



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA E DINÂMICA DE
ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA FORMAÇÃO
BARREIRAS NO LITORAL DOS ESTADOS DE
PERNAMBUCO, PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE –
NORDESTE DO BRASIL

REBECA DE JESUS BARBOSA

SALVADOR

2019

**ANÁLISE GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA E DINÂMICA DE
ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA FORMAÇÃO
BARREIRAS NO LITORAL DOS ESTADOS DE
PERNAMBUCO, PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE –
NORDESTE DO BRASIL**

Rebeca de Jesus Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Luiz César Corrêa Gomes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar.

SALVADOR

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Barbosa, Rebeca de Jesus
ANÁLISE GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA E DINÂMICA DE
ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA FORMAÇÃO BARREIRAS NO
LITORAL DOS ESTADOS DE PERNAMBUCO, PARAÍBA E RIO
GRANDE DO NORTE - NORDESTE DO BRASIL / Rebeca de
Jesus Barbosa. -- Salvador, 2019.
47 f. : il

Orientador: Luiz César Corrêa Gomes.
Dissertação (Mestrado - Geologia) -- Universidade
Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2019.


1. Neotectônica. 2. Formação Barreiras. 3.
Geometria. 4. Cinemática. 5. Dinâmica. I. Corrêa
Gomes, Luiz César. II. Título.

REBECA DE JESUS BARBOSA

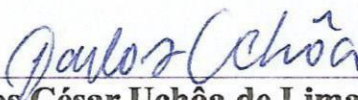
**ANÁLISE GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA E DINÂMICA DE
ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA FORMAÇÃO
BARREIRAS NO LITORAL DOS ESTADOS DE
PERNAMBUCO, PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE –
NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar, em 03/05/2019.

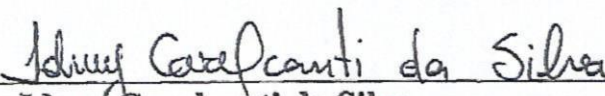
DISSERTAÇÃO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



Dr. Luiz César Corrêa Gomes
Orientador – PPGG/UFBA



Dr. Carlos César Uchôa de Lima
Examinador Externo – UEFS



Dr. Idney Cavalcanti da Silva
Examinador Externo – UNINASSAU

Salvador – BA
2019

À minha família, com muito carinho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que vejo maior e mais belo à medida que mergulho um pouco mais fundo no oceano da ciência. Razão de tudo que sou e tenho.

Aos meus pais, Altair e Eliã por acreditarem no poder transformador da educação. Obrigada por me criarem no caminho de Deus e do saber, e pelo exemplo de vida que representam para mim.

Às minhas irmãs e melhores amigas, Priscila e Ana Lara. Obrigada pelo apoio, pelas orações, pelo incentivo... Obrigada por serem exatamente como são. Vocês são parte importante de mim.

Às minhas avós, Adélia (*in memoriam*), Edileuza e Paula, mulheres à frente do seu tempo, que lutaram com tudo que tinham (e não tinham) pela educação dos seus filhos. Obrigada pelo legado de fé, sabedoria, educação e força que deixaram em nosso lar. Me inspiram.

À toda minha família. Obrigada pelo incentivo constante, pelas orações e pela torcida.

Ao meu orientador, Professor César Gomes, por todo acompanhamento, incentivo e apoio a mim dispensados. Seja nas aulas, nas reuniões ou nos campos, sempre tem algo da geologia e/ou da vida para me ensinar. Obrigada por compartilhar conhecimento, experiências e amizade nesses 10 anos de convivência. Seu comprometimento, disciplina e amor pela ciência me inspiram.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa durante a realização do Mestrado, e financiamento de parte da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, representado pelo seu corpo docente e administrativo, cujo trabalho tem trazido evidente progresso e visibilidade para o programa.

Aos componentes da banca examinadora, Professor Carlos Uchôa e Professor Idney Cavalcanti, pelo tempo dispensado na avaliação e pelas valiosas considerações, que certamente contribuiram para melhoria do trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa: Danielle, Carlos Amorim, Caroline Simões, Aníbal, Ramena, Rose, Júnior e Lucas. Aprendo muito com vocês. Aos colegas da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Obrigada pelo apoio e incentivo nessa reta final.

Aos meus amigos. A minha existência é mais feliz e leve porque vocês fazem parte dela.

Aos funcionários do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de formas diretas e/ou indiretas para a realização deste trabalho.

RESUMO

A Formação Barreiras (FB) é uma cobertura sedimentar datada do Mioceno que ocorre em grande parte da costa Brasileira. Sua deposição é contemporânea ao início das atividades Neotectônicas e essa correlação temporal é registrada na FB em forma de feições estratigráficas, faciológicas e deformacionais. Este trabalho objetiva caracterizar a geometria, a cinemática e a dinâmica das feições estruturais observáveis na FB em macroescala, tais como lineamentos e perfis geofísicos, e mesoescala, como dados de campo, ao longo do litoral entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. A análise estrutural foi feita com auxílio de softwares como Stereonet, Wintensor, FaultKin e ArcGIS, a partir dos quais foram feitos o traçado de lineamentos de relevo, a plotagem das estruturas em estereogramas, a plotagem dos eixos cinemáticos de encurtamento e extensão (dispersão e contorno), e a obtenção dos campos de tensão geradores. A análise dos dados indicou 3 fases de deformação rúptil na FB. A primeira tem caráter normal e nucleou estruturas NE-SW e NW-SE em um padrão ortorrômbico herdado do embasamento cristalino e das bacias sedimentares marginais. Essas falhas normais ortogonais funcionaram como falhas limítrofes que condicionaram a deposição da FB no continente, num regime análogo ao de uma bacia. É possível ainda que essas falhas tenham atuado como mecanismo de criação de espaço de deposição. Ambas as orientações do par ortogonal foram reativadas em pulsos de deformação transcorrente subsequentes, que também geraram pares conjugados. O primeiro pulso nucleou falhas sinistrais NE-SW e dextrais NW-SE, num campo de tensão com tensor máximo N-S e extensão E-W. O segundo pulso nucleou falhas dextrais NE-SW e sinistrais NW-SE, num campo de tensão com tensor máximo ENE-WSW e extensão N-S.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Barreiras; Neotectônica; Estruturas; Geometria; Cinemática; Dinâmica.

ABSTRACT

The Barreiras Formation (BF) is a Miocene sedimentary cover that occurs in Brazilian coast. There are some stratigraphic, faciological and deformational features in BF which indicates the relation between this formation and the Neotectonic activities. This paper aims to characterize geometry, kinematics and dynamics of BF structural features observed in macroscale, such as lineaments and geophysical profiles, and mesoscale, as field data, along the coast of Pernambuco, Paraíba and Rio Grande do Norte states. The structural analysis was done with support of software such as Stereonet, Wintensor, FaultKin and ArcGIS, from which relief lines were drawn, structures were plotted in stereograms, kinematic axes of shortening and extension were plotted in dispersion and contour diagrams, and stress fields were obtained. This analysis resulted in 3 phases of brittle deformation in BF. The first has a normal character and nucleated NE-SW and NW-SE structures, in an orthorhombic pattern inherited from the crystalline basement and the marginal sedimentary basins. These orthogonal normal faults functioned as limit faults that conditioned the deposition of the BF at continent, in an analogous basin regime. It's possible that these fault acted as creation mechanism of sediment accommodation space. Both orthogonal orientations were reactivated in subsequent transcurrent deformation pulses, which also generated conjugate pairs. The first pulse nucleated NE-SW sinistral faults and NW-SE dextral faults, in a stress field with maximum tensor N-S and minimum E-W. The second pulse nucleated NE-SW sinistral faults and NW-SE dextral faults in a stress field with maximum tensor ENE-WSW and minimum N-S.

KEYWORDS: Barreiras Formation; Neotectonics; Structures; Geometry; Kinematics; Dynamics.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....10

CAPÍTULO 2 – ARTIGO: ANÁLISE GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA E DINÂMICA DE ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA FORMAÇÃO DAS BARREIRAS NO LITORAL DOS ESTADOS DE PERNAMBUCO, PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE - NORDESTE DO BRASIL.....15

CAPÍTULO 3 - CONCLUSÕES.....42

ANEXO A- REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA

CAPÍTULO 1

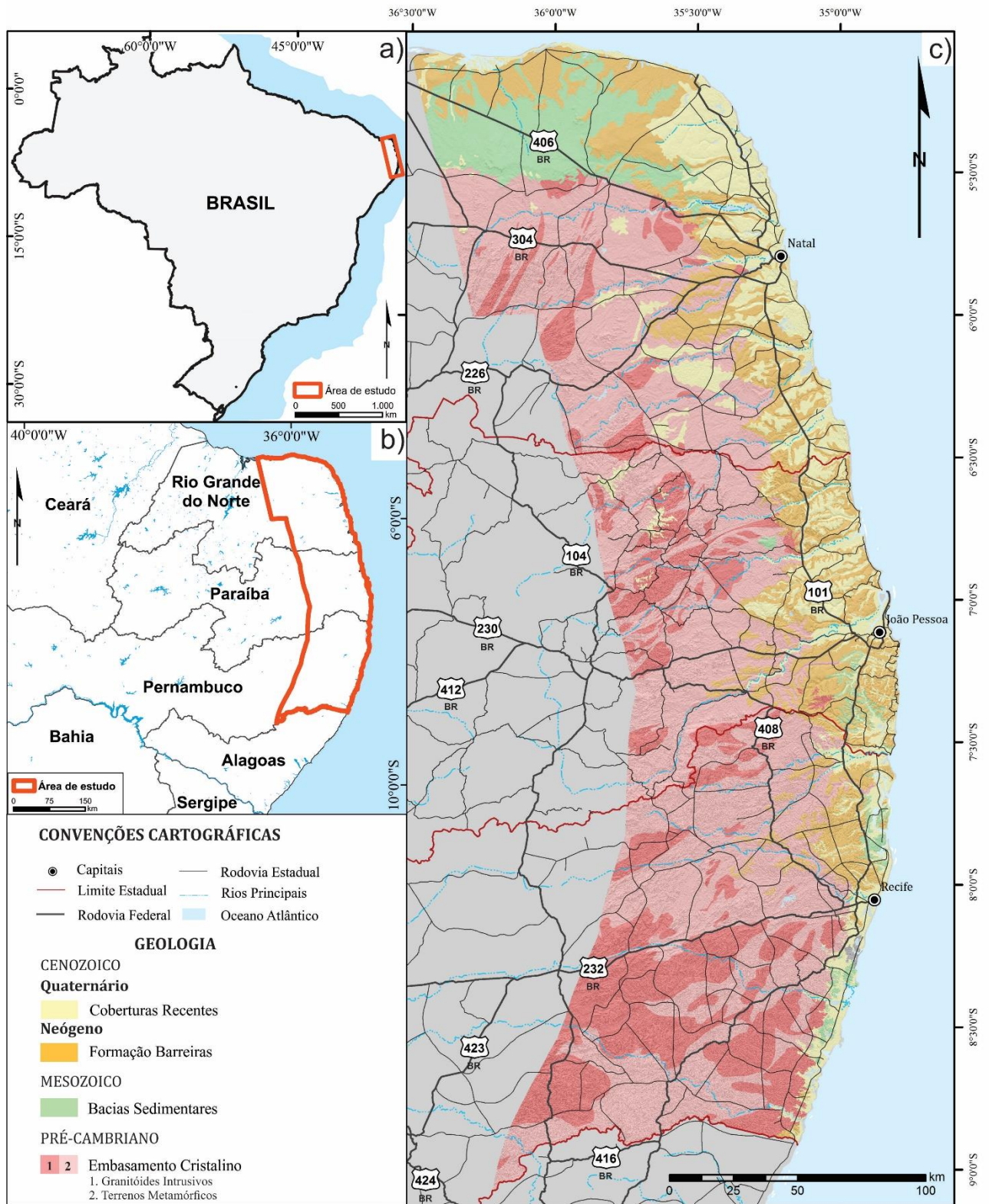
INTRODUÇÃO GERAL

A Formação Barreiras é uma cobertura sedimentar terrígena de origem continental e marinha que ocorre no Litoral Brasileiro, do Amapá ao Rio de Janeiro, com feições geomorfológicas usualmente regulares (Arai, 2006). Sua idade mínima é atribuída ao Mioceno (Arai, 1988; 1994), e estudos de natureza sedimentar, faciológica e estrutural realizadas na Formação Barreiras na região Nordeste do Brasil, indicam que nela há presença de feições cuja gênese é atribuída à ação de alguma força tectônica durante e após sua deposição. Dentre essas feições destacam-se padrões geométricos ordenados de espraiamento dos sedimentos (Dresch, 1957; Demangeot, 1960; Mabesoone et al, 1972), dobras (Saadi, 1993), estruturas de liquefação atribuídas a sismos (sismitos), falhas e juntas (Lima, 2010), e ainda variações em sua espessura (Ponte, 1969). Esse regime dinâmico associado é denominado Neotectônica, e corresponde ao conjunto de movimentos tectônicos recentes que interferem expressivamente na origem da topografia contemporânea (Obruchev, 1948). Blenkinsop (1986) sugere que a fase neotectônica tem início quando o campo de stress contemporâneo foi estabelecido, o que no caso da Costa Leste do Brasil, se deu no Neógeno e Quaternário, daí a correlação temporal com a sedimentação da Formação Barreiras.

É nesse sentido que o presente trabalho se insere, abordando como tema as principais estruturas deformacionais encontradas na Formação Barreiras na costa da região nordeste do Brasil, entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (área de estudo – Figura 1), tanto em macroescala, considerando a expressão geomorfológica e geofísica do arcabouço estrutural, como em mesoescala, analisando os aspectos geométricos, cinemáticos e dinâmicos das estruturas de campo.

Um modelo neotectônico evolutivo para as estruturas da Formação Barreiras ainda não é bem definido, especialmente para a área de estudo. Embora a Formação Barreiras seja expressivamente estudada em termos estruturais e morfométricos (e.g. Miranda e Srivastava, 1984; Saadi, 1993; Bezerra et al., 1993; Nogueira et al., 2006; Barbosa, Furrier, 2011; Santos et al, 2013; Bezerra et al. 2014, Lima, 2017), há escassez de trabalhos que tratam de coleta sistemática de dados estruturais, e que relacionam a deformação Neotectônica à do embasamento, analisando e comparando dados estruturais de ambos, e realizando uma caracterização cinemática e dinâmica. Diante disso, alguns questionamentos podem ser levantados: é possível encontrar evidências de deformação Neotectônica na Formação Barreiras na área de estudo? Se sim, quais os principais padrões geométricos, cinemáticos e dinâmicos dessas estruturas? As estruturas pré-existentes do embasamento exercem alguma influência na deformação Neotectônica? Existe algum(ns) caráter(es) cinemático(s) e dinâmico(s) inerente(s) à Neotectônica na área de estudo?

Figura 1: a) Mapa de localização da área de estudo no Brasil; e b) Na região Nordeste; c) Faixa litorânea entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, com capitais, principais vias de acesso e principais unidades geológicas.



O objetivo principal deste trabalho é propor um modelo geométrico-cinemático-dinâmico para as fraturas de origem neotectônica que estão contidas na Formação Barreiras ao longo do litoral entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Como objetivos específicos, têm-se: (i) determinar os principais padrões de orientação dos registros neotectônicos impressos na Formação Barreiras seja em macroescala, analisando lineamentos geomorfológicos e geofísicos, seja em mesoescala, analisando estruturas em afloramentos; (ii) explicar a influência das estruturas pré-existentes do embasamento (Província Borborema e Bacias Mesozoicas Pernambuco-Paraíba e Potiguar) na geração das estruturas da Formação Barreiras; (iii) identificar o comportamento cinemático e dinâmico dos principais sistemas de falhas das unidades geológicas da área de estudo (Figura 1).

Estudos que objetivem caracterizar a Neotectônica são contribuições à tectônica de placas moderna, testando seus conceitos, já que os produtos dela podem ser estudados, medidos e datados mais precisamente dos que os mais antigos, por vezes submetidos a processos geológicos subsequentes (Trifonov, 1989).

Além do viés científico de aplicação, caracterizar o arcabouço estrutural neotectônico da Formação Barreiras na área de estudo, pode ser útil sob o ponto de vista geotécnico, por exemplo. O trecho da rodovia federal BR-101 contido na área de estudo, perpassa principalmente por domínios da FB, e nele são muito comuns os acidentes causados por instabilização de encostas naturais e taludes relacionados à essa unidade geológica. Nesse sentido, entender o padrão de deformação do Barreiras na área de estudo pode auxiliar no planejamento de taludes/cortes ao longo da rodovia e pode nortear a realização (ou não) de obras de contenção em suas margens. Isso também é válido para as falésias relacionadas à FB, que ocorrem ao longo da costa da área de estudo.

É possível também utilizar conhecimentos em Neotectônica para monitorar o fluxo de água em subsuperfície, e mesmo para local poços com vistas à extração de água, a partir da relação entre as estruturas existentes e o campo de stress relacionado, considerando seu elipsóide de deformação. Há ainda contribuições sob o ponto de vista sismológico, considerando o fato de que a Região Nordeste é uma das regiões do Brasil que mais apresenta atividade sísmica (Assumpção et al, 2014). Nesse sentido, o estudo dos principais padrões estruturais neotectônicos (sejam eles neoformados ou reativados) é uma importante ferramenta para o monitoramento de risco e previsibilidade de desastres no que se refere à possível ocorrência de sismos significativos.

Os resultados do presente trabalho serão apresentados sob forma de artigo no Capítulo 2 deste volume, o qual será submetido à Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo: *Geologia USP Série Científica*.

REFERÊNCIAS

- Arai, M. (2006). A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia-USP Série Científica*, São Paulo, 6(2), 1-6.
- Arai, M., Truckenbrodt, W., Nogueira, A. C. R., GOES, A. M., Rossetti, D. F. (1994). Novos dados sobre estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 4, 185-187. Belém: SBG.

- Arai, M., Uesugui, N., Rossetti, D. F., Goes, A. M. (1988). Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. Congresso Brasileiro de Geologia, 2, 738-752. Belém: SBG.
- Assumpção, M. (1992). The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8), 11889-11903.
- Assumpção, M., Ferreira, J., Barros, L., Bezerra, H., França, G. S., Barbosa, J. R., Menezes, E., Ribotta, L. C., Prichiner, M., Nascimento, A. do, Dourado, J. C. (2014). Intraplate seismicity in Brazil. In: Talwani, Preadeep. *Intraplate earthquakes*. 3, 50-71. São Paulo: Cambridge University Press.
- Barbosa, M.E. F., Furrier, M. (2011). Análise de bacia hidrográfica como subsídio para detecção de neotectônica: estudo da bacia hidrográfica do rio Guruji, litoral sul do estado da Paraíba. *Caderno de Geociências*, 8(1), 10-18.
- Bezerra, F. H. R. e Vitafinzi, (2000). C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, 28, 591-594.
- Bezerra, F.H.R. (1998). *Neotectonics in Northeastern Brazil*. Tese (Doutorado). Londres: University of London.
- Bezerra, F.H.R. (2000). Neotectonic movements in northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic-hazard assessment. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3), 562-564.
- Bezerra, F.H.R., Rossetti, D.F., Oliveira, R.G., Medeiros, W.E., Brito Neves, B.B., Balsamo, F., Nogueira, F.C.C, Dantas, E.L., Andrades Filho, C., Góes, A.M. (2014). Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. *Tectonophysics*, 614, 78–90.
- Bezerra, F.H.R., Saadi, A., Moreira, J.A.M., Lins, F. A. P. L., Nogueira, A. M. B., Macedo, J. W. P., Lucena, L. F., Nazaré Jr, D. (1993). Estruturação neotectônica do litoral de Natal-RN, com base na correlação entre dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 4. Belo Horizonte: SBG-MG.
- Bizzi, L.A.; Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (Eds.) (2003). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. 1.ed. Brasília: Editora UnB. DVD, color.
- Blenkinsop, T.G. (1986). Neotectonics. *Geol. Soc. London*, 143, 325-326.
- Demangeot, J. (1960). Essai sur le relief du nord-est Brésilien. *Annales de Géographie*., 69(372), 157-176.
- Dresch J. I. (1957). Les problèmes morphologiques du Nord-Est brésilien. *Bulletin de de Association de géographes français*. 263-264(34), 48-59.
- Lima, C.C.U. (2010). Evidências da Ação Tectônica nos Sedimentos da Formação Barreiras Presentes do Litoral de Sergipe ao Norte da Bahia. *Revista de Geografia*, v. especial, 140-151.
- Lima, V. F., Lavor, L. F., Furrier, M. (2017). Estudo Neotectônico em Margem Continental do Tipo Passiva. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 21(1), 206-215

Mabesoone, J. M., Campos A., Silva A.; Beurlen, K. (1972). Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Rev. Bras. de Geoc.*, 2, 173-188.

Miranda, F.M, Srivastava. (1984). Evidências de reativações tectônicas quaternárias na área de Macauzinho, estuário do rio Açú no litoral do Rio Grande do Norte. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 11, 157-164. Natal: SBG-NNE.

Nogueira, F.C.C., Bezerra, F.H.R., Castro, D.L. (2006). Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. *Geologia-USP Ser.Cient*, 6(2), 51-59.

Obruchev, V.A. (1948). Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektonik. *Akad. Nauk. Izv. Serv. Geol.*, 5, 13-24.

Ponte, F.C. (1969). Estudo Morfo-estrutural da Bacia Sergipe-Alagoas. *Boletim Técnico da Petrobras.*, 12(4), 439-474.

Saadi, A. (1993). Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*, 1(1), 1-15.

Santos, M.F., Freitas G.A., Furrier, M. (2013). Análise morfométrica e indícios de ação neotectônica na área correspondente à folha Pitimbu, litoral sul da Paraíba, Nordeste do Brasil. *Caderno de Geociências*, 10(2), 139-149.

Trifonov, V.G. (1989). An overview of neotectonics studies. *International Geology Review*, 31, 111-161.

CAPÍTULO 2

**ARTIGO - ANÁLISE GEOMÉTRICA, CINEMÁTICA E
DINÂMICA DE ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA
FORMAÇÃO BARREIRAS NO LITORAL DOS ESTADOS DE
PERNAMBUCO, PARAÍBA E RIO GRANDE DO
NORTE – NORDESTE DO BRASIL**

**Análise geométrica, cinemática e dinâmica de estruturas neotectônicas da Formação
Barreiras no litoral dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte –
Nordeste do Brasil**

*Geometric, kinematic and dynamics analysis of neotectonic structures in Barreiras Formation
along Pernambuco, Paraíba and Rio Grande do Norte coast – Northeastern Brazil*

Neotectônica da Formação Barreiras na costa nordeste do Brasil

Rebeca de Jesus Barbosa

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências. R. Barão de Jeremoabo, s/n –
Ondina, 40170-290. Salvador, Bahia, Brasil. 5571996244396. rebecajb@gmail.com

Luiz César Corrêa Gomes

lccgomes@gmail.com

Número de palavras: 8.814

Total de Figuras: 8

Total de tabelas: 0

RESUMO

A Formação Barreiras (FB) é uma cobertura sedimentar datada do Mioceno que ocorre em grande parte da costa Brasileira. Sua deposição é contemporânea ao início das atividades Neotectônicas e essa correlação temporal é registrada na FB em forma de feições estratigráficas, faciológicas e deformacionais. Este trabalho objetiva caracterizar a geometria, a cinemática e a dinâmica das feições estruturais observáveis na FB em macroescala, tais como lineamentos e perfis geofísicos, e mesoescala, como dados de campo, ao longo do litoral entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. A análise estrutural foi feita com auxílio de softwares como Stereonet, Wintensor, FaultKin e ArcGIS, a partir dos quais foram feitos o traçado de lineamentos de relevo, a plotagem das estruturas em estereogramas, a plotagem dos eixos cinemáticos de encurtamento e extensão (dispersão e contorno), e a obtenção dos campos de tensão geradores. A análise dos dados indicou 3 fases de deformação rúptil na FB. A primeira tem caráter normal e nucleou estruturas NE-SW e NW-SE em um padrão ortorrômbico herdado do embasamento cristalino e das bacias sedimentares marginais. Essas falhas normais ortogonais funcionaram como falhas limítrofes que condicionaram a deposição da FB no continente, num regime análogo ao de uma bacia. É possível ainda que essas falhas tenham atuado como mecanismo de criação de espaço de deposição. Ambas as orientações do par ortogonal foram reativadas em pulsos de deformação transcorrente subsequentes, que também geraram pares conjugados. O primeiro pulso nucleou falhas sinistrais NE-SW e dextrais NW-SE, num campo de tensão com tensor máximo N-S e extensão E-W. O segundo pulso nucleou falhas dextrais NE-SW e sinistrais NW-SE, num campo de tensão com tensor máximo ENE-WSW e extensão N-S.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Barreiras; Neotectônica; Estruturas; Geometria; Cinemática; Dinâmica.

ABSTRACT

The Barreiras Formation (BF) is a Miocene sedimentary cover that occurs in Brazilian coast. There are some stratigraphic, faciological and deformational features in BF which indicates the relation between this formation and the Neotectonic activities. This paper aims to characterize geometry, kinematics and dynamics of BF structural features observed in macroscale, such as lineaments and geophysical profiles, and mesoscale, as field data, along the coast of Pernambuco, Paraíba and Rio Grande do Norte states. The structural analysis was done with support of software such as Stereonet, Wintensor, FaultKin and ArcGIS, from which relief lines were drawn, structures were plotted in stereograms, kinematic axes of shortening and extension were plotted in dispersion and contour diagrams, and stress fields were obtained. This analysis resulted in 3 phases of brittle deformation in BF. The first has a normal character and nucleated NE-SW and NW-SE structures, in an orthorhombic pattern inherited from the crystalline basement and the marginal sedimentary basins. These orthogonal normal faults functioned as limit faults that conditioned the deposition of the BF at continent, in an analogous basin regime. It's possible that these fault acted as creation mechanism of sediment accommodation space. Both orthogonal orientations were reactivated in subsequent transcurrent deformation pulses, which also generated conjugate pairs. The first pulse nucleated NE-SW sinistral faults and NW-SE dextral faults, in a stress field with maximum tensor N-S and minimum E-W. The second pulse nucleated NE-SW sinistral faults and NW-SE dextral faults in a stress field with maximum tensor ENE-WSW and minimum N-S.

KEYWORDS: Barreiras Formation; Neotectonics; Structures; Geometry; Kinematics; Dynamics.

INTRODUÇÃO

A Formação Barreiras (FB) é uma cobertura sedimentar clástica de origem continental e marinha que ocorre no litoral brasileiro, do Amapá ao Rio de Janeiro, com feições geomorfológicas usualmente regulares (Arai, 2006; Araújo et al, 2006). Estudos palinológicos (Arai, 1988; 1994) e geocronológicos absolutos (Lima, 2008) indicam que a FB foi depositada no período Neógeno, durante o Mioceno, entre 23 e 13 Ma.

Alguns estudos desenvolvidos na FB indicam a presença de feições sedimentares, faciológicas e estruturais, que são interpretadas como indícios de tectônica ativa durante e após a deposição dessa unidade. Tal correlação desperta atenção, já que a presença de atividades no litoral brasileiro a partir do Mioceno diverge do modelo teórico sugerido para áreas de margem passiva, que estão em suposta quiescência tectônica desde o fim do episódio de rifteamento que as formou. Dentre as feições registradas, destacam-se: padrões geométricos ordenados de espraçamento dos sedimentos (Dresch, 1957; Demangeot, 1960; Mabesoone et al, 1972), dobras (Saadi, 1993), estruturas de liquefações interpretadas com resultantes de sismos, falhas e juntas tectônicas (Lima, 2010; Bezerra et al, 2001, Bezerra et al, 2014), e mesmo variações em sua espessura (Ponte, 1969; Bezerra et al, 2014).

Esse regime dinâmico associado à FB é denominado Neotectônica, e corresponde ao conjunto de movimentos tectônicos recentes que interferem expressivamente na topografia contemporânea (Obruchev, 1948), cujo início se deu no Néogeno, quando se instalou o atual campo de tensão atuante na costa brasileira (Blenkinsop, 1986).

O presente trabalho se insere nesse contexto, abordando como tema as feições estruturais encontradas na Formação Barreiras no litoral dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, tanto em macroescala, considerando a expressão geomorfológica do arcabouço estrutural, como em mesoescala, analisando os aspectos geométricos e cinemáticos das estruturas de campo.

Um modelo neotectônico evolutivo para as estruturas da FB ainda não é bem definido, especialmente para a área de estudo. Embora a FB seja expressivamente estudada em termos estruturais e morfométricos, há escassez de trabalhos que tratam de coleta sistemática de dados estruturais, e que relacionam a deformação neotectônica da FB à do embasamento, analisando e comparando dados estruturais de ambos, e realizando uma caracterização cinemática.

Diante dessa lacuna, o presente trabalho objetiva propor um modelo geométrico-cinemático para as fraturas presentes na FB ao longo do litoral dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Para atingir o objetivo proposto, pretende-se: (i) determinar os principais padrões de orientação dos registros neotectônicos impressos na FB seja em macroescala, analisando lineamentos geomorfológicos, seja em mesoescala, analisando estruturas em afloramentos; (ii) identificar possíveis influências das estruturas pré-existentes do embasamento (Província Borborema e Bacias Sedimentares Pernambuco-Paraíba e Potiguar) na geração das estruturas da FB, e (iii) identificar o comportamento cinemático dos principais sistemas de falhas das unidades geológicas da área de estudo.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

GEOLOGIA

A área de estudo está localizada ao longo do litoral dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, numa área de 46.256 km², equidistante da linha de costa 100 km continente adentro (Figura 1a e 1b). Regionalmente, a área de estudo se insere no contexto geológico da

Província Borborema (Almeida et al., 1977) e compreende três domínios: o embasamento cristalino, as bacias sedimentares marginais e as coberturas neógeno-quaternárias, sendo que a Formação Barreiras se insere nesta última (Figura 1d).

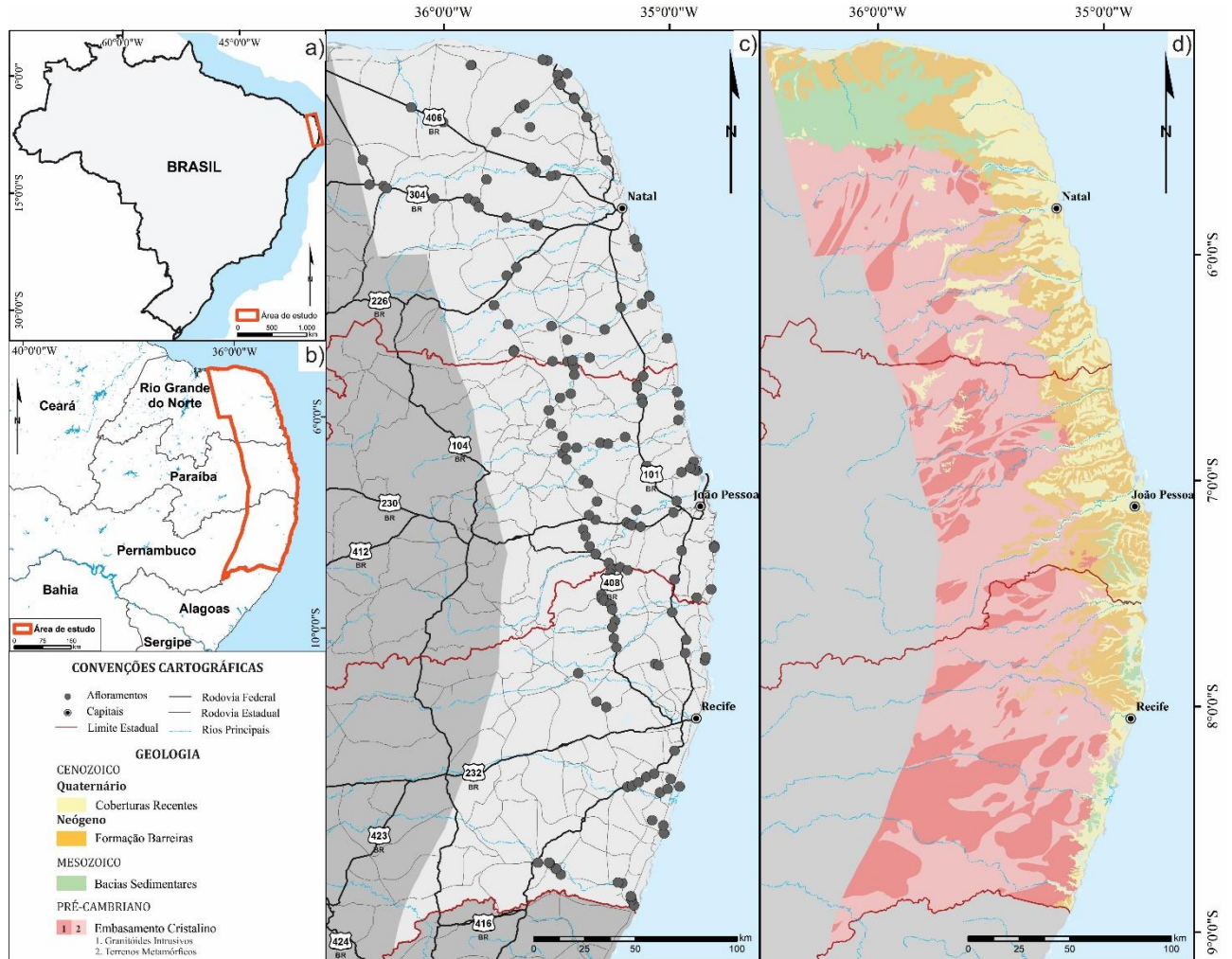
O embasamento cristalino compreende litotipos da Província Borborema, um sistema ramificado de orógenos neoproterozóicos entre os quais se posicionam terrenos proterozóicos e alguns núcleos arqueanos (Brito Neves, 1975; Almeida et al., 1981; Brito Neves et al., 2000). Esta entidade geotectônica neoproterozoica, proposta por Almeida et al. (1977), situa-se entre os crátons São Francisco (a sul) e São Luís (a norte) e é resultado da colagem neoproterozoica de várias subprovíncias/domínios litotectônicos distintos (Santos et al., 2004), com intenso magmatismo granítico associado. Essa província é dividida em três subdomínios tectono-estratigráficos: setentrional, central e meridional (Van Schmus et al., 1995), cujos principais limites são grandes lineamentos: o Lineamento Pernambuco (limite norte do domínio meridional) e o Lineamento Patos (limite sul do domínio setentrional), ambos relacionados à zonas de cisalhamento brasileiras de cinemática dextral e trend principal E-W/NE-SW. O arcabouço estrutural dessa região é complexo com formação de dobras e uma extensa rede de cisalhamentos, sugerindo que em sua evolução instalou-se um sistema tectônico de grande mobilidade (Campelo, 1999). Os cisalhamentos têm seus planos preferencialmente orientados segundo o trend NE-SW.

O domínio das bacias sedimentares marginais é representado pelas bacias Potiguar e Pernambuco-Paraíba, e ocorre recobrando o embasamento cristalino. A Bacia Potiguar localiza-se na costa do Estado do Rio Grande do Norte e tem idade berriásiana (Matos, 1987). Relaciona-se a um sistema de rifte iniciado no Cretáceo Inferior, com preenchimento sedimentar de natureza transicional, e ocorrência de eventos ígneos importantes (Pedrosa Jr et al., 2010). Matos (1992) sugere que o sistema de falhas de Carnaubais, de direção NNE-SSW, é o principal da Bacia Potiguar, e corresponde à reativação da zona de cisalhamento brasileira Portalegre (Hackspacher e Oliveira, 1984), já que é o prolongamento físico dessa zona na bacia (Siqueira, 2005).

O sistema de bacias Pernambuco-Paraíba pode ser dividido em duas sub-bacias, conforme sugerem Córdoba et al. (2007): Sub-bacia Paraíba (SBPa) ao norte, e Sub-bacia Pernambuco (SBPe) ao sul, separadas pelo lineamento Pernambuco. Embora sejam integradas a um mesmo sistema, a evolução tectônica das duas sub-bacias foi diacrônica, conferindo a cada uma delas aspectos sedimentares, stratigráficos e geocronológicos distintos. Em termos de arcabouço estrutural, o sistema Pernambuco-Paraíba apresenta estruturas NE-SW como falhas principais e NW-SE como sistemas transferentes (Lima-Filho, 1998).

O terceiro e último domínio da área, principal objeto de estudo, são as coberturas neógeno-quaternárias, representadas pela Formação Barreiras e pelas Coberturas quaternárias. Estratigraficamente, esse domínio recobre unidades do embasamento cristalino e das bacias sedimentares marginais. Alheiros et al. (1988) e Alheiros e Lima-Filho (1991) concluíram que na região entre Pernambuco e Rio Grande do Norte, a deposição da Formação Barreiras se deu em ambientes fluviais entrelaçados, associados com leques aluviais e depósitos litorâneos. Essa interpretação foi corroborada por Menezes et al. (1998) e Araújo et al. (2006), que atribuíram o ambiente fluvial meandrante com influência estuarina como relacionado à deposição da Barreiras na região de Canguaretama e Barreira do Inferno (Litoral do Rio Grande do Norte). Na área de estudo, a Formação Barreiras ocorre como intercalações de sedimentos areno-cascalhosos mal selecionados (fácies de sistemas fluviais entrelaçados) e conglomerático (fácies de leques aluviais), de coloração variegada (Alheiros et al., 1988). As Coberturas quaternárias são compostas por depósitos aluvionares, colúvio-eluviais, flúvio-lagunares, flúvio-marinhos e eólicos, depositados a partir do Holoceno (Bizzi et al., 2003).

Figura 1: Localização e contexto geológico da área de estudo: a) Mapa de localização da área de estudo no Brasil; e b) Na região Nordeste; c) Costa dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, com capitais, principais vias de acesso e afloramentos visitados. d) Mapa dos principais domínios geológicos da área de estudo, adaptado de Bizzi et al. (2003).



REVISÃO TEÓRICA

No nordeste do Brasil, os estudos em Neotectônica tem seus primeiros registros a partir de 1956, quando King conclui a partir de análises morfogenéticas, que os altos estruturais da costa são sustentados por sequências do embasamento pré-cambriano soerguidos. Autores como Dresch (1957), Demangeot (1960) e Mabesoone et al (1972) também citam esse soerguimento, constatado por eles a partir da observação de um padrão de espraiamento encontrado nos sedimentos da Formação Barreiras. Estudos de sismos (Hasui e Ponçano, 1978) e tensão intraplaca (Bezerra, 1999) também identificaram a presença de esforços compressivos no nordeste do Brasil, por vezes reativando falhas Proterozoicas. As evidências da Neotectônica também foram mapeadas sob forma de estruturas dúcteis e rúpteis sin a pós deposicionais na Formação Barreiras (e.g. Lima, 2010; Corrêa-Gomes et al, 2012; Lima et al, 2014).

Especificamente para a área de estudo, localizada ao longo da área costeira dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, Miranda e Srivastava (1984) dão início a uma série de publicações que tratam do arcabouço estrutural neotectônico da Formação Barreiras, onde citam a influência tectônica na nucleação de falhas normais de direção N-S ocorrentes na região de Macauzinho, no Rio Grande do Norte. Saadi (1993) por sua vez, elencou estruturas mapeadas no litoral oriental do Rio Grande do Norte, como dobras, zonas de cisalhamento, falhas NE (transcorrentes) e falhas NW (normais, formando grábens e horsts), encontrados em afloramentos da Formação Barreiras, reformçando a origem neotectônica dessas estruturas.

Outros trabalhos como os de Bezerra et al. (1993), Bezerra (1998, 1999), Nogueira et al. (2006), Moura-Lima (2010), Maia e Bezerra (2013), Gomes et al. (2014) sugerem existência de estruturas neotectônicas na Formação Barreiras na região costeira do Rio Grande do Norte, a partir de dados geofísicos, geomorfológicos, morfométricos e de poços. Trabalhos de natureza similar também foram desenvolvidos na Paraíba - Furrier et al. (2006), Furrier (2007), Barbosa e Furrier (2011), Santos et al. (2013), Bezerra et al (2014), Gandini et al (2014), Furrier et al. (2015), Lima et al. (2017); e em Pernambuco - Almeida (2003), Ferreira (2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

Rowland et al (2007) e Fossen (2012) descrevem a análise estrutural como sendo composta por três etapas subsequentes: (i) análise geométrica, (ii) análise cinemática, e (iii) análise dinâmica.

Numa análise estrutural, a análise geométrica é considerada a primeira etapa, e se detém na geometria, orientação, escala e relações de truncamento/paralelismo entre as estruturas, utilizando-se de estereogramas para representá-las (Fossen, 2012). Neste trabalho três conjuntos de estruturas foram analisados para comparação: lineamentos de relevo, obtidos em imagens de radar; dados geofísicos, compilados da literatura; e dados estruturais, coletados em campo.

O traçado dos lineamentos foi feito em ArcGIS 10.2, sobre imagens de relevo sombreado (azimute de iluminação 0°, 45°, 90° e 135° e inclinação de 45°) geradas a partir de modelos digitais de superfície SRTM (2000, resolução de 90 metros) da área de estudo. Foram considerados como lineamentos as feições de relevo lineares positivas ou negativas constatáveis em escalas menores ou iguais a 1:200.000, e que correspondiam a linhas ou segmentos de escarpas, alinhamentos de cristas, vales e trechos de rios, mudanças texturais/estruturais abruptas nos terrenos, e qualquer elemento indicativo de estruturas geológicas (Amaro et al., 1991). Com base nos dados geológicos de Bizzi et al. (2003), os lineamentos foram filtrados em função dos três domínios geológicos da área de estudo: (i) embasamento cristalino (Província Borborema); (ii) bacias sedimentares marginais (Bacias Pernambuco-Paraíba e Potiguar); e (iii) Formação Barreiras e Coberturas quaternárias. Os dados de lineamentos foram então processados pela ferramenta complementar AzimuthFinder (Queiroz et al., 2014), instalada no ArcGIS, que devolve informações de orientação e comprimento dos lineamentos, gerando duas matrizes: uma com dados de frequência e uma com dados de comprimento. As matrizes foram então espacializadas em gráficos do tipo rosácea no StereoNett 2.45 (Duyster, 2000).

Os dados geofísicos considerados nessa análise foram compilados do trabalho de Bezerra et al (2014), que interpretaram alinhamentos geofísicos a partir de um mapa magnético reduzido ao

pólo da região onshore da Bacia da Paraíba. Os dados de orientação destes lineamentos magnéticos foram obtidos pelo AzimuthFinder e espacializados em rede no StereoNett 2.45.

Os dados de campo foram coletados durante três excursões realizadas na área de estudo, com visita a 158 afloramentos (Figura 1c), nos quais houve descrição litológica, estrutural e coleta sistemática de dados de estruturas rúpteis (falhas e fraturas) em todos os domínios, e estruturas dúcteis (foliação, lineação de estiramento mineral, charneira de dobra, zonas de cisalhamento) no domínio do embasamento.

A análise cinemática, segunda etapa da análise estrutural, consiste numa técnica gráfica e/ou numérica para análise de dados de falha (Marret e Allmendiger, 1990), e tem como objetivo caracterizar a deformação geral resultante dos movimentos cumulativos das falhas, para determinar as direções principais de encurtamento e extensão, além de auxiliar na avaliação da compatibilidade cinemática entre as estruturas (Rowland et al, 2007). Para isso, as estruturas rúpteis com dados de estria e cinemática foram plotadas em rede estereográfica no FaultKinWin 10 (Allmendiger, 2000) e no Wintensor 5.8.7 (Delvaux, 2011), onde foram obtidos gráficos de dispersão e de contorno (Kamb) dos eixos de encurtamento e de extensão.

Numa projeção estereográfica, os eixos de encurtamento e extensão estão contidos no plano de movimento, o qual se encontra no grande círculo definido pelo pólo da falha e pelo caimento da estria. Ambos os eixos cinemáticos se encontram a 45° do pólo da falha, sendo que o sentido de deslizamento da falha aponta a favor do eixo de extensão e contra o eixo de encurtamento (Rowland et al, 2007). A plotagem dos eixos cinemáticos auxiliou na separação das estruturas em famílias mais ou menos compatíveis cinematicamente, através da ferramenta gráfica.

Por último, foi realizada a análise dinâmica. Com o intuito de agrupar estruturas de campo de tensão gerador compatível, os dados estruturais foram processados no Wintensor. Nesse software, os eixos dos estresses principais σ_1 (compressão máxima), σ_2 (compressão intermediária) e σ_3 (compressão mínima) são determinados através da aplicação sucessiva de uma versão ampliada do método dos diedros retos de Angelier e Mechler (1977), associada a um método numérico de otimização rotacional (Delvaux e Sperner, 2003). Para cada estrutura rúptil de campo que continha dados de estria e cinemática, foi gerado o campo de tensão gerador. Esses campos são então analisados em conjunto, e o software sugere separação em famílias de estruturas com maior grau de compatibilidade dinâmica, agrupando-as de forma a simular sistemas tectônicos reais (Delvaux et al., 1997).

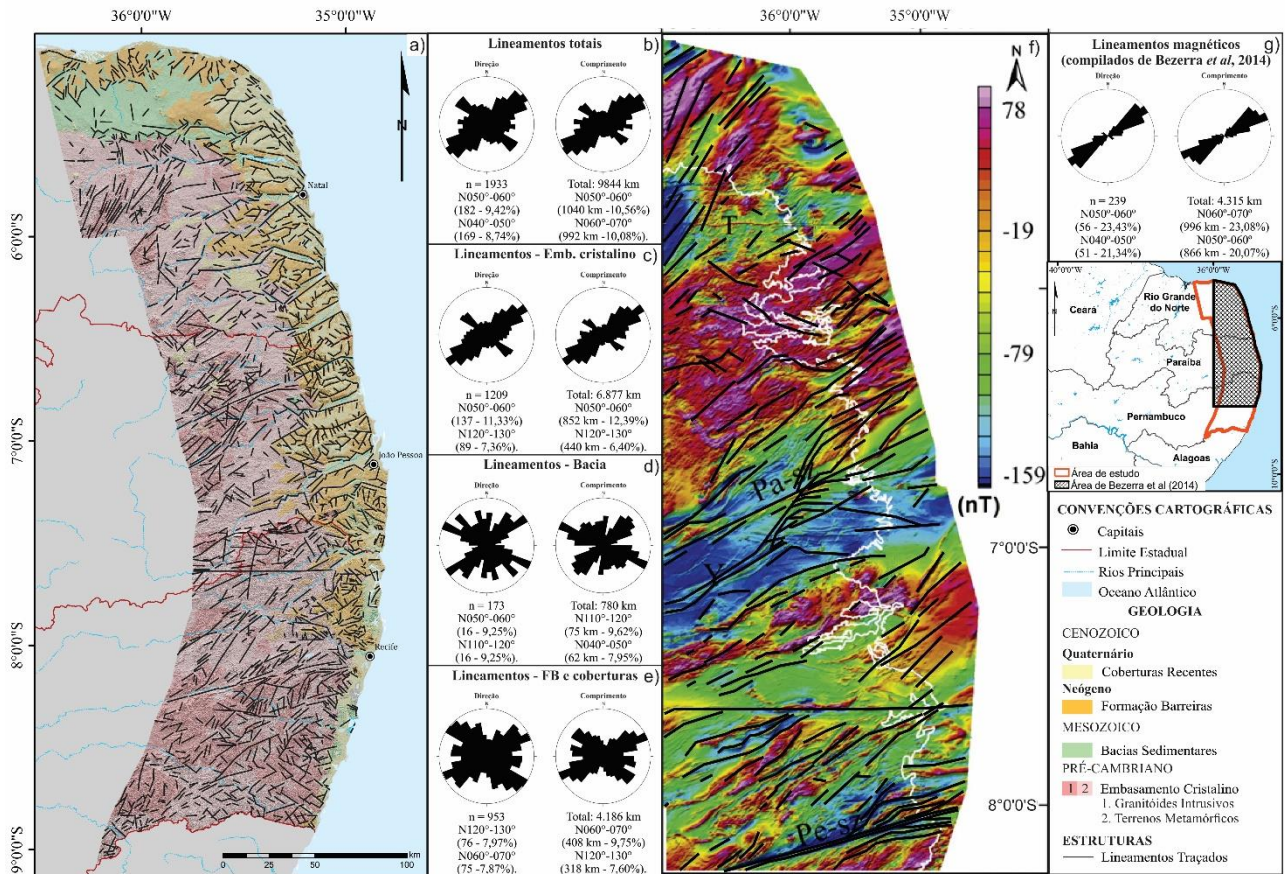
As informações obtidas nas etapas das análises geométrica, cinemática e dinâmica foram integradas e discutidas, e seus principais resultados são apresentados neste trabalho.

RESULTADOS

Lineamentos de Relevo

Sobre a imagem de relevo sombreado foi possível traçar 1.933 lineamentos de relevo na área de estudo, que perfazem um total de 9.844 km de comprimento acumulado (Figuras 2a).

Figura 2: Lineamentos da área de estudo. a) Lineamentos de relevo sobre domínios geológicos. b) Gráficos de frequência e comprimento para os lineamentos totais traçados; c) Para os lineamentos traçados no embasamento cristalino; d) Para os lineamentos traçados nas bacias sedimentares marginais; e) Para os lineamentos traçados na Formação Barreiras e Coberturas quaternárias. f) Mapa magnético reduzido ao polo com lineamentos interpretados (adaptado de Bezerra et al, 2014). g) Gráficos de frequência e comprimento para os lineamentos magnéticos totais traçados.



No universo total dos 1.933 lineamentos traçados, as direções mais frequentes foram N050°-060° com 182 medidas (9,42%); N040°-050° com 169 medidas (8,74%); N060°-070° com 165 medidas (8,54%); N120°-130° e N130°-140° ambas com 139 medidas (7,19%). Já em relação ao comprimento, as orientações com maior comprimento acumulado foram N050°-060°, com 1.040 km (10,56%); N060°-070°, com 992 km (10,8%); N040°-050° com 890 km (9,04%); N120°-130° com 640 km (6,50%) e N130°-140° com 606 km (6,16%) (Figura 2b).

Dentro do universo total de lineamentos, 1.209 cortavam e/ou estavam completamente contidos no domínio do embasamento cristalino. Nestes, predominaram as direções N050°-060° com 137 medidas (11,33%); N040°-050° com 115 medidas (9,51%); N060°-070° com 113 medidas (9,35%); N120°-130° com 89 medidas (7,36%) e N130°-140° com 85 medidas (7,03%). Em termos de comprimento, num total de 6.877 km acumulados, as direções mais expressivas foram N050°-060° com 852 km (12,39%); N060°-070° com 722 km (10,50%); N040°-050° com 677 km (9,84%); N120°-130° com 440 km (6,40%) e N130°-140° com 380 km (5,53%) (Figura 2c).

Já no domínio das bacias sedimentares marginais foram traçados 173 lineamentos, resultando num total de 780 km de comprimento acumulado. As direções mais frequentes foram N050°-060° e N110°-120° ambas com 16 medidas (9,25%); N130°-140° com 14 medidas (8,09%);

N030°-040° com 13 medidas (7,51%) e N160°-170° com 12 medidas (6,94 %). Em relação ao comprimento, destacaram-se as orientações N110°-120° com 75 km (9,62%); N040°-050°, com 62 km (7,95%); N100°-110° com 58 km (7,44%); N060°-070° com 49 km (6,28%); N000°-010° com 47 km (6,03%) (Figura 2d).

Por fim, no domínio geológico composto pela Formação Barreiras e pelas Coberturas quaternárias foram traçados 953 lineamentos, com 4.186 km de comprimento acumulado. As orientações com maior frequência de ocorrência foram N120°-130° com 76 medidas (7,97%); N060°-070° com 75 medidas (7,87%); N130°-140° com 74 medidas (7,76%); N040°-050° com 67 medidas (7,03%); N090°-100° com 57 medidas (5,98%). Em termos de comprimento, as direções mais representativas foram N060°-070° com 408 km (9,75%); N050°-060° com 339 km (8,10%); N120°-130° com 318 km (7,60%); N130°-140° com 317 km (7,57%) e N040°-050° com 292 km (6,98%) (Figura 2e).

Lineamentos geofísicos

Os lineamentos magnéticos interpretados por Bezerra et al (2014) resultaram em 239 unidades com 4.315 km de comprimento acumulado. Quando orientados em estereogramas, os lineamentos que apresentam maiores frequência e comprimento são os de orientação N050°-060°, com 56 medidas (23,43%) e 866 km (20,07%); N040°-050° com 51 medidas (21,34%) e N060°-070° com 47 medidas (19,67%) e 808 km (18,73%) e 996 km (20,07%) (Figura 2f e 2g).

Dados estruturais de campo

Nos 158 afloramentos visitados na área de estudo, que perpassam os domínios do embasamento cristalino, das bacias sedimentares marginais, da Formação Barreiras e das Coberturas quaternárias, foram coletadas as atitudes de 7.496 planos de fraturas e de 331 foliações metamórficas. Os estereogramas resultantes do tratamento destes dados são apresentados na Figura 3.

Embasamento Cristalino

Em relação às estruturas dúcteis, foram coletadas 331 atitudes de foliação nos litotipos correspondentes ao embasamento cristalino na Província Borborema (Figura 4a-4f). As principais direções de orientação da foliação foram N030°-040° com 32 medidas (9,67%); N070°-080° com 31 medidas (9,37%); N060°-070° com 29 medidas (8,76%); N010°-020° com 28 medidas (8,46%); N090°-100° com 22 medidas (6,65%). Para as direções de mergulho, dominam os *trends* N120°-130° com 23 medidas (6,95%); N160°-170° com 22 medidas (6,65%); N100°-110° com 19 medidas (5,74%); e N330°-340° com 14 medidas (4,23%). O estereograma de isodensidade polar mostra uma variação no ângulo de mergulho da foliação, que varia entre 5° e 88°, com concentração máxima dos pólos em N288°/75° (Figura 3a).

Foram também medidos 3.919 planos de fraturas, nos quais dominaram as direções N170°-180° com 607 medidas (15,49%); N070°-080° com 339 medidas (8,65%); e N010°-020° com 280 medidas (7,14%). Os mergulhos tendiam predominantemente para as direções N080°-090° com 443 medidas (11,30%); N160°-170° com 272 medidas (6,94%); N100°-110° com 201 medidas (5,13%); e N300°-310° com 176 medidas (4,49%). O estereograma de isodensidade polar evidencia a dominância de planos com mergulhos maiores que 60° (88,01% dos planos), com concentração máxima de pólos em N264°/09° (Figura 3b).

Figura 3: Estereogramas de estruturas de campo: a) Foliação do embasamento cristalino. b) Fraturas do embasamento cristalino. c) Fraturas das Bacias sedimentares marginais. d) Fraturas da Formação Barreiras.

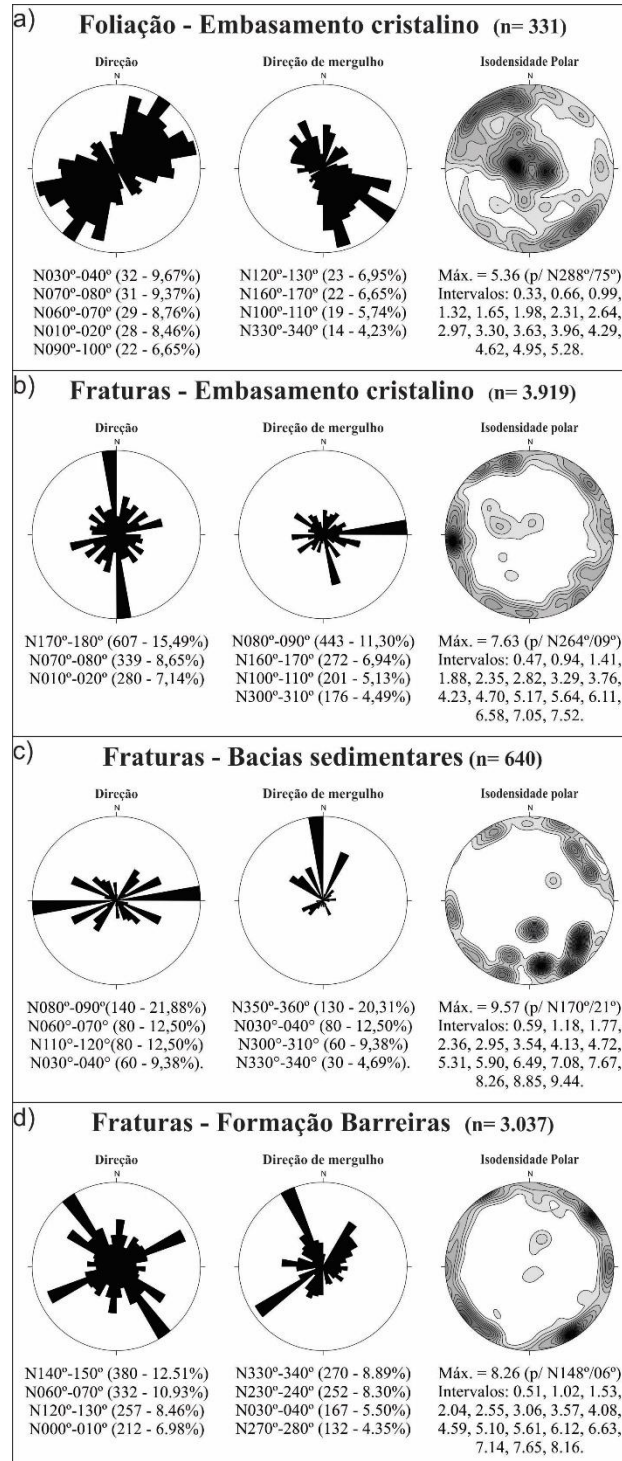


Figura 4: Visão geral das principais estruturas dos domínios do embasamento e das bacias sedimentares marginais. a) Foliação em Paragneisse Milonítico. b) Foliação em Migmatito Metatexítico Tonalito-Granodiorítico. c) Foliação reliquiária em Diatexito Granodiorítico. d) Foliação incipiente em corpo granitóide. e) Afloramento dobrado de migmatito paraderivado. f) Detalhe das dobras desarmônicas no migmatito paraderivado, presença de dobras parasíticas e boudins dobrados. g) Formação de cunha por interseção de fraturas em afloramento da Fm. Gramame (Bacia Pernambuco-Paraíba).



Bacias Sedimentares Marginais

Nas bacias sedimentares marginais da área de estudo – Potiguar e Pernambuco-Paraíba - foram medidos 640 planos de fraturas, nas quais dominam as direções N080°-090°, com 140 medidas (21,88%); N060°-070° e N110°-120°, ambas com 80 medidas (12,50%); N030°-040° com 60 medidas (9,38%). Em relação à direção do mergulho as orientações mais expressivas foram N350°-360° com 130 medidas (20,31%); N030°-040° com 80 medidas (12,50%); N300°-310° com 60 medidas (9,38%); e N330°-340° com 30 medidas (4,69%). O diagrama de isodensidade polar demonstra a dominância de planos com inclinações maiores que 60° (89,84%), com concentração máxima de pólos em N170°/21° (Figuras 3c e 4g).

Formação Barreiras e Coberturas quaternárias

Nos litotipos correspondentes à Formação Barreiras e às Coberturas quaternárias, foram coletadas atitudes de 3.037 planos de fraturas. As estruturas de campo com melhor grau de preservação estão registradas nos níveis argilosos (Figura 5a, 5e) e marcam descontinuidades penetrativas nas rochas, por vezes submetidas a processos de lixiviação (Foto 5c, 5d). Os planos de fraturas ocasionalmente interceptam-se, gerando padrões de quebraimento ortorrômbico e em cunha, observáveis em alguns afloramentos (Figura 5b, 5d). De forma geral, as estruturas são planares, com mergulhos maiores que 70°.

As direções mais expressivas foram N140°-150° com 380 medidas (12,51%); N060°-070° com 332 medidas (10,93%); N120°-130° com 257 medidas (8,46%); e N000°-010° com 212 medidas (6,98%). As direções de mergulho que dominaram foram N330°-340° com 270 medidas (8,89%); N230°-240° com 252 medidas (8,30%); N030°-040° com 167 medidas (5,50%); e N270°-280° com 132 medidas (4,35%). O estereograma de isodensidade polar evidencia a dominância de mergulhos altos, maiores que 70° (88,38% dos planos) com concentração máxima de pólos em N148°/06° (Figura 3d).

ANÁLISE GEOMÉTRICA

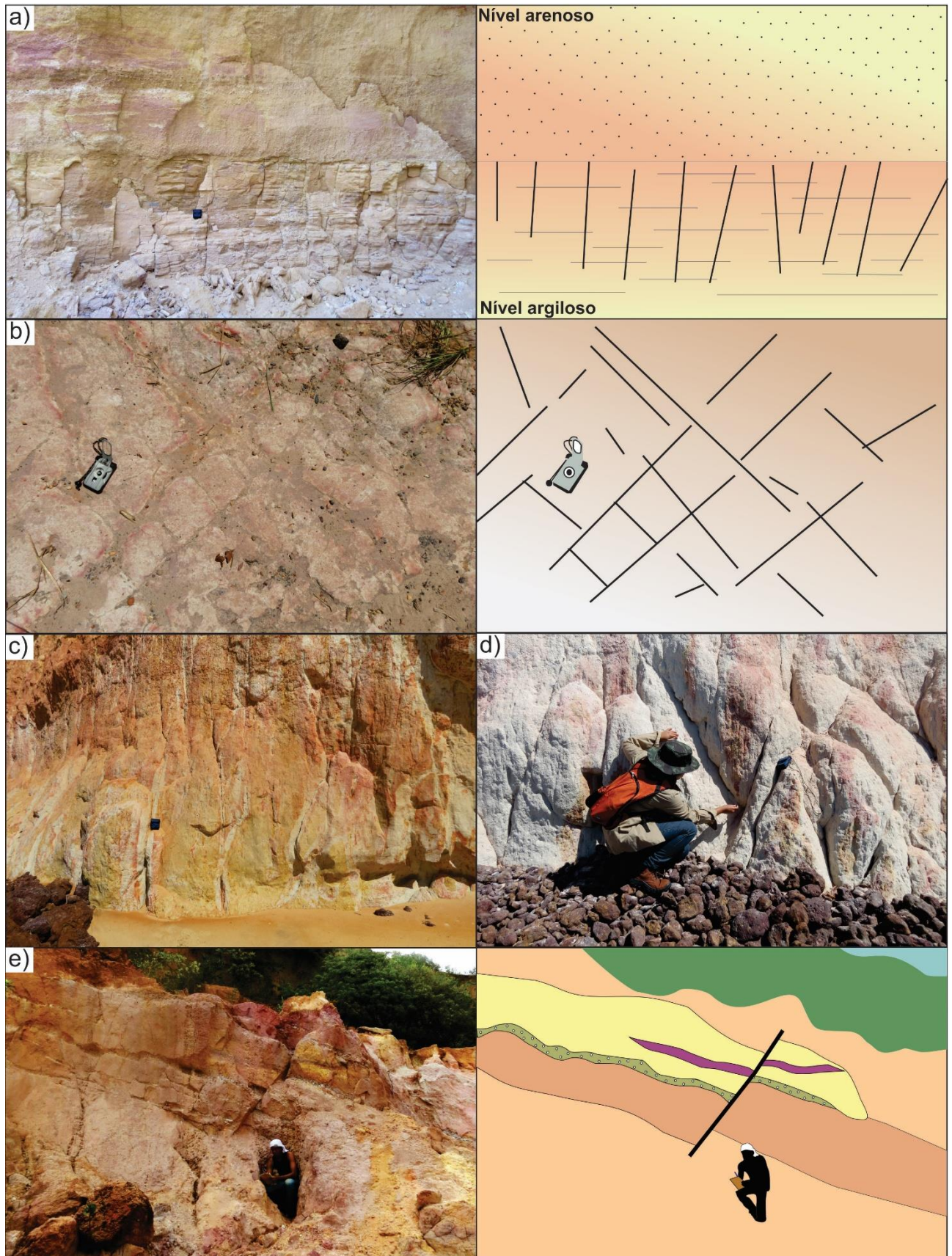
Diante dos dados de lineamentos de relevo, de lineamentos geofísicos e estruturas de campo, a primeira observação a ser feita refere-se à compatibilidade de orientações principais encontradas entre os lineamentos de relevo, os lineamentos magnéticos e os dados de campo, que demonstra a influência do arcabouço estrutural e geofísico dos domínios geológicos na morfologia do relevo da área de estudo.

Para o embasamento cristalino, tanto os lineamentos de relevo quanto os magnéticos apresentaram as orientações N040°-070° como principais, tanto na frequência quanto no comprimento acumulado. É possível que essa orientação seja a expressão geomorfológica e geofísica da foliação metamórfica, que apresentaram direções principais N030°-080°.

As principais orientações do embasamento cristalino nos três conjuntos de estruturas, lineamentos de relevo, lineamentos geofísicos e dados de campo, são paralelas ao trend principal sugerido pela literatura para a Província Borborema, que é aproximadamente NE-SW (e. g. Morais Neto e Alkmim, 2001), e são sistematicamente encontradas nos domínios que o superpõe (bacias sedimentares marginais, Formação Barreiras e Coberturas quaternárias), sugerindo a presença de herança estrutural.

Em relação às estruturas rúpteis do embasamento, é possível observar que a orientação mais expressiva tem direção, aproximadamente, norte-sul, com uma família leste-oeste subordinada. Isso pode ser indício de que os planos de foliação metamórfica não foram reaproveitados nos episódios de deformação rúptil posteriores. Os trends encontrados podem relacionar-se com a distensão cretácea, responsável pela abertura do Atlântico Sul, já que o embasamento mapeado é proximal ao núcleo da deformação (margem continental). Nesse sentido, é válido notar que os planos de falhas e fraturas são subparalelos à linha de costa, com direção norte-sul de Recife até Natal, e direção leste-oeste a partir de Natal (Jardim de Sá, 2000). A direção E-W, mais a norte, pode ainda relacionar-se com os diques básicos meso-cenozoicos do magmatismo Ceará Mirim, intrudidos no embasamento nas estruturas da etapa Sin-rifte da Bacia Potiguar (Matos, 1992).

Figura 5: Aspectos estruturais da Formação Barreiras (FB). a) Deformação restrita aos níveis silto-argilosos da FB. b) Padrão ortorrômbico de fraturas registrado em nível argiloso da FB. c) Fraturas abertas sub-verticais em falésia da FB, com processo de lixiviação associado. d) Interseção de fraturas formando cunhas em falésia da FB, com processo de lixiviação associado. e) Falha Normal na FB.



Para o domínio das bacias sedimentares marginais, os lineamentos apresentaram duas orientações principais: NE-SW e NW-SE. Ambos os padrões são possivelmente produto de herança estrutural do embasamento, e correspondem também aos sistemas de falhas principais e transferentes das bacias Potiguar (Matos, 1992) e Pernambuco-Paraíba (Lima-Filho, 1998).

As fraturas das bacias sedimentares não reproduziram o mesmo comportamento de orientação dos seus lineamentos, provavelmente por que correspondem geomorfologicamente a lineamentos não observáveis na escala mínima empregada. Foram encontradas, porém, orientações E-W, que no caso da bacia Pernambuco-Paraíba, relacionam-se às falhas principais (reativações das zonas de cisalhamento Neoproterozóicas Patos e Pernambuco - Lima Filho et al., 2005), e no caso da Bacia Potiguar, refere-se a uma importante família de estruturas formadas na fase II do Rifte (Reis, 2012).

Em relação ao domínio da Formação Barreiras e Coberturas quaternárias, os lineamentos apresentaram duas orientações principais, as quais também se destacam nas fraturas medidas em campo, e ambos apresentam uma geometria ortorrômbica bem definida. O primeiro trend tem direção N040°-070° e é bastante expressivo no gráfico de lineamentos (frequência e comprimento acumulado), apesar de ter comportamento secundário nos dados de campo. O segundo trend tem direção N130°-150°, e se destaca tanto nos lineamentos quanto no gráfico de dados de campo. Esse padrão estrutural é possivelmente herdado tanto das estruturas dúcteis do embasamento da Província Borborema, como das falhas importantes das bacias marginais que estão sob a FB e as Coberturas quaternárias.

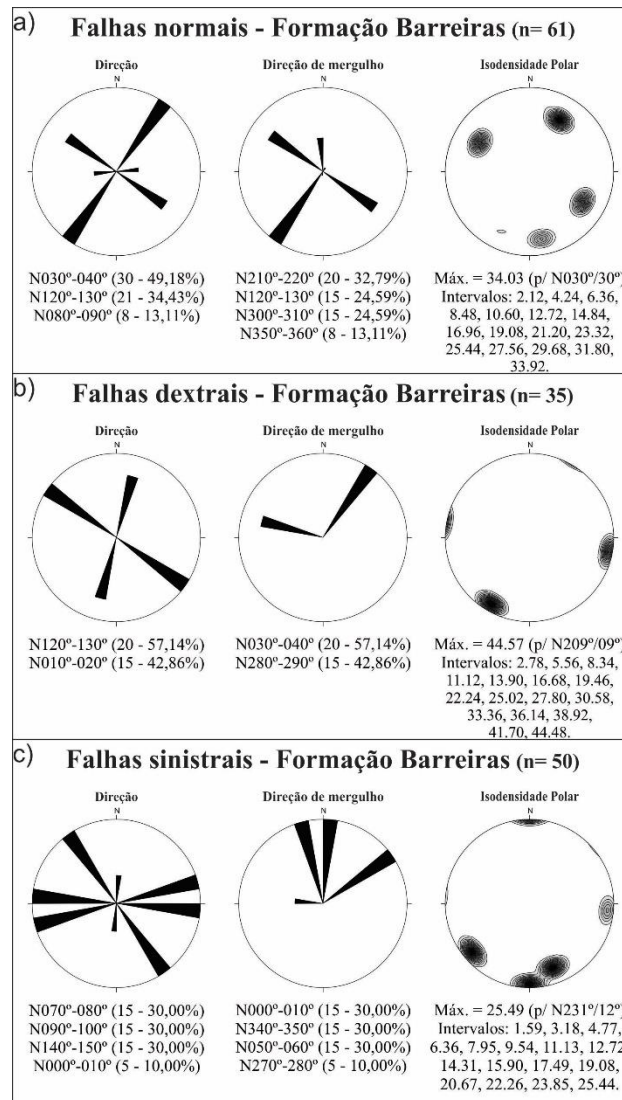
ANÁLISE CINEMÁTICA E DINÂMICA

Na Formação Barreiras foram mapeados 61 planos de falhas normais. As direções importantes são: N030°-040° com 30 medidas (49,18%) e N120°-130° com 21 medidas (34,43%), além de uma subordinada, com direção N080°-090° de onde obteve-se 8 medidas (13,11%). Os planos têm mergulhos acima de 58°, que vergem para N210°-220° (20 medidas - 32,79%), N120°-130° e N300°-310° (ambas com 15 medidas – 24,59%) (Figura 6a).

Foram medidos ainda 35 planos de falhas com cinemática dextrais. As direções dominantes foram N120°-130°, com 20 medidas (57,14%) e N010°-020° com 15 medidas (42,86%). Os planos têm mergulhos acima de 80° para N030°-040° (20 medidas – 57,14%) e N280°-290° (15 medidas – 42,86%) (Figura 6b).

Em relação às falhas sinistrais, foram coletadas orientações de 50 planos, nos quais dominaram as orientações N070°-080°, N090°-100° e N140°-150°, com 15 medidas cada (30,00%). Os mergulhos são maiores que 80°, com sentido N000°-010°, N340°-350° e N50°-060° (15 medidas cada - 30,00%) (Figura 6c).

Figura 6: Estereogramas de estruturas rúpteis na Formação Barreiras: a) Falhas normais. b) Falhas dextrais. c) Falhas sinistrais.



A determinação da sequência de eventos cinemáticos num cenário deformado depende da obtenção de informações de cronologia relativa entre as estruturas, seja (i) pela datação direta de produtos da deformação, (ii) pela concentração da deformação em níveis restritos de idades conhecidas, ou (iii) pelo truncamento entre marcadores.

A primeira e segunda premissas não se aplicam à Formação Barreiras na área de estudo, já que esta unidade carece de estudos geocronológicos detalhados e sistemáticos, e o registro das estruturas nela é comprometido devido à ação das intempéries nos níveis de baixa coesão. A terceira premissa, no entanto, foi atendida. No afloramento NBII-043, o plano de falha de orientação N290°/65°NE continha duas estrias, uma indicando movimentação normal, com orientação N005/64°, sendo truncada por uma dextral, de orientação N095°/27°. Essa relação de truncamento pode representar duas possibilidades: (i) falhas normais nucleadas numa fase inicial, e reativadas como transcorrentes numa fase subsequente; ou (ii) falhas normais que evoluem para transcorrentes num único episódio deformacional, por ajuste de blocos/criação de espaço para acomodar a deformação gravitacional dominante.

Caso as estruturas normais e transcorrentes tenham sua gênese relacionada à possibilidade (i), a assinatura cinemática de cada grupo não será compatível, com eixos distintos de encurtamento e extensão. Porém, caso a possibilidade (ii) seja a verdadeira, haverá compatibilidade entre os eixos cinemáticos.

As estruturas utilizadas nesta etapa da análise foram as que tinham informações de cinemática e estria associada, resultando num total de 140 medidas. Quando todas as 140 estruturas são plotadas juntas, assumindo-se que foram nucleadas num mesmo evento deformacional, é possível observar que a disposição estereográfica dos eixos cinemáticos não permite distinguir regiões bem definidas de encurtamento e extensão, existindo em vez disso, áreas de sobreposição de campos, que pode ser um primeiro indício de incompatibilidade (Figura 7a).

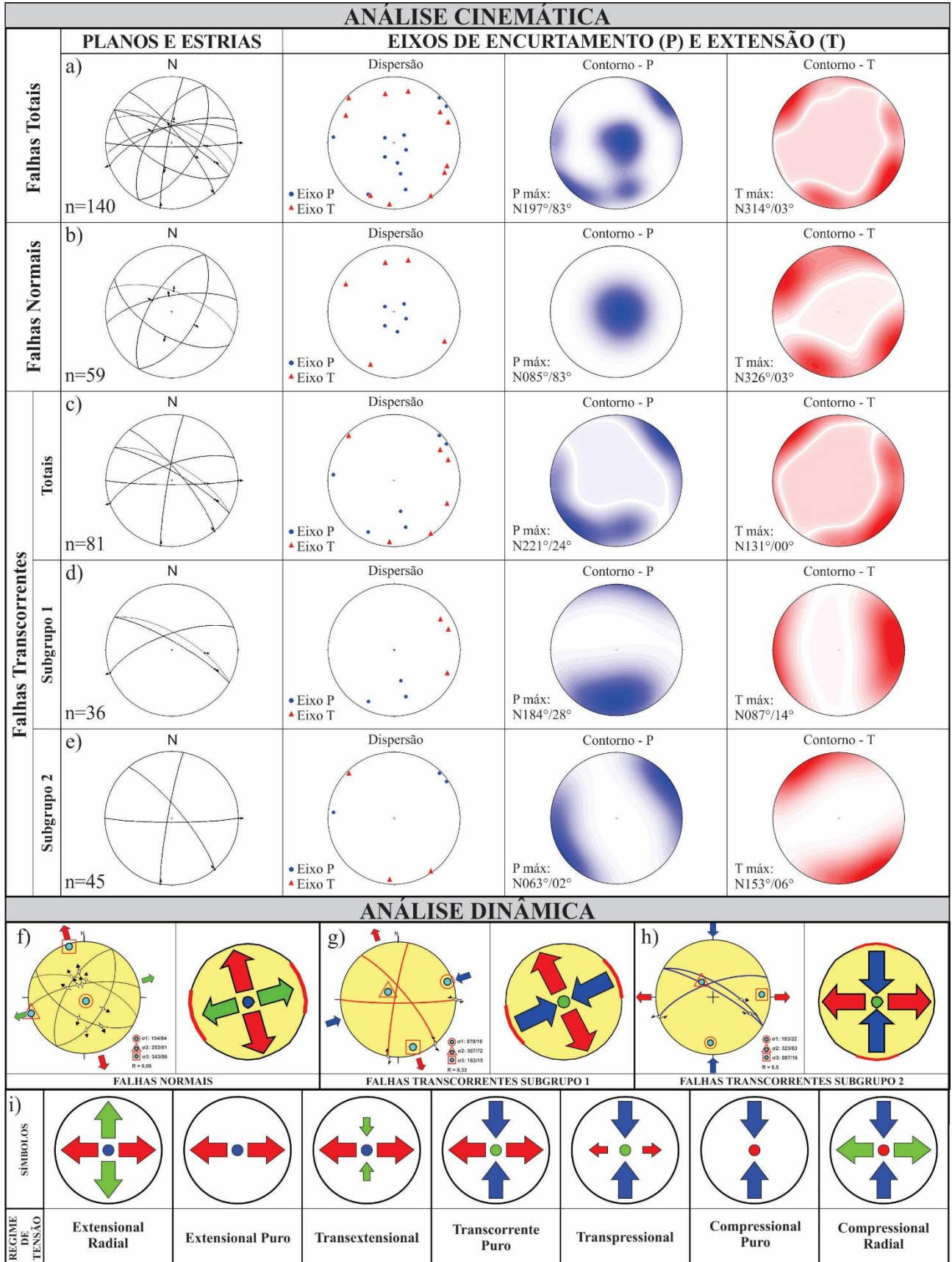
Esse indício gráfico é corroborado quando as 140 estruturas são processadas juntas no Wintensor, que as considera incompatíveis, sugerindo a separação em três famílias correlacionáveis, em função da cinemática: uma família contendo as falhas com cinemática normal, e duas famílias com cinemática transcorrente. Esse critério do software foi adotado, devido à validação das relações de truncamento vistas em campo.

Na Formação Barreiras foram 59 os planos de falhas normais que tiveram informação de estria. O cálculo dos eixos de encurtamento (P) e extensão (T) para cada estrutura resultou em valores máximos de orientação N085°/83° (P) e N326°/03° (T) (Figura 7b). A disposição espacial dos planos e estruturas presume uma arquitetura de quebramento ortorrômbica (Nieto-Samaniego, 1999), e embora o eixo máximo de extensão tenha orientação quase NW-SE, existe uma extensão importante na direção NNE-SSW. O campo de tensão estimado para a geração dessas estruturas numa mesma fase de deformação corresponde a tensor máximo (σ_1): N154°/84°, tensor intermediário (σ_2): N253°/01° e tensor mínimo (σ_3): N343°/06°, com magnitudes relativas 0.960, 0.772 e 0.747 respectivamente (Figura 7f), com valor de razão de tensão $R=0,08$. Segundo o modelo proposto por Delvaux et al (1997) (Figura 7i), essa família cinemática foi possivelmente gerada num regime de tensão extensional radial, onde os tensores intermediário e mínimo, por terem magnitudes relativas próximas, alternaram no espaço, gerando essa geometria.

As falhas transcorrentes, por sua vez, tiveram 81 planos de falhas com informação de estria associada, que foram plotados em estereogramas. O cálculo dos eixos de encurtamento (P) e extensão (T) para cada estrutura resultou em valores máximos de orientação N221°/24° (P) e N131°/00° (T) (Figura 7c), com campo de tensão estimado em tensor máximo (σ_1): N232°/59°, tensor intermediário (σ_2): N032°/29° e tensor mínimo (σ_3): N127°/09°, com magnitudes relativas 0.508, 0.962 e 0.535 respectivamente, e valor $R=0,51$, indicando regime de tensão transcorrente (Figura 8c).

O grau de correlação entre as 81 estruturas transcorrentes foi ainda melhorado mediante separação em dois subgrupos: 1 e 2. O subgrupo 1 (Figura 7d) possui 36 estruturas, com eixo máximo de encurtamento (P) N184°/28° e extensão (T) 087°/14°, com campo de tensão estimado em tensor máximo (σ_1): N183°/22°, tensor intermediário (σ_2): N323°/63° e tensor mínimo (σ_3): 087°/16° (Figura 7g), com magnitudes relativas 0.937, 0.987 e 0.931 respectivamente, e valor $R=0,5$, indicando regime de tensão transcorrente. Já o subgrupo 2 (Figura 7e) é composto por 45 medidas, com eixo máximo de encurtamento (P) N063°/02° e extensão (T) 153°/06°, com campo de tensão estimado em tensor máximo (σ_1): N070°/10°, tensor intermediário (σ_2): N307°/72° e tensor mínimo (σ_3): N163°/15° (Figura 7h) com magnitudes relativas 0.923, 0.991 e 0.930 respectivamente, e valor $R=0,5$, indicando regime de tensão transcorrente.

Figura 7: Estereogramas de planos e estrias, dispersão e contorno dos eixos de encurtamento e extensão: a) das falhas totais; b) das falhas normais; das falhas transcorrentes c) totais; d) do subgrupo 1; e) do subgrupo 2. Tensores principais: f) das falhas normais; g) das falhas transcorrentes do subgrupo 1; h) das falhas transcorrentes do subgrupo 2. i) Eixos principais de tensão horizontais e seu regime associado. Azul para o σ_1 , verde o σ_2 e vermelho o σ_3 . Adaptado de Delvaux et al. (1997).



Embora os registros de campo considerados neste trabalho não permitam a hierarquização temporal dos dois subgrupos de estruturas transcorrentes, alguns trabalhos sugerem que o subgrupo 1 é mais antigo que o subgrupo 2. Nogueira et al (2006) por exemplo, definiram para a FB do leste da Bacia Potiguar, duas fases de deformação transcorrentes. A primeira tem o tensor máximo σ_1 sub-horizontal com direção N-S e tensor mínimo σ_3 sub-horizontal com direção E-W. Oliveira (2008) atribuiu essa primeira fase aos efeitos reliquiais do episódio deformacional Pós-Campaniano que marca o encerramento da deposição dos carbonatos da Formação Jandaíra da Bacia Potiguar. Nogueira et al (2006) ainda definem uma segunda fase com σ_1 sub-horizontal com direção E-W e tensor mínimo σ_3 sub-horizontal com direção N-S, atuante em um estágio pós-sedimentação da FB, com idade que varia do Mioceno ao Holoceno.

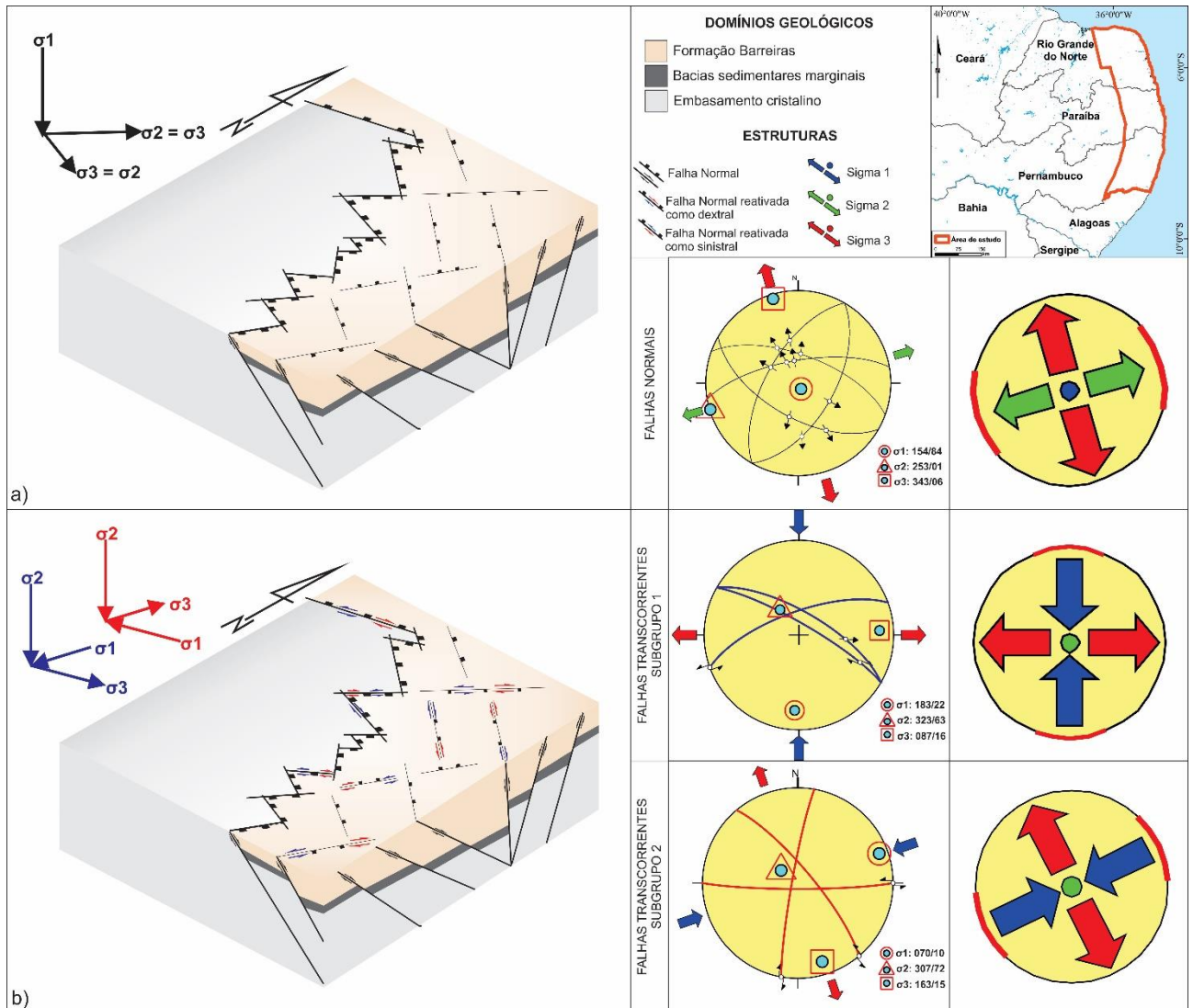
MODELO GEOMÉTRICO-CINEMÁTICO-DINÂMICO

Existe uma fase normal de deformação contemporânea à deposição da Formação Barreiras que é consolidada na literatura (e.g. Saadi et al., 2005; Bezerra, 2001; Bezerra et al 2014). Evidências de várias naturezas, dentre as quais destacam-se estruturas de campo, feições estratigráficas, depocentros controlados por falhas, falhas de crescimento e dados geofísicos, indicam a atuação de uma tectônica gravitacional sin-sedimentar importante. A gênese dessa tectônica é atribuída a efeitos epirogenéticos reliquiais da distensão cretácea (Sousa, 2002), e efeitos de empuxo devido ao contraste negativo de densidade entre as rochas magmáticas presas na base da crosta (*underplating*) e o manto circundante, relacionados ao magmatismo cenozoico ocorrido no Nordeste do Brasil (Oliveira, 2008).

A ocorrência da Formação Barreiras na Costa do Nordeste se dá em formas aproximadamente triangulares, que podem ser a expressão da influência do sistema ortorrômbico e conjugado de fraturamento na ocorrência da FB no continente. A influência do sistema ortorrômbico é constatável também nos lineamentos de relevo e em dados de campo (Figura 8a). Nesse sentido, as falhas normais que compõem o padrão ortorrômbico podem ser correlacionadas à possíveis falhas limítrofes que condicionam a sedimentação, num regime análogo ao de uma bacia (Bezerra, 2001; Bezerra et al, 2014). A relação entre o padrão ortorrômbico e a sedimentação é corroborada por trabalhos como de Nogueira et al (2006), que encontrou no litoral da Paraíba, tanto falhas de crescimento, como padrões de espessura de isópacas da FB seguindo o padrão ortorrômbico encontrado neste trabalho.

O padrão normal ortorrômbico é paralelo às foliações metamórficas do embasamento da Província Borborema. O desenvolvimento dessas falhas pode ter sido um mecanismo relevante na criação de espaço para a deposição da Formação Barreiras. À medida que as falhas normais eram nucleadas, a sedimentação ia tomando espaço, e haviam reativações concomitantemente à sedimentação, o que produziu feições sedimentares específicas no Barreiras (e.g. falhas de crescimento). Os dados de campo evidenciam a ocorrência de uma tectônica gravitacional do tipo extensional radial, gerando um arranjo ortorrômbico de falhas normais, com extensão nas direções N246° e N336°, causadas provavelmente pela alternância dos tensores intermediário e mínimo, que possuíam magnitude relativa semelhante.

Figura 8: Modelo estrutural geométrico-cinemático simplificado para as estruturas da Formação Barreiras no litoral entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. a) Fase de deformação extensional radial gerando falhas num arranjo ortorrômbico que condicionam a ocorrência da Formação Barreiras no continente. b) Fase de deformação transcorrente reativando os planos da fase normal em dois pulsos.



No início da deposição da Formação Barreiras, os efeitos finais da abertura da Bacia do Atlântico eram possivelmente os principais motores da tectônica da época. A ocorrência da subsidência por resfriamento resultou em um vetor tectônico gravitacional que atuou nas etapas pré a sin-deposicionais da Formação Barreiras. Sousa et al (2001) e Sousa (2002) registraram a correlação entre os estágios finais de desenvolvimento da Bacia Potiguar e o início da deposição da FB, quando encontraram o mesmo padrão de deformação hidroplástica no topo da Formação Jandaíra (Bacia Potiguar) e na base da Formação Barreiras.

Em um episódio deformacional posterior à sedimentação da FB, instalou-se um regime tectônico transcorrente. Com a evolução da Bacia do Atlântico, a configuração tectônica mudou, e com ela o vetor de tensão resultante. A variável gravitacional foi minimizada, devido a influência de vetores horizontais importantes, como as forças de stress flexural devido a variação lateral de densidade e carga sedimentar na plataforma continental

(Assumpção, 1992; Lima et al., 1997), efeitos do empurrão da dorsal meso-atlântica na placa Sul-americana, no estágio atual de transição de margem passiva para ativa (Corrêa Gomes et al., 2005 e Corrêa-Gomes et al., 2012), migração da placa sul-americana (Lima, 2000; Fairhead e Wilson, 2004; Marotta, 2013) e subducção andina (Saadi et al. 2005; Assumpção, 1992; Saadi, 1993).

A interação desses vetores horizontais resultou no início da fase de deformação transcorrente, gerando dois grupos de estruturas. O primeiro tem tensor principal N183°, horizontal, com extensão N087°, e o segundo tem tensor máximo N070°, horizontal, com extensão N163° (Figura 9b). Trabalhos já publicados (e.g. Sousa, 2001; Nogueira et al. 2006) indicam que o primeiro grupo seja mais antigo que o segundo. Porém é possível que ambos os grupos sejam contemporâneos, sendo nucleados em pulsos, quando, num processo de alternância, certo vetor tectônico horizontal preponderava sobre outro. Esse regime de pulsos é sugerido por Corrêa Gomes et al (2005) e Nascimento (2014) no litoral sul da Bahia e Matos (2013) na Formação Barreiras entre os estados de Sergipe e Alagoas. A deformação transcorrente atuou tanto reativando os planos ortorrômbicos da etapa normal, quanto gerando um padrão aproximadamente conjugado (Figura 8b).

CONCLUSÕES

- a) O relevo da área de estudo tem sua morfologia controlada pelo arcabouço estrutural do substrato, considerando a relação de paralelismo entre os lineamentos geomorfológico, os lineamentos geofísicos e as estruturas mapeadas em campo;
- b) Os lineamentos geomorfológicos e geofísicos de maior expressividade do embasamento cristalino (040°-070°) estão possivelmente relacionados às foliações metamórficas de trend similar;
- c) A trama estrutural rúptil das bacias sedimentares marginais, da Formação Barreiras e das Coberturas quaternárias, foi herdada da orientação principal de foliação do embasamento da Província Borborema, e isso é constatável tanto em macroescala (lineamentos regionais), quanto em mesoescala (dados estruturais de campo);
- d) A Formação Barreiras apresenta falhas normais em arranjo geométrico ortorrômbico (NW-SE e NE-SW), e são produto do regime de tensão extensional radial gerado por tensores intermediário e mínimo com magnitudes relativas similares, que alternaram espacialmente;
- e) O padrão normal ortorrômbico funcionou como falhas limítrofes que controlaram a deposição da Formação Barreiras, condicionando a ocorrência da FB no continente (Bacia Barreiras?), e esteve ativo nos estágios pré e sin sedimentação da Formação Barreiras;
- f) Houve uma fase de deformação transcorrente na FB que atuou, ora reativando as falhas normais do padrão ortorrômbico, ora gerando pares conjugados;
- g) A fase de deformação transcorrente ocorreu em dois pulsos subsequentes (ou contemporâneos?), sendo o primeiro pulso com σ_1 : N183°/22°, σ_2 : N323°/63° e σ_3 : 087°/16°, nucleando falhas NW-SE dextrais e NE-SW sinistrais, e o segundo pulso com σ_1 : N070°/10°, σ_2 : N307°/72° e σ_3 : N163°/15° nucleando falhas NW-SE sinistrais e NE-SW dextrais.

REFERÊNCIAS

- Alheiros M.M., Lima Filho M.F., Monteiro F.A.J., Oliveira Filho J.S. (1988) Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. *XXXV Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 753-760. Belém: SBG.
- Alheiros, M. M. e Lima Filho, M. F. (1991). A Formação Barreiras. Revisão da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. *Série Estudos Geológicos*, 10, 77-88.
- Allmendinger, R. (2017). *Software FaultKinWin* – Versão v.8.0.7 (64-bit). Disponível em: <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/faultkin.html>. Acesso em: maio/2017.
- Almeida, C.B. (2003). Mapeamento Geológico da Região do Engenho Sibiró – Porto de Galinhas (Litoral Sul, PE): Contribuição à estratigrafia e à tectônica da sub—bacia de Pernambuco. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) Natal: UFRN.
- Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B., Fuck, R. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17, 1-29.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. (1977). Províncias Estruturais Brasileiras. *VIII Simpósio de Geologia do Nordeste*, 8, 363-391, Campina Grande: SBG.
- Amaro, V.E., Jardim de Sá, E.F., Vauchez, A. (1991). Foto-análise preliminar dos lineamentos brasileiros da porção central da Província Borborema. *Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste*, 12, 306-309. Recife: SBG.
- Angelier, J., Melcher, P. (1977). Sur une méthode graphique de recherche des contraentes principes également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 19, 1309-1318.
- Arai, M. (2006). A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia-USP Série Científica*, São Paulo, 6(2), 1-6.
- Arai, M., Truckenbrodt, W., Nogueira, A. C. R., GOES, A. M., Rossetti, D. F. (1994). Novos dados sobre estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 4, 185-187. Belém: SBG.
- Arai, M., Uesugui, N., Rossetti, D. F., Goes, A. M. (1988). Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 738-752. Belém: SBG.
- Araújo, V.D., Reyes-Peres, Y. A, Lima, R.O., Pelosi, A.P.M.R. Menezes, L., Córdoba, V.C., Lima-Filho, F.P. (2006). Fácies e Sistema Depositional da Formação Barreiras na Região da Barreira do Inferno, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. *Geol. USP, Sér. cient.* 6(2), 43-49.
- Assumpção, M. (1992). The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8), 11889-11903.
- Barbosa, J. A., Lima Filho. M. F. (2005). Os domínios da Bacia da Paraíba. *Anais III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*.
- Barbosa, M.E. F., Furrier, M. (2011). Análise de bacia hidrográfica como subsídio para detecção de neotectônica: estudo da bacia hidrográfica do rio Gurujá, litoral sul do estado da Paraíba. *Caderno de Geociências*, 8(1), 10-18.

- Bezerra, F.H.R. (1998). *Neotectonics in Northeastern Brazil*. Tese (Doutorado). Londres: University of London.
- Bezerra, F.H.R. (1999). Intraplate paleoseismicity in Northeastern Brazil.. *Anais do SBG*, 7(4), 12-16.
- Bezerra, F.H.R. (2000). Neotectonic movements in northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic-hazard assessment. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3), 562-564.
- Bezerra, F.H.R., Saadi, A., Moreira, J.A.M., Lins, F. A. P. L., Nogueira, A. M. B., Macedo, J. W. P., Lucena, L. F., Nazaré Jr, D. (1993). Estruturação neotectônica do litoral de Natal-RN, com base na correlação entre dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 4. Belo Horizonte: SBG-MG.
- Bezerra, F. H. R., Amaro, V. E., Vita-Finzi, C., Saadi, A. (2001). Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 61–75.
- Bezerra, F.H.R., Rossetti, D.F., Oliveira, R.G., Medeiros, W.E., Brito Neves, B.B., Balsamo, F., Nogueira, F.C.C, Dantas, E.L., Andrades Filho, C., Góes, A.M. (2014). Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. *Tectonophysics*, 614, 78–90.
- Bizzi, L.A.; Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (Eds.) (2003). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. 1.ed. Brasília: Editora UnB. DVD, color.
- Blenkinsop, T.G. (1986). Neotectonics. *Geol. Soc. London*, 143, 325-326.
- Brito Neves, B. B. (1975). *Regionalização geotectônica do Pré- cambriano nordestino*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.
- Brito Neves, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R. (2000). Tectonic history of the Borborema Province. In: Cordani, U. G. et al. *Tectonic evolution of the South America*, 151-182. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress.
- Campelo, R.C. (1999). *Análise de terrenos na porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil: integração de dados geológicos e gravimétricos*. Dissertação (Mestrado). Natal: Centro de Ciências Exatas e da Terra – UFRN.
- Carneiro, C.S., Lima, C. C. U. (2011). As juntas neotectônicas e suas associações com os movimentos de massas nas encostas da rodovia BA-099, no trecho (Praia Do Forte/Porto Sauípe). *Anais do XV Seminário de Iniciação Científica*, 965-968.
- Coelho, M.G.A. e Lima, C.C.U. (2006). Análise tectônica preliminar do Grupo Barreiras no litoral norte do estado de Sergipe. *Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 6, 1-7. Goiânia.
- Córdoba, V.C., Sá, E.F.J., Sousa, D.C., Antunes, A.F. (2007). Bacia de Pernambuco-Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 15(2), 391-403.
- Corrêa-Gomes L.C., Dominguez, J.M.L., Barbosa, J.S.F., Silva, I.C., Pinto, M.V. (2005). Relações entre Orógenos, Zonas de Cisalhamento, Quebra Continental e Deformação 3- D: A História Tectônica da Bacia Sedimentar de Almada, Bahia., *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4), 105-115.

- Corrêa-Gomes, L. C. (2004). *Neotectônica litorânea do SSE do estado da Bahia (inédito)*. Projeto “Neotectônica Litorânea do SSE do estado da Bahia”. Relatório Anual aprovado pelos CAs do CNPq.
- Corrêa-Gomes, L.C. (2003). *Projeto Neotectônica litorânea do SSE do Estado da Bahia*. Relatório Anual-Relatório Parcial 2002-2003 (inédito), processo 478248/01-6.
- Corrêa-Gomes, L.C., Ucha, J.M., Silva, I.C. (2012). Neotectônica. In: Barbosa, J.S.F. et al. (Eds) *Geologia da Bahia – Pesquisa e Atualização*, 1, 497-515. Salvador: Editora UFBA-CBPM.
- Delvaux, D., Moeys, R., Stapel, G., Petit, C., Levi, K., Miroshnichenko, A., Ruzhich, V., Sankov, V. (1997). Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia. Part II: Cenozoic rifting. *Tectonophysics*, 282, 1-38.
- Delvaux, D., Sperner, B. (2003). Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. *Geological Society*, Special Publications 212, 75-100.
- Demangeot, J. (1960). Essai sur le relief du nord-est Brésilien. *Annales de Géographie.*, 69(372), 157-176.
- Dresch J. I. (1957). Les problèmes morphologiques du Nord-Est brésilien. *Bulletin de de Association de géographes français*. 263-264(34), 48-59.
- Duyster J.P. (2000). *StereoNetTM. Version 2.45*. Disponível em: <http://homepage.ruhr-unibochum.de/Joannes.P.Duyster /stereo/stereo1.htm>. Acesso em Maio/2017.
- Fairhead, J. D., Wilson, M. (2005). Plate tectonic processes in the south atlantic ocean: Do we need deep mantle plumes? *Geological Society of America Special Papers*, 388, 537–553.
- Ferreira, R. V. (2008). *Mapeamento geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do rio Botafogo, PE, utilizando técnicas de geoprocessamento*. Tese (Doutorado). Recife: Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE.
- Fossen, H. (2012). *Geologia Estrutural*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Furrier, M. (2007). Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa – 1: 100.000. Tese (Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Furrier, M.; Araújo, M. E.; Meneses, L. F. (2006). Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. *Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient.*, 6(2), 61-70.
- Furrier, M., Nóbrega, W.R., Souza, A. S. (2015). Geomorfologia estrutural do gráben do Rio Mamanguape e adjacências – Estado da Paraíba, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, 5(1), 21-36.
- Galvão, L.B. (2018). *Neotectônica na Formação Barreiras, nordeste do estado da Bahia, Brasil*. Monografia (Trabalho Final de Graduação). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Galvão, L.B.; Corrêa-Gomes, L.C.C., Sacramento, L.C., Barbosa, R.J. (2015). Influência da herança estrutural do embasamento na nucleação de estruturas neotectônicas no Grupo Barreiras – nordeste do estado da Bahia, Brasil. *Anais do XV Simp. Nac. de Est. Tect. Vitória*.

- Gandini, R., Rossetti, D. D. F., Netto, R. G., Bezerra, F. H. R., Góes, A. M. (2014). Neotectonic Evolution of the Brazilian northeastern continental margin based on sedimentary facies and ichnology. *Quaternary Research*, 82(2), 462-472.
- Gomes M.P., Vital H., Bezerra F.H.R., Castro D.L., Macedo J.W.P. (2014). The interplay between structural inheritance and morphology in the Equatorial Continental Shelf of Brazil. *Marine Geology*, 355, 150-161.
- Hackspacher, P. C., Oliveira, D. C. (1984). A evolução estrutural das zonas de cisalhamento Portalegre e Santa Mônica (RN). *XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 4, 1679-1692. Rio de Janeiro: SBG.
- Hasui, Y. e Ponçano, W.L. (1978). Geossuturas e Sismicidade no Brasil. *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 1, 331-338. São Paulo: ABGE.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE. <<http://censo2010.ibge.gov.br>>
- Jardim de Sá, E. F. (2000). Fraturamento no embasamento cristalino do Nordeste do Brasil: Cronologia da deformação frágil, reativação neotectônica e implicações hidrogeológicas. *Anais I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas*.
- King, L. C. (1956). A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2), 3-121.
- Lima Filho, M.F. (1998). *Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências - USP.
- Lima Filho, M.F., Barbosa, J.A. Neumann, V.H., Souza, E.M. (2005). Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia do Paraíba. Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET, *Boletim de resumos expandidos*, 45-47.
- Lima, C. C. U. (2002). *Caracterização sedimentológica e aspectos neotectônicos do Grupo Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências, UFBA.
- Lima, C. C., Nascimento, E., Assumpção, M. (1997). Stress orientations in Brazilian sedimentary basins from breakout analysis – implications for force models in the South America plate. *Geophysical Journal International*, 130, 112-124.
- Lima, C.C.U. (2000). O Neotectonismo na Costa do Sudeste e do Nordeste do Brasileiro. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 15, 91-102.
- Lima, C.C.U. (2010). Evidências da Ação Tectônica nos Sedimentos da Formação Barreiras Presentes do Litoral de Sergipe ao Norte da Bahia. *Revista de Geografia*, v. especial, 140-151.
- Lima, C.C.U., Vilas Boas, G.S., Bezerra, F.H.R. (2006). Faciologia e análise tectônica preliminar da Formação Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia, Brasil. *Geologia-USP Série Científica*, 6(2), 71-80.
- Lima, M. G., Vasconcelos, P. M., Farley, K.; Jardim de Sa, E. F. (2008). Datação de Intemperismo Delimita a Idade da Formação Barreiras, Nordeste do Brasil. *44th Brazilian Geological Congress*. Curitiba.
- Lima, V. F., Lavor, L. F., Furrier, M. (2017). Estudo Neotectônico em Margem Continental do Tipo Passiva. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 21(1), 206-215

- Mabesoone, J. M., Campos A., Silva A.; Beurlen, K. (1972). Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Rev. Bras. de Geoc.*, 2, 173-188.
- Maia, R.P.; Bezerra, F.H.R. (2013). Tectônica Pós-Miocênica e controle estrutural de drenagem no rio Apodi-Mossoró, Nordeste do Brasil. *Boletim da geografia*, 31(2), 57-68.
- Marotta, G. S. F., França, G. S. Monico, J. F. G., Fuck, R. A. (2013). Strain rate of the South American lithospheric plate by SIRGAS-CON geodetic observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 47, 136-141.
- Marret. R., Allmendinger, R.W. (1990). Kinematic analysis of fault-slip data. *J. Struct. Geol.*, 12(8): 973-986.
- Matos, R.M.D. (1987). Expressão sísmica de prováveis falhas de transferência na Bacia Potiguar emersa e Gráben de Jacuána/CE. *Seminário de Geofísica*, 2, Nova Friburgo: Petrobras/Depex.
- Matos, R.M.D. (1992). *Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil*. Tese (Doutorado). USA: Cornell Univ.
- Matos, V.B.M. (2013). Neotectônica do Grupo Barreiras no Litoral dos Estados de Sergipe e Alagoas. 2013. Monografia (Trabalho Final de Graduação). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Menezes, M. R. F., Souza Filho, R. V., Barros, S. D. S. (1998). Discordâncias e inundações no Grupo Barreiras, litoral leste do Rio Grande do Norte. *XL Congresso Brasileiro de Geologia*, 75. Belo Horizonte: SBG.
- Miranda, F.M, Srivastava. (1984). Evidências de reativações tectônicas quaternárias na área de Macauzinho, estuário do rio Açu no litoral do Rio Grande do Norte. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 11, 157-164. Natal: SBG-NNE.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Artigo on-line: Gerenciamento Costeiro no Brasil. Disponível em <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro>.
- Morais Neto, J. M., Alkmim, F. F. (2001). A deformação das coberturas terciárias do Planalto da Borborema (PB-RN) e seu significado tectônico. *Rev. Bras. de Geoc.*, 31(1), 95-106.
- Moura-Lima, E. N., Sousa, M. O. L., Bezerra, F. H. R., Aquino, M. R., Vieira, M. M.; Lima-Filho, F. P., Fonseca, V. P., Amaral, R. F. (2010). Sedimentação e deformação Tectônica cenozóicas na porção central da Bacia Potiguar. *Geologia USP. Série Científica*, 10(1), 15-28.
- Nascimento, A.C. (2014). *Neotectônica do Grupo Barreiras no Litoral Sul do Estado da Bahia*. Monografia (Trabalho Final de Graduação). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Nieto-Samaniego, A.F. (1999). Stress, strain and fault patterns. *Journal of Structural Geology*, 21, 1065-1070.
- Nogueira, F.C.C., Bezerra, F.H.R., Castro, D.L. (2006). Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. *Geologia-USP Ser.Cient*, 6(2), 51-59.
- Nunes, F.C.; Silva, E. F. da; Boas, G. da S. V. *Grupo Barreiras: Características, Gênese e Evidências de Neotectonismo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Obruchev, V.A. (1948). Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektonik. *Akad. Nauk. Izv. Serv. Geol.*, 5, 13-24.

- Oliveira R. G. (2008). *Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil)*. Tese (Doutorado). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.
- Pedrosa Jr, N. C, Castro, D. L., Matos, J. P. L. (2010). Assinaturas magnéticas e gravimétricas do arcabouço estrutural da bacia Potiguar emersa, NE do Brasil. *Rev. Bras. Geof.* [online]. 28(2), 265-278.
- Ponte, F.C. (1969). Estudo Morfo-estrutural da Bacia Sergipe-Alagoas. *Boletim Técnico da Petrobras.*, 12(4), 439-474.
- Queiroz, G.L., Salamuni, E., Nascimento, E.R. do. (2014). AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. *Geol. USP, Sér. cient.*, 14(1), 6-80.
- Reis, A.F.C. (2012). *Orientação e magnitude de tensões na Bacia Potiguar: implicações para evolução de bacias em margens passivas*. Dissertação (Mestrado). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.
- Rowland, S. M., Duebendorfer, E. M., Schiefelbein, I. M. (2007). *Structural Analysis & Synthesis. A Laboratory Course in Structural Geology*. Maldon, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing.
- Saadi, A. (1993). Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*, 1(1), 1-15.
- Saadi, A. (1999). Neotectônica. In: *Projeto Porto Seguro – Santa Cruz de Cabralia: geologia*. 1(3), 40-55.
- Saadi, A., Bezerra, F.H.R., Costa, R.D., Igreja, H.L.S., Franzinelli, E. (2005). Neotectônica da Plataforma Brasileira. In: Souza C.R.G., Suguio, K., Oliveira A.M.S, Oliveira, P.E. (eds) *Quaternário do Brasil*, 211-230. Ribeirão Preto: Holos.
- Santos, E. J. dos, Nutman, A. P., Brito Neves, B. B.. (2004). Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. *Geol. USP, Sér. cient.*, 4(1), 1-12.
- Santos, M.F., Freitas G.A., Furrier, M. (2013). Análise morfométrica e indícios de ação neotectônica na área correspondente à folha Pitimbu, litoral sul da Paraíba, Nordeste do Brasil. *Caderno de Geociências*, 10(2), 139-149.
- Silva, I.C. (2007). *Utilização de dados aeromagnéticos para estudo de Estruturas do Grupo Barreiras e Embasamento Cristalino, entre os municípios de Nova Viçosa e Itamaraju, Extremo Sul do estado da Bahia, Brasil*. Monografia (Trabalho Final de Graduação). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Siqueira, J. B. (2005). A Falha de Carnaubais e o controle estrutural do campo Alto do Rodrigues/RN. X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 87-89. Curitiba: SBG.
- Sousa, D. C. (2002). *Litoestratigrafia e deformação cenozoica na região de Icapuí, Ceará, e implicações para a Estruturação de Campos de Petróleo na Borda Ocidental da Bacia Potiguar (NE do Brasil)*. Tese (Doutorado). Natal: Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
- Sousa, D. C., Jardim de Sá, E. F., Vitall, H., Matos, R. M. D., Silva, F. C. A. (2001). Estratigrafia e deformação cenozóica na região de Icapuí (CE): Implicações tectônicas para a migração e acumulação de hidrocarbonetos na Bacia Potiguar. 1º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 25. Natal: UFRN – SBQ Regional RN.

Trifonov, V.G. (1989). An overview of neotectonics studies. *International Geology Review*, 31, 111-161.

Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Hackspacher, P., Babinski, M. (1995). U/Pb and Sm/Nd geochronological studies of eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3-4), 267-288.

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES

- a) O relevo da área de estudo tem sua morfologia controlada pelo arcabouço estrutural do substrato, considerando a relação de paralelismo entre os lineamentos geomorfológico, os lineamentos geofísicos e as estruturas mapeadas em campo;
- b) Os lineamentos geomorfológicos e geofísicos de maior expressividade do embasamento cristalino (040°-070°) estão possivelmente relacionados às foliações metamórficas de trend similar;
- c) A trama estrutural rúptil das bacias sedimentares marginais, da Formação Barreiras e das Coberturas quaternárias, foi herdada da orientação principal de foliação do embasamento da Província Borborema, e isso é constatável tanto em macroescala (lineamentos regionais), quanto em mesoescala (dados estruturais de campo);
- d) A Formação Barreiras apresenta falhas normais em arranjo geométrico ortorrômbico (NW-SE e NE-SW), e são produto do regime de tensão extensional radial gerado por tensores intermediário e mínimo com magnitudes relativas similares, que alternaram espacialmente;
- e) O padrão normal ortorrômbico funcionou como falhas limítrofes que controlaram a deposição da Formação Barreiras, condicionando a ocorrência da FB no continente (Bacia Barreiras?), e esteve ativo nos estágios pré e sin sedimentação da Formação Barreiras;
- f) Houve uma fase de deformação transcorrente na FB que atuou, ora reativando as falhas normais do padrão ortorrômbico, ora gerando pares conjugados;
- g) A fase de deformação transcorrente ocorreu em dois pulsos subsequentes (ou contemporâneos?), sendo o primeiro pulso com σ_1 : N183°/22°, σ_2 : N323°/63° e σ_3 : 087°/16°, nucleando falhas NW-SE dextrais e NE-SW sinistrais, e o segundo pulso com σ_1 : N070°/10°, σ_2 : N307°/72° e σ_3 : N163°/15° nucleando falhas NW-SE sinistrais e NE-SW dextrais.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA

GEOLOGIA USP SÉRIE CIENTÍFICA

Diretrizes para Autores

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo **somente do autor principal** (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e **telefone para contato** - *pode ser o endereço da Universidade*), **e-mail de todos os autores**; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, **devem ser concisos, com no máximo 270 palavras**. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – **máximo seis**, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. **O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo: texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas.** (Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos).

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

5. TÍTULOS

a) Título do artigo:

Título principal – **Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.**

Título em inglês – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:

NÍVEL 1 – **NEGRITO, CAIXA ALTA.**

Nível 2 – **Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas**

demais.

Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer às medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda.

a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. **Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.** As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica.

A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.

EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS:

a) Livro com um autor

Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow: Longman.

b) Livro com dois autores

Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling. Simulation of low and advective transport*. San Diego: Academic Press.

c) Livro com três ou mais autores

Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). *A geologic time scale* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

d) Capítulo de livro

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), *The ocean basin and margins*, 1, 411-446. New York: Plenum.

(Exemplo de Publicação seriada)

L. Harris, N. , Pearce, J. , Tindle, A. (1986). Geochemical collision-zone magmatism. In: Coward M. P., Ries A. C. (ed.) *Collision tectonics*. 67-81. London: Geological Society. (Geological Society Special Publication, 19).

e) Artigo de periódico

Caffe, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoe, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Science*, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 582-596. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/ CBPM.

h) Teses e Dissertações

Petta, A. R. (1995). *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/ Caicó (RN-Brasil)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

Pressi, L. F. (2012). *Evolução magmática do Plúton Piracaia (SP): parâmetros físico-químicos e evidências de mistura entre magmas monzodioríticos e sieníticos*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). *Tectonics: Recent Advances*. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>.

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatum, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana: SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf>.

j) Com numeração DOI

Livro

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*.

<https://doi.org/10.7476/9788579830020>.

Artigo de periódico

Evandro, L., Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gilvana, L. Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U–Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-221, 192-216.

<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.08.007>.