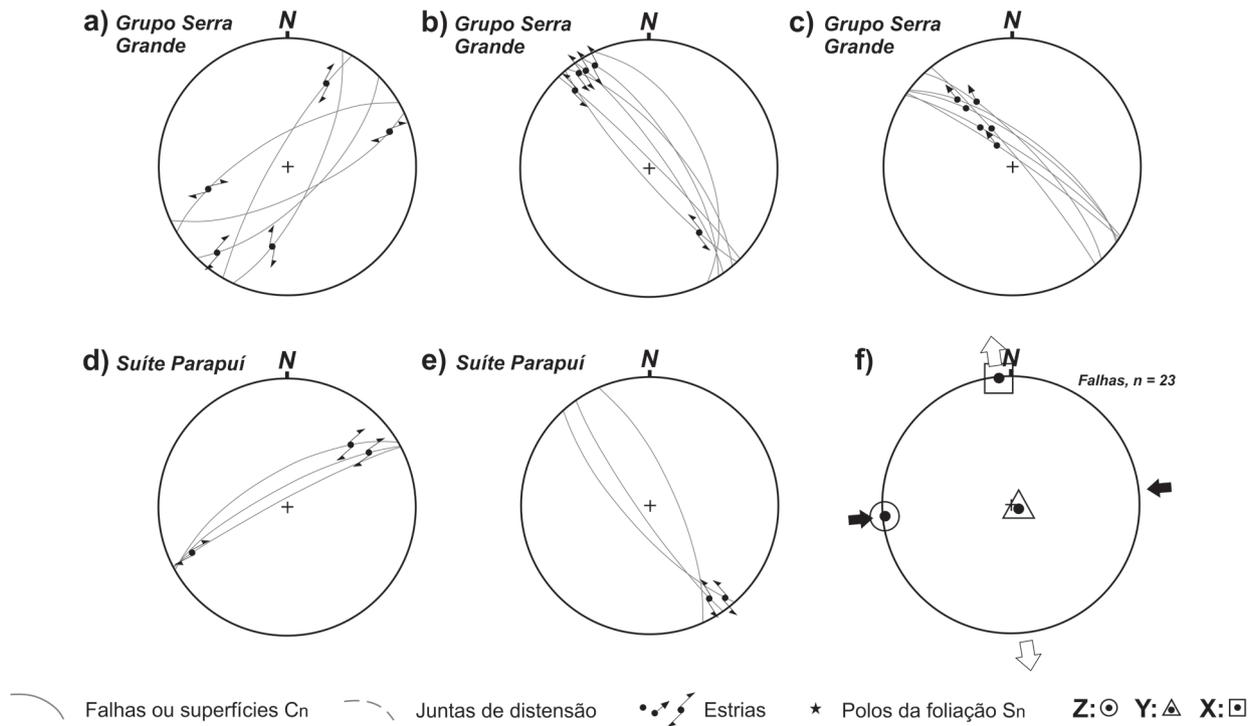
A) Fase Deformacional D_n B) Fase Deformacional D_1 

Figura 6. Projeção estereográfica (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) para o conjunto de estruturas: A) Da fase deformacional D_n afetando exclusivamente as rochas do Grupo Jaibaras; B) Da fase deformacional D_1 afetando as rochas do Grupo Jaibaras e das sequências paleozoicas da borda NE da Bacia do Parnaíba.

A análise dos planos de falhas e dos seus respectivos *slickenlines* indica um campo de *strain*/tensões com eixo de encurtamento Z (σ_1) ENE-WSW e distensão X (σ_3) NNW-SSE horizontais (Figura 6B-f) similares àqueles da fase deformacional D_n e corroborando, dessa forma, a vigência (ou retomada) de um regime transcorrente dextral ao longo do LTB. Com base na orientação do LTB e na classificação de Riedel, as falhas NE-SW podem ser interpretadas como estruturas sintéticas do tipo R ou P, enquanto as falhas NW-SE possivelmente representam estruturas antitéticas do tipo R' ou X.

Esse regime deformacional pode ser correlacionado com a deformação pós-devoniana proposta por Destro (1987) e Destro et al. (1994) e corresponde à fase D_1 reconhecida por Galvão (2002) e Carvalho (2005) para a reativação dextral transpressiva do LTB na região de Santana do Acaraú. Nessa localidade, os arenitos Serra Grande são delimitados por falhas NE e apresentam acamamento com mergulhos fortes ao longo da borda (falha de Jacurutu; Destro et al., 1994; Antunes, 2004), interpretados como dobramentos por movimentação tectônica em regime transpressivo.

Uma idade mínima jurássica, relacionada à distensão NNW que condiciona os corpos básicos da Suíte Magmática Mosquito (cuja área principal de ocorrência situa-se na porção centro-oeste da bacia) com ocorrência restrita, relacionada ao rifteamento do Atlântico Central (Vaz et al., 2007), é uma das hipóteses de correlação que podem ser consideradas para esse evento. Por outro lado, a relativa identidade com as estruturas D_n no GJ pode significar que as estruturas D_1 também possam ser de idade paleozoica, associadas às discordâncias eodevoniana ou mesocarbonífera, na BP (Vaz et al., 2007).

Fase de deformação D_2

A principal característica desta fase deformacional é a geração de estruturas distensionais NE-SW, com *slickenlines* apresentando ângulos de *rake* essencialmente elevados e rumos concentrados maioritariamente para NW-SE, todas desenvolvidas em condições estritamente frágeis. De maneira geral, as falhas normais NE-SW são as mais frequentes, com mergulhos tanto para sudeste como para noroeste (Figura 7A-a), enquanto falhas normais oblíquas (com componente sinistral) apresentam direção variando de E-W a ENE-WSW (Figuras 7A-a e 7A-b). A variação nos mergulhos das falhas, observada nesses estereogramas, é também interpretada como a amostragem de estruturas mesoscópicas de segunda ordem, consoante ao modelo de Riedel. Embora as falhas sejam mais comumente observadas nas rochas sedimentares da borda NE da BP, exemplos afetando as rochas do GJ (em especial, na sua borda SE) apresentam direção e cinemática semelhantes (Figuras 7A-c, 7A-d e 7A-e), sendo, pois, correlacionadas a essa mesma fase de deformação. Em campo, os pontos onde foram observadas as estruturas relacionadas a essa fase posicionam-se ao longo de lineamentos de direção NE-SW seguindo o *trend* do LTB, indicando, dessa forma, a reativação das estruturas pretéritas, agora em regime distensional. Um bom exemplo é o abatimento dos arenitos do Grupo Serra Grande e da sua discordância basal no interior do GJ, em falhas na borda SE do graben, a E/SE da cidade de Pacujá (Figura 3).

Essa fase resulta de um campo de *strain*/tensões com eixo de distensão X (σ_3) NW-SE e de encurtamento Z (σ_1) vertical (Figura 7A-f). A orientação NW da distensão é análoga àquela reconhecida nos grabens eocretáceos da Província Borborema (Matos, 1999; Córdoba et al., 2008), o que permite considerar a possibilidade de correlação dessa fase com a abertura do Atlântico Sul durante o Neocomiano-Barremiano. Na região estudada (Figura 3), foram cartografados alguns diques básicos com direção NE-SW (exemplo a SE da cidade de Altos; essa família é mais importante na borda SE da bacia, a sul de Picos) e outros com orientação NW (também na região de Altos). Esses diques na porção leste da BP são atribuídos à Suíte Magmática Sardinha (Vaz et al., 2007).

Fase de deformação D_3

A fase deformacional D_3 afeta as rochas sedimentares da borda NE da BP e vulcânicas e sedimentares do Grupo Jaibaras, sendo também caracterizada, dessa forma, pela reativação da herança tectônica do substrato: as estruturas relacionadas a essa fase encontram-se maioritariamente localizadas ao longo do *trend* NE do LTB. Nessa fase foram desenvolvidas estruturas de caráter rúptil, como falhas normais com direção variando de NNW-SSE (Figuras 5F e 7B-a) a N-S (Figura 7B-a), bem como falhas transcorrentes dextrais com orientação variando de WNW-ESE a E-W (Figura 7B-b) e falhas transcorrentes sinistrais NE-SW (Figura 7B-c). Falhas com direção variando de NW-SE a NNW-SSE e apresentando planos com películas silicosas, nas quais estão presentes *slickenfibers* de quartzo com *rake* alto a moderado, são as características diagnósticas desse sistema de falhas no GJ (Figura 7B-d).

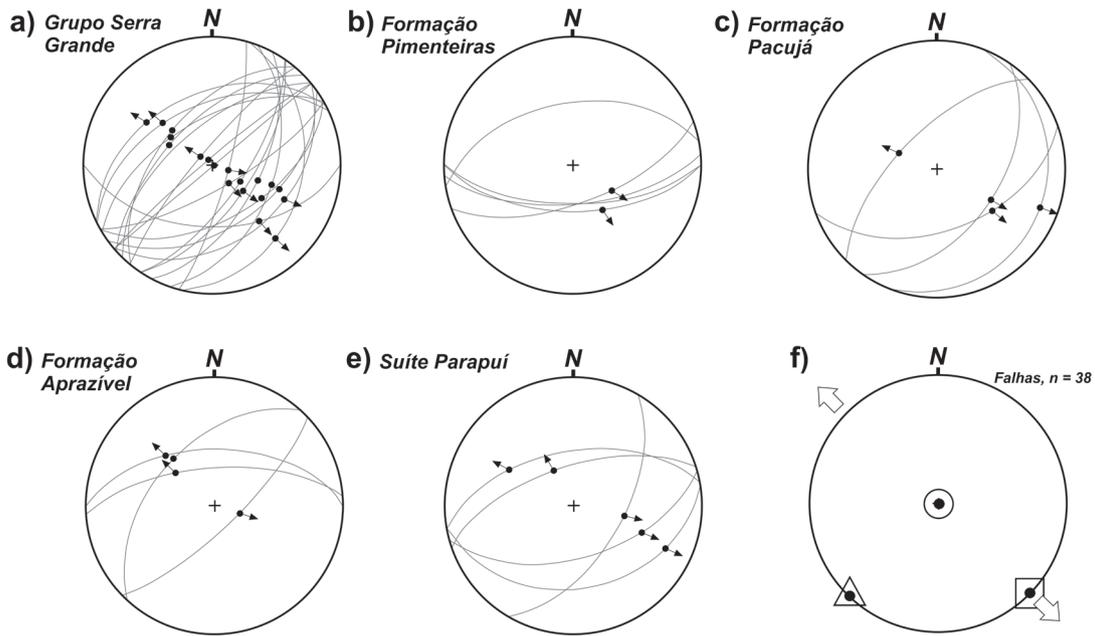
De acordo com a análise dos diagramas estereográficos das falhas, observou-se que as estruturas relacionadas a essa fase foram geradas a partir de um campo de *strain*/tensões com eixo de encurtamento Z (σ_1) NNW-SSE e distensão X (σ_3) ENE-WSW (Figura 7B-e). No LTB, esse campo de *strain*/tensões e a orientação dessas estruturas correspondem a um regime transcorrente sinistral. Com base na orientação do LTB e no modelo de Riedel, as falhas NE-SW podem ser interpretadas como estruturas do tipo R ou P, enquanto as falhas WNW-ESE e E-W possivelmente representariam estruturas antitéticas do tipo R' ou X em relação ao LTB. Uma tentativa de correlação regional (sem, todavia, eliminar outras possibilidades) para essa fase seria a abertura transcorrente-transformante da Margem Equatorial, com transtração dextral em falhas de direção E-W, entre o Neoptiano e o Albiano (Matos, 1999, 2000; Antunes, 2004).

CONCLUSÕES

A interpretação de imagem SRTM conferiu mais detalhamento à trama estrutural associada ao Lineamento Transbrasileiro (LTB) na borda NE da Bacia do Parnaíba (BP), registrada nas rochas do substrato cristalino e nas coberturas sedimentares da BP. Em campo, foi possível caracterizar estruturas tardias à trama dúctil de alta temperatura do substrato, formadas durante o intervalo Ediacarano-Cambriano. São estruturas de caráter essencialmente frágil, presentes nas coberturas sedimentares, cuja origem pode estar associada a eventos de deformação e reativações do LTB ocorridos essencialmente entre o Neodevoniano e o Eocretáceo.

Na sua expressão característica de uma zona milonítica de alta temperatura, a assinatura magnética do LTB não é bem evidente no mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo. O alto magnético com direção NE, no embasamento a

A) Fase Deformacional D₂



B) Fase Deformacional D₃

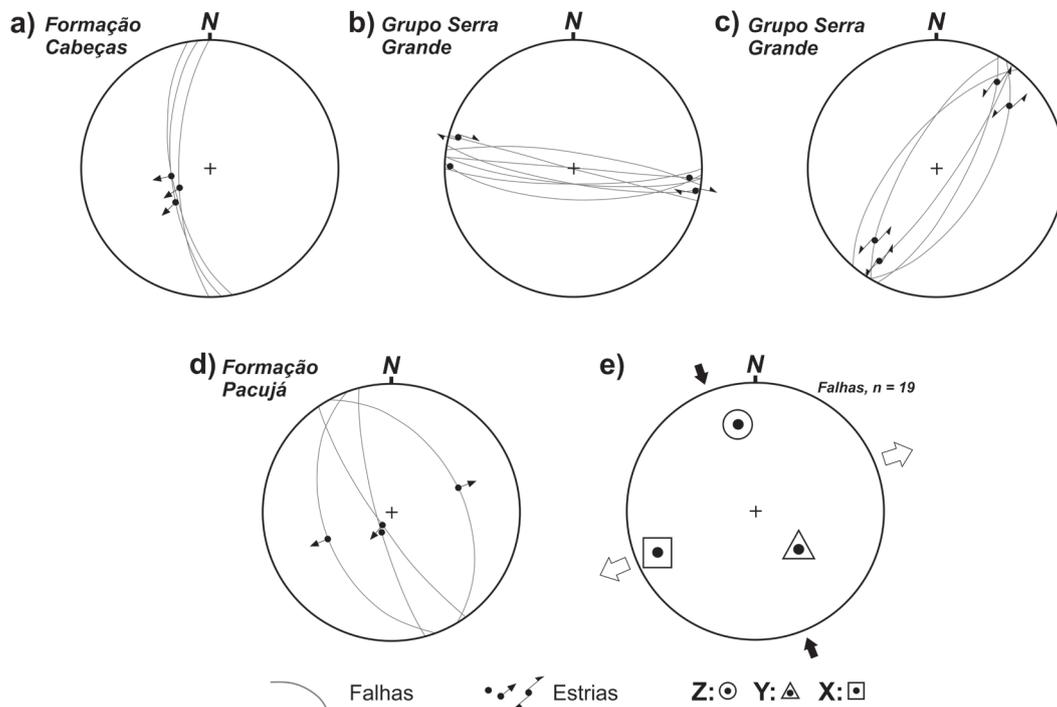


Figura 7. (A-B) Projeção estereográfica (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) para o conjunto de estruturas das fases deformacionais D₂ e D₃, afetando as rochas do Grupo Jaibaras e das sequências paleozoicas da borda NE da Bacia do Parnaíba.

NE da BP, é creditado a uma faixa granulítica do embasamento e aos litotipos vulcânicos/subvulcânicos do Grupo Jaibaras, como proposto por Pedrosa Jr. et al. (2014).

A principal etapa deformacional do LTB corresponde a uma zona de cisalhamento transcorrente dextral plástica, ativa ou reativada em diferentes eventos (sin e pós-Grupo

Jaibaras), inclusive com regimes cinemáticos distintos, no caso dos eventos mais jovens. Essa megaestrutura foi gerada durante a orogênese Brasileira e a Zona de Cisalhamento de Sobral constitui o seu principal segmento nessa região. Um estágio tardio (tardi-brasiliano) de movimentação em baixa temperatura condicionou a deposição e deformou as unidades sedimentares e vulcânicas do Grupo Jaibaras. Essa deformação, designada de fase D_n , é exclusiva desse elemento tectônico e registra a cinemática transcorrente dextral tardia do LTB como estruturas formadas em regime dúctil-frágil (localmente plástico), também condicionando o alojamento do enxame de diques de Coreaú e, provavelmente, do Granito Meruoca. Tendo em vista a cinemática transcorrente (ou transtrativa) das zonas de cisalhamento que delimitam o Graben de Jaibaras (GJ), infere-se que este constitui um graben *pull-apart*, conforme já sugerido por outros autores (Gorayeb et al., 1988) e contrariamente ao modelo de graben clássico (distensional) preconizado por Quadros (1996), Oliveira (2001) e Oliveira e Mohriak (2003). A idade desse evento deve se reportar ao final do Ediacarano Cambriano.

As outras três fases, rotuladas de D_1 , D_2 e D_3 , afetam o GJ e as unidades paleozoicas na borda NE da BP. Apresentam como características feições rúpteis/cataclásticas, formadas em temperaturas baixas.

A fase deformacional D_1 é responsável pela reativação em regime transcorrente transpressivo dextral nos lineamentos (e zonas miloníticas do substrato) associados à reativação do LTB. Propõe-se que a sua idade mínima possa estar relacionada com a abertura do Atlântico Central, no Eojurássico, ou a efeitos de orogênias distais ocorridos na borda do paleocontinente Gondwana, no Paleozoico (Vaz et al., 2007). No GJ e arenitos Serra Grande, esse evento é bem marcado na sua porção norte (região de Santana do Acaraú), conforme caracterizado por diversos trabalhos prévios.

As estruturas associadas à fase D_2 são frequentes na área de estudo, principalmente falhas normais de direção NE-SW e falhas normais oblíquas (componente sinistral) ENE-WSW e E-W. Tais estruturas podem estar relacionadas a uma distensão que ocorreu durante a abertura do Atlântico Sul no Neocomiano-Barremiano, também reativando o LTB. Na sua porção sul, a reativação distensional das falhas do GJ também afetou os arenitos Serra Grande.

A fase deformacional D_3 associa-se a um campo de *strain*/tensões com distensão ENE-WSW e encurtamento NNW-SSE, incluindo falhas normais e transcorrentes. Essa fase foi correlacionada ao estágio de movimento divergente E-W entre as placas Sul-americana e Africana, com transcorrência dextral na Margem Equatorial brasileira. Essa cinemática teria promovido a reativação transcorrente sinistral do LTB no intervalo do Neoprotiano ao Albiano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Chevron/Brasil que, em convênio com a UFRN/PPGG/Funpec, financiou o projeto de pesquisa (“Geologia e sistemas petrolíferos da bacia intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil”) e ofereceu suporte a esse trabalho. O primeiro autor agradece à Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis do Brasil (ANP), por meio do PRH-22, pela bolsa concedida ao mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Por fim, aos revisores que contribuíram para o aperfeiçoamento deste artigo.

REFERÊNCIAS

- Alkmim, F. F. (2004). O que faz um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (p. 18-35). São Paulo: Beca.
- Almeida, F. F. M., Carneiro, C. D. R. (2004). Inundações marinhas fanerozoicas no Brasil e recursos minerais associados. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (p. 43-48). São Paulo: Beca.
- Almeida, F. F. M., Brito Neves, B. B., Carneiro, C. D. R. (2000). The origin and evolution of the South American Platform. *Journal of South American Earth Sciences*, 50, 77-111.
- Angelier, J., Mechler, P. (1977). Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7(6), 1309-1318.
- Antunes, A. F. (2004). *Evolução tectono-estrutural do Campo de Xaréu (Sub-bacia de Mundaú, Bacia do Ceará – NE do Brasil): abordagem multiescala e pluriferramental*. Tese (Doutorado). Natal: Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFRN.
- Araújo, C. E. G., Weinberg, R. F., Cordani, U. G. (2014). Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. *Terra Nova*, 26, 157-168.

- Archanjo, C. J., Launeau, P., Hollanda, M. H. B. M. (2009). Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará state, northeastern Brazil). *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1793-1807.
- Arthaud, M. H., Caby, R., Fuck, R. A., Dantas, E. L., Parente, C. V. (2008). Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: R. J. Pankhurst, R. A. J. Trouw, B. B. Brito Neves, M. J. De Wit (Eds.). *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region* (v. 294, p. 49-67). Geological Society of London (Special Publication).
- Barroso, F. R. G., Viana, M. S. S., Lima Filho, M. F., Agostinho, S. M. O. (2014). First Ediacaran fauna occurrence in Northeastern Brazil (Jaibaras Basin,? Ediacaran-Cambrian): preliminary results and regional correlation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(3), 1029-1042.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2003). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: Serviço Geológico do Brasil.
- Caby, R., Sial, A. N., Arthaud, M. H., Vauchez, A. (1991). Crustal evolution and the Brazilian Orogeny in Northeast Brazil. In: R. D. Dallmeyer, J. P. Lécorché (Eds.). *The West Africa Orogens and Circun-Atlantic correlatives* (v. 1, 373-397). Berlin: Springer-Verlag.
- Carvalho, J. A. A. (2005). *Caracterização macro, meso e microscópica das estruturas frágeis do corpo arenítico conglomerático da Região de Santana do Acaraú (CE) e seu embasamento circundante*. Dissertação (Mestrado). Natal: Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFRN.
- Castro, D. L., Fuck, R. A., Phillips, J. D., Vidotti, R. M., Bezerra, F. H. R., Dantas, E. L. (2014). Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data. *Brazil Tectonophys*, 614, 128-145.
- Cordani, U. G., Pimentel, M. M., Ganade de Araújo, C. E., Fuck, R. A. (2013). The significance of the Transbrasiliano-Kandi tectonic corridor for the amalgamation of West Gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3), 583-597.
- Córdoba, V. C., Antunes, A. F., Jardim de Sá, E. F., Silva, A. N., Sousa, D. C., Lins, F. A. P. L. (2008). Análise estratigráfica e estrutural da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil: integração de dados a partir do levantamento sísmico pioneiro 0295_rio_do_peixe_2d. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 16, 53-68.
- Costa, M. J., Lins, C. A. C., Bacchiegga, I. F. (1975). O Eo-Cambriano e Cambro-Ordoviciano do Nordeste do Ceará (Grupos Bambuí e Jaibaras). *Anais do 7º Simpósio de Geologia do Nordeste*, v. 1, 47-57. Fortaleza: SBG.
- Delgado, I. M., Souza, J. D., Silva, L. C., 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., Perrotta, M. M., Heineck, C. A. (2003). Geotectônica do Escudo Atlântico. In: L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti, J. H. Gonçalves (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil* (p. 227-334). Brasília: Serviço Geológico do Brasil.
- Delvaux, D. (1993). The TENSOR program for paleostress reconstruction: examples from the East African and Baikal rift zones. *Terra Nova*, 5(1), 1-216.
- Destro, N. (1987). *Reativação pós-Devoniana do lineamento Transbrasiliano entre Santana do Acaraú (CE). Análise estrutural de uma zona de cisalhamento*. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Escola de Minas, UFOP.
- Destro, N., Szatmari, P., Ladeira, E. A. (1994). Post-Devonian transpressional reactivation of a Proterozoic ductile shear zone in Ceará, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 16(1), 35-45.
- Fuck, R. A., Brito Neves, B. B., Schobbenhaus, C. (2008). Rodinia descendants in South America. *Precambrian Research*, 160, 108-126.
- Galvão, C. C. (2002). *Mapeamento geológico estrutural da Região Nordeste de Santana do Acaraú-CE, com ênfase na deformação frágil*. Relatório de graduação. Natal: Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFRN.
- Góes, A. M. O. (1995). *Formação Poti (carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.
- Gorayeb, P. S. S., Abreu, F. A. M., Correa, J. A. M., Moura, C. A. V. (1988). Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara-Jaibaras. *XXXV Congresso Brasileiro de Geologia*, 6, 2678-2688. Belém: SBG.
- Jardim de Sá, E. F., Hackspacher, P. C., Nogueira, A. M. B., Lins, F. A. P. L., McReath, I., Srivastava, N. K. (1979). Observações sobre a estratigrafia e sequências ígneas da Bacia de Jaibaras, Noroeste do Ceará. *Anais do 9º Simpósio de Geologia do Nordeste*, 1, 30-38. Natal: SBG.

- Matos, R. M. D. (1999). History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa. In: N. R. Cameron, R. H. Bate, V. S. Clure (Eds.). *The oil and gas habitats of the South Atlantic* (v. 153, 55-73). Geological Society of London (Special Publication).
- Matos, R. M. D. (2000). Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic. In: W. U. Mohriak, M. Talwani (Eds.). *Atlantic rifts and continental margins. Geophysical Monograph Series*, AGU, 115, 331-354.
- Milani, E. J., Thomaz Filho, A. (2000). Sedimentary basins of South America. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds.). *Tectonic evolution of South America. 31st International Geological Congress* (v. 1, 389-449). Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências e Departamento Nacional da Produção Mineral.
- Milani, E. J., Zalán, P. V. (1999). *An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America*. Episodes, 22, 199-205.
- Mizusaki, A. M. P., Thomaz Filho, A., Milani, E. J., Césero, P. (2002). Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 183-198.
- Oliveira, D. C. (2001). Reavaliação da evolução tectono-magmática do Graben de Jaibaras (Nordeste do Brasil). *Acta Geológica Hispânica*, 36(1-2), 53-95.
- Oliveira, D. C., Mohriak, W. U. (2003). Jaibaras through: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 20, 351-383.
- Parente, C. V., Silva Filho, W. F., Almeida, A. R. (2004). Bacias do Estágio de Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (p. 525-536). São Paulo: Beca.
- Pedreira da Silva, A. J., Lopes, R. C., Vasconcelos, A. M., Bahia, R. B. C. (2003). Bacias Paleozoicas e Meso-Cenozoicas Interiores. In: L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti, J. H. Gonçalves (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil* (p. 35-85). Brasília: Serviço Geológico do Brasil.
- Pedrosa Jr, N. C., Vidotti, R. M., Fuck, R. A., Oliveira, K. M. L., Castelo Branco, R. M. G. (2014). Structural framework of the Jaibaras Rift, Brazil, based on geophysical data. *Journal of South American Earth Sciences*. Acesso em: 2 mar 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2014.07.005>.
- Quadros, M. L. E. S. (1996). Estudo Tectono-Sedimentar da Bacia de Jaibaras, na região entre as cidades de Pacujá e Jaibaras, Noroeste do Estado do Ceará. Belém. Tese (Mestrado). Belém: Centro de Geociências, UFPA.
- Santos, T. J. S., Fetter, A. H., Van Schmus, W. R., Hackspacher, P. C. (2009). Evidence for 2.35 to 2.30 Ga juvenile crustal growth in the northwest Borborema Province, NE Brazil. In: S. M. Reddy, R.
- Santos, T. J. S., Fetter, A. H., Hackspacher, P. C., Van Schmus, W. R., Nogueira Neto, J. A. (2008). Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(3), 271-284.
- Schobbenhaus, C., Ribeiro, C. L., Oliva, L. A., Takanohashi, J. T., Lindenmayer, Z. G., Vasconcelos, J. B., Orlandi, V. (1975). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo; Folha Goiás (SD-22)*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral.
- Vaz, P. T., Rezende, N. G. A. M., Wanderley Filho, J. R., Travassos, W. A. (2007). Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15, 253-263.