

ANÁLISE TECTÔNICA DA PORÇÃO NORDESTE DA FAIXA SERGIPANA, PROVÍNCIA BORBOREMA: DUPLA VERGÊNCIA EM RESPOSTA A COLISÃO OBLÍQUA ENTRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E O TERRENO PERNAMBUCO-ALAGOAS

Haroldo Monteiro Lima¹, Márcio Martins Pimentel¹,
Lauro Cezar Montefalco de Lira Santos², Vanildo Almeida Mendes³

1- Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, CEP 70919-970, Brasília, DF, Brasil. e-mail: haroldomlima@gmail.com;

2- Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Bodocongó, CEP 58109-970 Campina Grande, PB, Brasil. e-mail: lauromontefalco@gmail.com;

3- Serviço Geológico do Brasil, CPRM-SUREG, Avenida Sul, 2291, CEP 50770-011, Recife, PE, Brasil. e-mail: vanildo.mendes@cprm.gov.br.

Recebido em 10 de junho de 2017; aceito em 13 de agosto de 2017

Resumo: Estruturas de dupla vergência são reconhecidas em cinturões orogênicos pré-cambrianos e fanerozoicos em resposta à partição da deformação entre componentes contracionais e transcorrentes em zonas transpressionais. A Faixa Sergipana é um importante segmento crustal localizado no sul da Província Borborema, NE do Brasil. Análise cinemática e geométrica em escala meso e microscópica realizadas na porção Nordeste da Faixa Sergipana revelou a existência de quatro fases deformacionais: Dn, D1, D2 e D3 que resultaram em inversão de transporte tectônico e imbricamento de complexos metavulcanossedimentares abundantes na região. O Domo Jirau do Ponciano representa o embasamento gnáissico migmatítico que preserva a trama mais antiga Dn. As fases posteriores (D1 e D2) representam tectônica contracional manifestada pelas zonas de cisalhamento de Jacaré dos Homens, Belo Monte-Jeremoabo e Palmeira dos Índios, e transcorrente/transpressional, respectivamente. Todo esse conjunto foi deformado por último por um episódio rúptil-dúctil (D3) responsável pela formação de fraturas, falhas e brechas de falhas. A combinação de dados estruturais e análise litoestratigráfica sugere que este arcabouço deve ter se desenvolvido em episódios contracionais distintos e retrabalhado durante o final do Neoproterozoico em resposta à colisão oblíqua entre o Terreno Pernambuco-Alagoas e o Cráton do São Francisco.

Palavras Chave: Cinturões orogênicos, dupla vergência, Faixa Sergipana

Abstract: TECTONIC ANALYSIS OF THE NORTHEAST SERGIPANA BELT, BORBOREMA PROVINCE: DOUBLE VERGENCE IN RESPONSE TO OBLIQUE COLLISION BETWEEN THE SÃO FRANCISCO CRATON AND PERNAMBUCO-ALAGOAS TERRANE. Double-vergent structures are recognized in Precambrian and Phanerozoic orogenic belts due strain partitioning in thrust and transcurrent components in transpressional sites. The Sergipano Fold Belt is an important crustal segment, located in the southern Borborema Province, NE Brazil. Meso and microscopic kinematic and geometric analysis in the northeastern portion of the Sergipano Fold Belt revealed the presence of four deformation stages (Dn, D1, D2 e D3). They resulted in inversion of tectonic vergence and imbrication of the metavolcanosedimentary sequences. The Jirau do Ponciano Dome represents the gneissic-migmatitic basement, preserving the older fabric. The later stages (D1 and D2), corresponds to thrust tectonics, represented by the Jacaré dos Homens, Belo Monte-Jeremoabo and Palmeira dos Índios shear zones and the transcurrent/transpressional stage, respectively. All this set is later affected by a ductile-brittle phase (D3), responsible for fractures, faults and formation of breccias. The integration of the obtained data suggest that the area framework was developed in distinct contractional episodes and reworked in the Late Neoproterozoic, in response to oblique collision between the Pernambuco-Alagoas terrane/block and the São Francisco Craton.

Keywords: Orogenic belts, double vergence, Sergipana belt

1. INTRODUÇÃO

Estruturas de dupla vergência em faixas de dobramento tem incitado trabalhos empíricos e experimentais com objetivo de compreender sua origem tectônica, que é ainda considerada controversa. A combinação de modelos matemáticos de laboratório associados a evidências de campo, especialmente em cinturões orogênicos Fanerozoicos, tem buscado interpretar a arquitetura e cinemática de zonas de empurrão com estruturas deste tipo (Molnar & Tapponnier, 1977).

Geralmente, o desenvolvimento de zonas de cisalhamento relacionadas a este cenário possui forte componente de encurtamento, sendo associado a eventos de colisão continental (Davy &

Cobbold, 1988; Willet *et al.*, 1993; McClay *et al.*, 2004; McClay & Whitehouse, 2004). Na região que abrange o município de Batalha, estado de Alagoas (NE da Faixa Sergipana da Província Borborema), ocorrem estruturas com cinemática complexa, envolvendo escamas de empurrão, zonas transpressionais e estruturas transcorrentes.

Tal estruturação é ainda pouco compreendida do ponto de vista tectônico. Apesar da escassez de boas exposições, o entendimento da origem de tais estruturas é particularmente importante, uma vez que estão associadas ao limite entre a Faixa Sergipana (FS) e o Terreno Pernambuco Alagoas (PEAL). Correlações litológicas, estruturais e isotópicas sugerem que a Faixa Sergipana apresenta continuidade pela Faixa Yaoundé, Camarões, África (Oliveira *et al.*, 2006). Esta faixa é interpretada

como resultado de esforços concebidos por sistema de empurrões de vergência para sul e retroempurrões para norte, reflexo da convergência entre a Província Borborema (PB), a norte, e o Cráton do São Francisco, a sul, durante o evento Brasileiro/Pan-Africano (Brito Neves *et al.*, 1977a; Davison, 1987). O objetivo deste trabalho é a partir da integração de fotografias aéreas e imagens de satélite com análise meso a microscópica das principais estruturas da região, construir a sequência de eventos deformacionais que atuaram na região, especialmente propondo um modelo para geração dos empurrões caracterizados por dupla vergência e seu significado para a evolução tectônica da FS.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA PORÇÃO NORDESTE DA FAIXA SERGIPANA

A Província Borborema apresenta compartimentação estrutural desenvolvida pelo evento orogênico Brasileiro/Pan-Africano (650-530 Ma) responsável pela acreção e amalgamação de blocos crustais durante o Neoproterozoico no Nordeste do Brasil (Almeida *et al.*, 1981; Santos & Medeiros, 1999; Fetter *et al.*, 2000; Brito Neves *et al.*, 2000; 2014). Ela pode ser dividida em cinco subprovíncias tectônicas: Médio-Coreaú, Ceará Central, Rio Grande do Norte, Transversal e Meridional (Van Schmus *et al.*, 1995, 2008, 2011 Fig 1a). A Subprovíncia Meridional é constituída pelos terrenos Pernambuco-Alagoas, Riacho do Pontal e Faixa Sergipana, sendo a área de trabalho inserida na porção NE desta última (Fig 1b). A Faixa Sergipana é limitada por zonas de cisalhamento de empurrão com vergência variável entre o Cráton do São Francisco e o Terreno Pernambuco-Alagoas (Brito Neves *et al.*, 1977b; Davison, 1987, D'el-Rey Silva, 1999).

Nas adjacências do município de Batalha, o limite desta faixa com o Terreno Pernambuco-Alagoas não é claro, principalmente em função da transposição e interferência de diversas estruturas mais jovens. Regionalmente, a FS pode ser dividida em cinco domínios litoestruturais separados por extensas zonas de cisalhamento tangenciais: Domínio Canindé, Poço Redondo-Marancó, Macururé, Vaza Barris e Estância (Davison & Santos, 1989; Carvalho, 2005; Oliveira *et al.*, 2010). Tais domínios compõem sequências que variam entre rochas metassedimentares a metavulcânicas, poliderformadas, com ampla exposição de intrusões graníticas sin a pós-colisionais neoproterozoicas (Oliveira *et al.*, 2014). O grau metamórfico na FS apresenta variações com diminuição para o sul, até o Cráton do São Francisco. Por exemplo, nas rochas metassedimentares dos domínios Estância e Vaza-Barris, o grau metamórfico é menor, variando de anquimetamorfismo a fácies xisto verde, conservando estruturas do protólito. As sequências

metavulcanossedimentares posicionadas mais ao norte como as dos domínios Macururé, Poço Redondo-Marancó e Canindé, mostram grau metamórfico mais elevado chegando a fácies anfíbolito.

Neste trabalho, consideramos a área de estudo como prolongamento do Domínio Macururé a norte, como descrevem Oliveira *et al.* (2010). Entretanto, outros autores baseados em trabalhos de campo definem essa região como Domínio Rio Coruripe ou Sul-Alagoas (D'el-Rey Silva, 1999; Silva Filho & Torres, 2002). O Domínio Macururé é composto por rochas metavulcanossedimentares representadas por micaxistos, metagrauvas, gnaisses e migmatitos, lentes de anfíbolitos, rochas metaultramáficas, quartzitos, mármore e significativas intrusões graníticas (Bueno *et al.*, 2008). Na área de estudo ocorrem os Complexos Araticum, Arapiraca, Nicolau-Campo Grande, Domo Jirau do Ponciano, Grupo Macururé e intrusões graníticas neoproterozoicas do Batólito Águas Belas-Canindé, PEAL. O Complexo Araticum é definido por rochas metavulcanossedimentares associadas a lentes de mármore, quartzitos, rochas calcissilicáticas, anfíbolitos e sheets de leucogranitos.

O Complexo Arapiraca é formado por micaxistos, paragnaisses, lentes de anfíbolitos, quartzitos e intrusões máficas-ultramáficas mineralizadas em Fe, e diferencia-se do Araticum pela ausência de lentes de mármore. Xistos dos complexos supracitados apresentam paragênese típica de fácies anfíbolito composta por hornblenda, biotita, plagioclásio, granada e sillimanita. O Complexo Nicolau-Campo Grande é uma sequência metavulcanossedimentar composta por hornblenda paragnaisses e biotita-clorita xistos associados a rochas vulcânicas ácidas, intermediárias e máficas que bordejam o núcleo Jirau do Ponciano. O grupo Macururé é constituído por rochas metapelíticas com estratificação rítmica interpretadas como turbiditos de natureza flyschóide (Mendes *et al.*, 2009).

Na área de estudo ocorrem quartzitos (Formação Santa Cruz) com contatos discordantes em relação ao Domo Jirau do Ponciano (DJP), sendo considerados a base do Domínio Macururé. O Domo Jirau do Ponciano tem forma de anticlinal e compreende ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, migmatizados em estruturas agmatíticas representando o basement inlier da FS, juntamente com os Domo Simão Dias e Itabaiana. Na porção norte da área ocorrem as intrusões plutônicas ediacaranas do Terreno Pernambuco-Alagoas constituído por monzogranitos, sienogranitos e sienitos, subdiomórficos, inequigranulares a porfiríticos, representantes do batólito Águas Belas-Canindé, descritos como remanescentes de um arco continental Ediacarano (Silva Filho *et al.*, 2016).

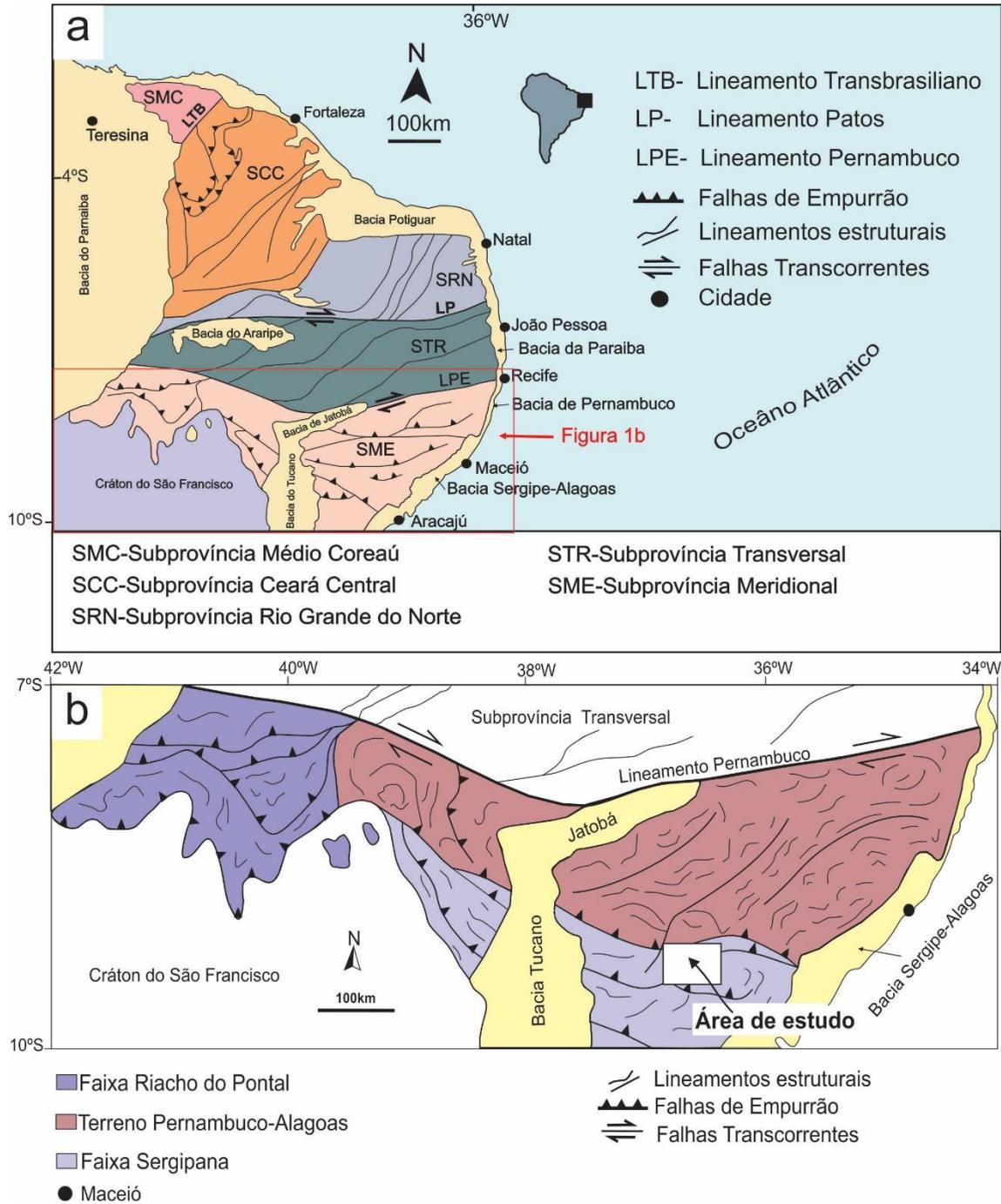


Figura 1. a) Província Borborema exibindo principais subprovíncias com destaque para a área de estudo na Subprovíncia Meridional. **b)** Subprovíncia Meridional com localização da área de estudo entre o Terreno Pernambuco-Alagoas e Faixa Sergipana (Modificado de Van Schmus et al., 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Mapeamento geológico-estrutural de detalhe foi realizado para caracterização de unidades litoestratigráficas e definição das principais zonas de cisalhamento transcorrentes e contracionais da região, bem como na tentativa de definir a trama principal do embasamento Jirau do Ponciano. Foram

combinadas imagens de satélite LANDSAT 8 ETM+, multiespectral e resolução espacial de 30 metros (banda 1-7 e 9) usando técnica de fusão de imagens (Fonseca, 2000), imagem de radar SRTM disponível no site <http://seamless.usgs.gov>, e mapas aeromagnéticos para traçar as principais feições estruturais (Fig. 2a, b,c).

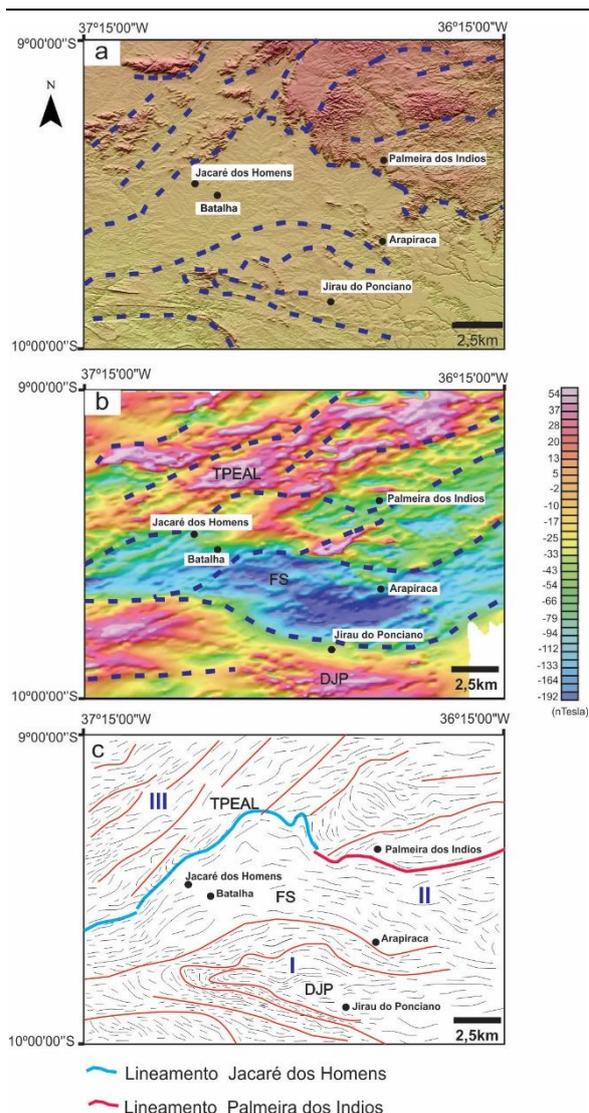


Figura 2. a) Imagem SRTM e **b)** mapa aeromagnético de campo total exibindo principais lineamentos estruturais com destaque para os lineamentos Jacaré dos Homens e Palmeira dos Índios. **c)** Lineamentos estruturais extraídos de fotografia aérea, mapa aeromagnético e imagem SRTM com localização dos domínios estruturais.

4. EVOLUÇÃO TECTÔNICA

Os principais elementos estruturais da área são materializados em zonas de cisalhamento, identificáveis nas imagens de satélite. A geometria e cinemática destas foram definidas com base em elementos planares e lineares, permitindo a definição de domínios estruturais (Fig.3). Os dados estruturais obtidos implicam em quatro eventos deformacionais associados aos três domínios estruturais mapeados, sendo sintetizados na Tabela 1.

Domínio Estrutural I - compreende uma megaestrutura anticlinal invertida conhecida como Domo Jirau do Ponciano (DJP), representando embasamento Paleoproterozoico da Faixa Sergipana

(D'el-Rey Silva, 1999; Oliveira *et al.*, 2010).

O embasamento forma uma estrutura dômica composta por ortognaisses granodioríticos a tonalíticos migmatizados associados a rochas metavulcanossedimentares do Complexo Nicolau-Campo Grande com caimento de eixo para WNW e superfície axial mergulhando predominantemente para sul.

Associada a este núcleo mais antigo predomina a trama Dn, que é essencialmente dúctil e caracteriza-se por foliação penetrativa Sn impressa em ortognaisses granodioríticos a tonalíticos paleoproterozoicos da porção interna da anticlinal invertida de Jirau do Ponciano (Fig.4a). Tal foliação é paralela ao bandamento composicional Sn-1. Zonas de cisalhamento de baixo a alto ângulo com movimento sinistral de direção geral WNW, dobras anisopacas de estruturas complexas às vezes associadas a mobilizados migmatíticos e lineação de estiramento de baixa obliquidade são identificadas.

Dobras intrafoliais Fn são estruturas reliquias presentes às vezes com padrão ptigmático. O Domo Jirau do Ponciano é uma dobra anticlinal com plano axial mergulhando para sul e leve inflexão para SW (Fig.3). Critérios cinemáticos podem ser observados neste domínio por meio de peixes de micas, estruturas S-C em bandas de cisalhamento e porfiroclastos de feldspato e quartzo assimétrico do tipo δ .

Domínio Estrutural II - as sequências metavulcanossedimentares do Domínio Macururé da Faixa Sergipana definem o Domínio Estrutural II. As feições mais marcantes são zonas de cisalhamento de médio a baixo ângulo de direção geral NE-SW e E-W representadas pelas zonas de cisalhamento Jacaré dos Homens (ZCJH), Palmeira dos Índios (ZCPI) e Belo Monte-Jeremoabo (ZCBMJ). Estas estruturas marcam a fase D1 que é superposta a fase Dn nos ortognaisses e relaciona-se ao desenvolvimento de trama planar de baixo ângulo S1 nas rochas supracrustais (Fig. 4b). As zonas de cisalhamento mencionadas definem tectonitos planares que delimitam a sequência metavulcanossedimentar Araticum composta por micaxistos, gnaisses, lentes de mármore, metamargas, quartzitos e anfibolitos com transporte geral para SSE. A leste da área destaca-se a ZCPI com transporte entre N e NNW.

As ZCJH e ZCPI são lateralmente contínuas e mostram transportes divergentes. Lineações de alta obliquidade Lx1 e foliação de baixo ângulo S1 são

predominantes (Fig. 4c), porém, algumas lineações de baixa obliquidade Lx2 e foliações oblíquas S2 estão associadas. No plano XZ do elipsoide, porfiroclastos de feldspatos com caudas assimétricas rotacionados tipo σ e δ (Fig.3a) e critérios cinemáticos do tipo S-C indicam movimento sinistral nos empurrões. Nas ZCJH e ZCBMJ os planos de foliações mergulham 10-30° para NNW e na ZCPI mergulham 8-20° para SSE. As lentes de mármore, anfibolitos e rochas calcissilicáticas apresentam uma direção geral NE-SW e foram acomodadas por movimento transcorrente da fase D2.

A foliação Sn (Fig.4a) foi dobrada pela fase D1 e dobramentos isoclinais e recumbentes fechados F1 são característicos (Fig. 4d). Ainda associada a este domínio, a tectônica D1 é transposta e dobrada por D2. Esta apresenta caráter dúctil e caracteriza-se por

movimentos transcorrentes sinistrais que reativam a tectônica tangencial e provocam movimentos transpressivos. A megainflexão e inversão da ZCJH pode estar relacionada à fase D2. Esta fase caracteriza-se pela presença de dobras abertas isoclinais F2 (Fig.4e) com eixos NNE, dobras de arrasto e formação de clivagem de crenulação em xistos. Padrões de superposição de dobras F1 e F2 foram observados (Fig. 4d). A foliação milonítica é definida pelo estiramento de minerais como quartzo, biotita e feldspato. A trama D2 caracteriza-se por foliação de alto ângulo S2 (Fig. 4f) e lineação de estiramento oblíqua Lx2 em regiões transpressionais com rejeitos sinistrais de direção geral NE-SW. Estruturas como boudins rotacionados e pinch and swell (Fig.3b), peixes de micas, sigmoides associados à lineação oblíqua e dobras assimétricas foram observadas.

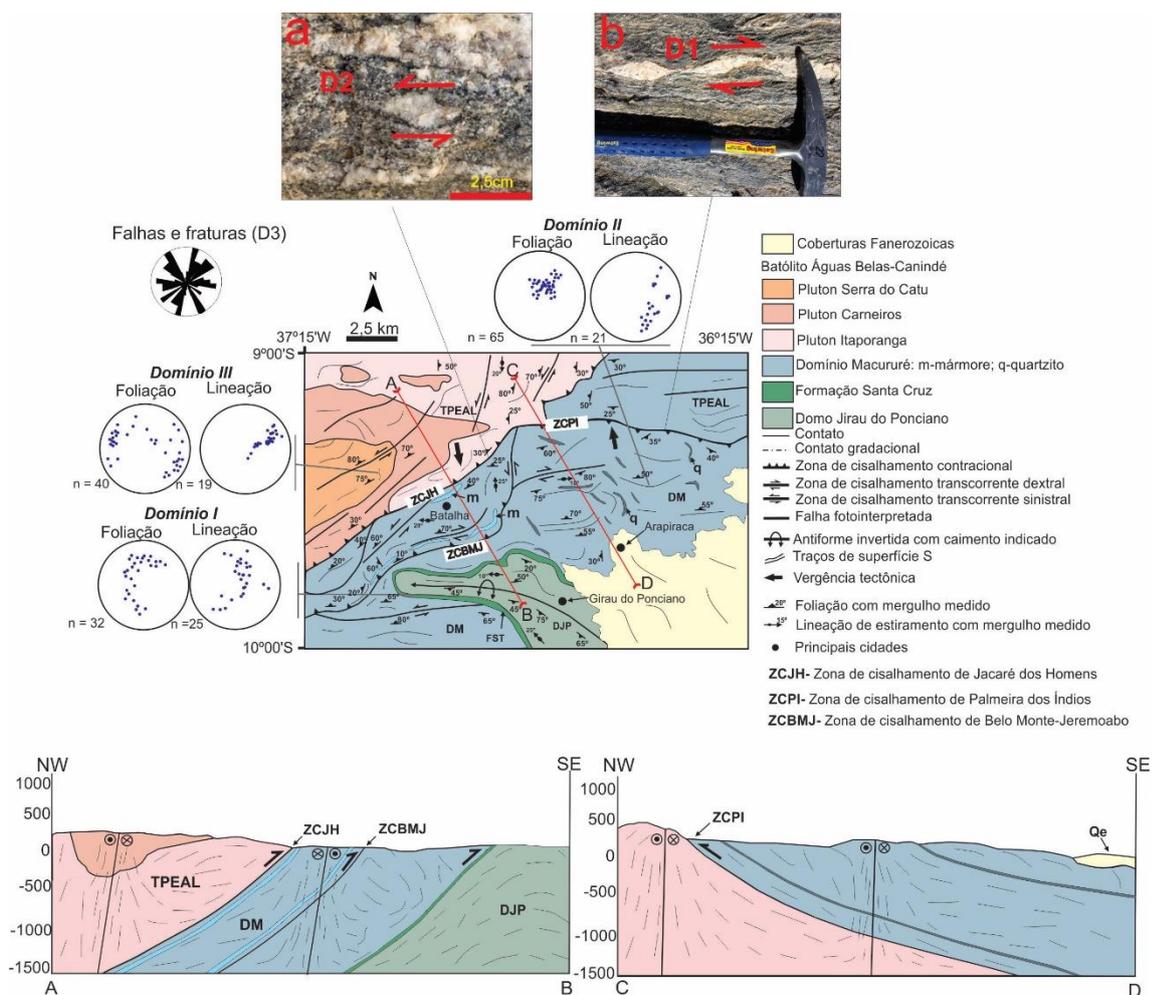


Figura 3. Mapa geológico e da compartimentação estrutural da área de estudo e perfil geológico. **a)** porfiroclasto tipo σ com movimento sinistral da ZCJH. **b)** Boudins assimétricos exibindo cinemática dextral na ZCPI. Este mapa é a integração da imagem SRTM, LANDSAT 8 ETM+ e o mapa geológico da Folha SC.24-X-D Arapiraca-CPRM (Mendes et al., 2009).

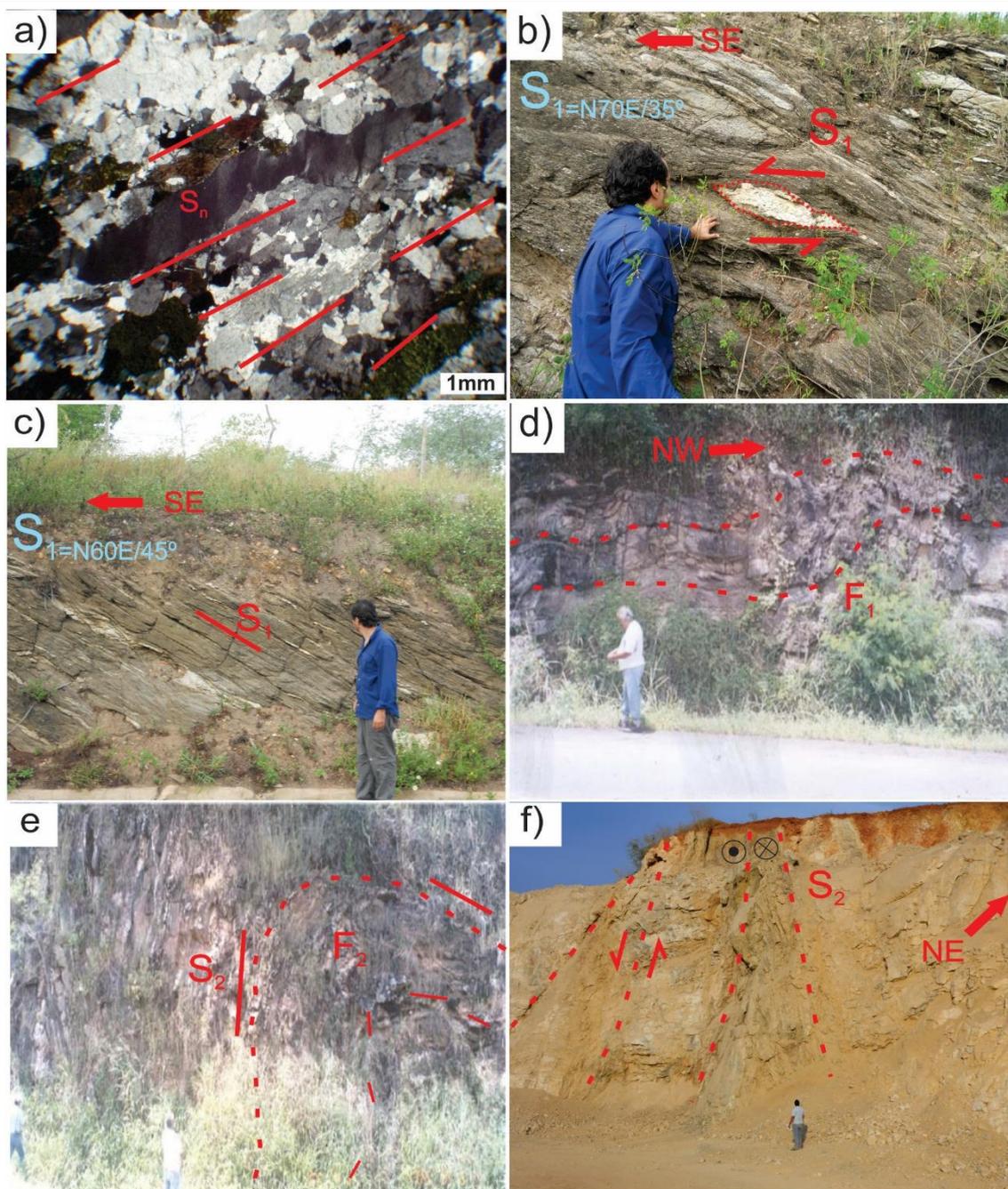


Figura 4. Feições de campo e petrográficas. **a)** Foliação metamórfica impressa em ortogneisse do embasamento Jirau do Ponciano. **b)** muscovita-biotita xisto da ZCJH com baixo ângulo exibindo boudin assimétrico. **c)** Muscovita-biotita xisto do complexo Araticum evidenciando tectônica contracional. **d)** Dobra recumbente com fechamento a esquerda SE em paragneisse do Complexo Arapiraca na ZCPI. **e)** Dobra aberta variando a recumbente a direita em paragneisse do complexo Arapiraca e transporte tectônico para NE. **f)** Zona de cisalhamento de alto ângulo em metamargas do Complexo Araticum.

Boudins estão associados a flancos das grandes dobras que exibem em algumas regiões dobras parasíticas do tipo S e Z.

Domínio Estrutural III - abrange a porção NNW da área de estudo e caracteriza-se por intrusões graníticas neoproterozoicas do Batólito Águas Belas-Canindé, que apresentam bandas de cisalhamento de direção geral NE-SW infletidas para N-S. Seu elemento planar de maior expressão é a foliação milonítica de médio a baixo ângulo mergulhando

para NNW e estruturas isotrópicas deformadas nos contatos dos ortogneisses com as rochas metassedimentares.

Essas rochas apresentam estruturas isotrópicas a deformadas e localmente ocorrem milonitizadas formando ortogneisses nos contatos com as rochas metassedimentares, que exibem foliação de baixo ângulo.

Por fim, a Fase D3 está marcada por estruturas dúcteis-rúpteis a rúpteis caracterizadas por fraturas

de extensão, par conjugado, plano de falha S3 com estrias de atrito, cataclase e raras brechas tectônicas provavelmente posteriores ao evento D2. Tal deformação é encontrada ao longo de toda a área (Fig.4).

A geometria e cinemática do arcabouço estrutural sugerem que o esforço durante o encurtamento crustal teria sido fortemente particionado por movimentos transpressionais e formações de empurrões e retro-empurrões representados pelas ZCJH e ZCPI.

Tabela 1. : Síntese da evolução estrutural da porção NNE do Domínio Macururé, Faixa Sergipana.

Evento	Regime Tectônico	Estruturas	Descrição das estruturas
D _n	Estruturas pretéritas	S _n	Foliação metamórfica desenvolvida em ortognaisse do DJP e paralela ao bandamento S _{n-1} .
		F _n	Dobras intrafoliais.
D ₁	Contracional	S ₁	Tectonito-S ₁ de baixo ângulo mergulhando para NNW em ZCJH e ZCBMJ e SSE em ZCPI.
		F ₁	Dobras isoclinais e recumbentes fechadas.
		L _{x1}	Tectonito-L (lineação de estiramento) sugerindo transporte para SSE na ZCJH e ZCBMJ e transporte NNW em ZCPI.
D ₂	Transpressional	S ₂	Tectonito-S ₂ de alto ângulo em milonitos e ultramilonitos com direção geral NE-SW.
		F ₂	Dobras abertas isoclinais com eixos NNE.
		L _{x2}	Tectonito-L (lineação de estiramento) oblíquo.
D ₃	Dúctil-rúptil a rúptil	S ₃	Planos de falhas conjugadas e fraturas de extensão.

Abreviações:

ZCJH - Zona de cisalhamento Jacaré dos Homens; ZCPI - Zona de cisalhamento Palmeira dos Índios; ZCBMJ - Zona de cisalhamento Belo Monte-Jeremoabo; DJP-Domo Jirau do Ponciano

5. DISCUSSÃO

Casos de colisão oblíqua são registrados em diversas margens continentais modernas e dados de campo e experimentais em orógenos antigos sugerem que tais processos foram também bastante atuantes no Pré-Cambriano, especialmente na transição Meso-Neoproterozoico (Wilcox *et al.*, 1973; Koons 1990; Gueguen *et al.*, 1998; Tohver *et al.* 2004). Nestes cenários, a combinação de encurtamento crustal e transcorrência resulta no desenvolvimento de estruturas transpressivas, que marcam a vergência preferencial da convergência (Silvester & Smith, 1976; Dooley & McClay, 1997). Por outro lado, em orógenos complexos marcados

por múltiplos episódios de deformação, é comum que ocorra mais de uma direção de vergência nas chamadas mega faixas móveis, a exemplo dos Pirineus, Alpes e Apalaches (Doglioni, 1991; Dal Piaz, 1997; Sibuet *et al.*, 2004). Estrutura em flor positiva é uma característica expressiva de áreas transpressivas, juntamente com lineações oblíquas em zonas de cisalhamento profundas (Woodcock & Fischer, 1986).

Na área de estudo, a análise estrutural conduzida neste trabalho mapeou um importante sistema de empurrão assimétrico de alguns quilômetros de espessura e 50 km de extensão delimitando as rochas metavulcanossedimentares dos complexos Araticum e Arapiraca, Grupo Macururé, Domo Jirau do Ponciano (trama mais antiga D_n) e intrusões graníticas do Terreno Pernambuco-Alagoas. As zonas de cisalhamento estudadas exibem vergência tectônica para SE com destaque para ZCJH (fase D1). Na porção leste, a ZCJH muda de vergência e associa-se com sistema de falhas transcorrentes (fase D2) definindo a zona de cisalhamento transpressional de Palmeira dos Índios (ZCPI) com transporte para NW. A inversão no sentido do mergulho associado a zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais oblíquas caracteriza a dupla vergência nas zonas de cisalhamento ZCJH e ZCPI. Essas zonas de cisalhamento apresentam lineações oblíquas L_{x2} com componentes horizontais e verticais em Tectonitos-S que sugerem movimento transpressional, típico de ambiente de dupla vergência (McClay *et al.*, 2004). Aliado a isto, critérios cinemáticos como estruturas S-C/C', porfiroclastos assimétricos, gerações de dobras F1/F2, boudins e peixes de micas registram o sentido oposto de transporte dessas zonas de cisalhamentos. Essa ocorrência na porção Nordeste da Faixa Sergipana respalda o modelo colisional entre o Cráton do São Francisco e a Província Borborema defendido pela maioria dos autores (D'el-Rey Silva, 1999; Silva Filho e Torres, 2002; Oliveira *et al.*, 2010). Registro de dupla vergência na Faixa Sergipana associada à presença de granitos de arcos magmáticos ediacaranos é importante, pois colisões no final do Neoproterozoico atestam processos de acreção e subducção que atuaram na Província Borborema como sugerem Brito Neves *et al.* (1995; 2000); Santos *et al.*, (2010); Brito Neves *et al.* (2014) e referencias ali contidas.

Na região oriental do Brasil, registros de dupla vergência em zonas de cisalhamento dúcteis foram documentados nas faixas adjacentes do Cráton do São Francisco, incluindo Riacho do Pontal, Brasília, Rio Preto, Ribeira e Araçuaí demonstrando a

importância de processos de colisões oblíquas na construção crustal de parte do orógeno Brasileiro/Pan-Africano (Alkmim *et al.*, 2007; Caxito & Uhlein 2013; Uhlein *et al.*, 2004; 2011; Caxito *et al.*, 2014).

Registros de empurrões oblíquos são analogamente descritos nas margens do Cráton do Congo, indicando que este processo ocorreu em uma extensão consideravelmente ampla (Trompette, 1994; Toteu *et al.*, 2004; Ngako *et al.*, 2008). Trabalhos de modelagem experimental têm contribuído para entendimento da nucleação de retro-empurrões durante a colisão oblíqua (Davis & Reynolds 1996; Persson, 2001, McClay & Whitehouse, 2004 e outros). Modelamentos 2 e 3D buscando explicar a geração de dupla vergência mostram que a variação do ângulo de convergência entre 90° e 15° nos blocos reflete na nucleação de retro-empurrões e desenvolvimento de orógenos assimétricos com dupla vergência (Persson, 2001; McClay *et al.*, 2004; McClay & Whitehouse, 2004). Outros autores consideram o decollement e fricção basal como parâmetros para explicar o desenvolvimento dessas estruturas (Hardy *et al.*, 2009).

Em cinturões orogênicos modernos, é sugerido ainda que sistemáticos processos de encurtamento crustal seguidos de convergência oblíqua podem resultar numa acomodação de esforços gerando inversão de vergência e nucleação de retro-empurrões (Davy & Cobbold, 1988). Apesar dos vários modelos, é consenso entre os autores que a ocorrência de dupla vergência em faixas de dobramentos pode ser explicada pela colisão oblíqua entre blocos com partição da deformação entre a colisão frontal e movimentos transcorrentes (Fitch, 1972; McCaffrey, 1996; Willet, 1999; Storti *et al.*, 2001; McClay *et al.*, 2004; McClay & Whitehouse, 2004). A convergência oblíqua pode gerar mega-inflexões no orógeno e maiores exposições podem ser observadas nas regiões a SE da Ásia e SW do Pacífico (McCaffrey, 1996 e referências ali contidas). O estudo de dupla vergência é importante para entendimento da evolução tectônica do orógeno durante o processo polifásico de contração/transpressão e quando associados a bacias foreland podem servir como armadilhas estruturais para hidrocarbonetos (Beydoun, 1988; Alivi, 1994; Casero, 2004 e outros).

Diante do exposto, consideramos que o encurtamento frontal seguido de colisão oblíqua entre o Cráton do São Francisco e a Província Borborema no evento Brasileiro/Pan-Africano

distribuiu esforços gerando um ambiente com deformação polifásica representado por fases de compressão/transpressão, inflexões e inversão de vergência na região Nordeste da Faixa Sergipana.

6. CONCLUSÕES

A presente investigação cobriu a porção Nordeste da Faixa Sergipana, no limite com o Terreno Pernambuco-Alagoas, e revelou a existência de compartimentação estrutural dinâmica caracterizada por quatro fases de deformação agrupadas em três domínios estruturais: Dn, D1, D2 de caráter dúctil e D3 de caráter dúctil-rúptil.

Dn imprime foliação penetrativa S_n que é paralela ao bandamento S₀ em gnaisses do embasamento no Domo Jirau do Ponciano. Este corresponde a uma anticlinal com rochas do embasamento paleoproterozoico no núcleo. Apresenta a forma de uma antiforme invertida, com caimento do eixo para W/NW e superfície axial mergulhando predominantemente para sul. Na porção mais interna da anticlinal, ocorrem ortognaisses tonalíticos que apresentam foliação metamórfica da fase Dn.

D1 desenvolveu nas rochas supracrustais estruturas S₁ de baixo ângulo com caimento para sul e dobramentos isoclinais recumbentes F₁, associados à ZCJH, que possui critérios cinemáticos diversos incluindo tramas S-C e associados a planos de foliação com ângulos de mergulho entre 10-30° para NW e lineação down-dip, sugerem transporte tectônico com topo para SE.

Por outro lado, na porção NE da área de trabalho, esta estrutura inflete para a ZCPI, caracterizada por tectonitos S-L com 8-20° de mergulho invertido para NW e por vezes dobrados por uma trama D₂.

D₂ está representada pela tectônica transpressional com reativação da fase anterior (D₁) gerando dobramentos abertos e isoclinais de geração F₂ e foliação do tipo crenulação S₂. Esta fase está caracterizada pela presença de milonitos com foliações subverticais, variando entre ultramilonito a protomilonito, sendo representada por zonas de cisalhamento transpressionais sinistrais indiscriminadas com direção geral NE-SW. Peixes de mica e sigmoides assimétricos associados à lineação oblíqua a vertical sugerem vergência da Faixa Sergipana em direção ao Terreno Pernambuco-Alagoas. Tal diacronismo estrutural é indicativo do desenvolvimento de empurrões com transportes tectônicos distintos, característicos de estruturas com vergência dupla.

D₃ representa a tectônica rúptil que afetou toda sequência, sendo melhor apresentada em rochas

competentes e granitos do Terreno Pernambuco-Alagoas. Nós propomos que o sistema assimétrico de dupla vergência na região NNE da Faixa Sergipana está relacionado à colisão oblíqua entre o Cráton São Francisco a sul e o Terreno Pernambuco-Alagoas a norte. Esta colisão desenvolveu-se formando empurrões e retro-empurrões de norte a sul da Faixa Sergipana com partição da deformação entre a colisão frontal e acomodação em deslocamentos transcorrentes.

Diante disso, inferimos as seguintes possibilidades para configuração estrutural dessa região:

I) A ZCJH seria uma ramificação da ZCBMJ e sua dupla vergência seria um retro-empurrão ocasionado por movimentos transcorrentes durante o evento Brasileiro/Pan-Africano (Fase D2);

II) As ZCJH e ZCPI representam episódios contracionais distintos durante o evento Brasileiro/Pan-Africano;

III) A mudança da vergência está relacionada a episódios contracionais inversos durante os eventos Cariris Velhos e Brasileiro/Pan-Africano.

Baseado em relações de campo e análise estrutural consideramos que a ZCPI no Domínio Macururé esteja ligada a evento tectônico mais velho que a ZCJH, responsável por limitar e transportar granitos ediacaranos sobre o Domínio Macururé.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), processo Nº 159762/2013-8 pelo incentivo financeiro à pesquisa. Agradecemos também ao editor adjunto de Geonomos Fabrício Caxito e a um revisor anônimo pelas sugestões que melhoraram substancialmente o manuscrito original.

8. REFERÊNCIAS

- Alavi, M. 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211–238.
- Alkmim F.F., Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M. & Cruz, S.C.P. 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, 15.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews* 18, 1-29.
- Beydoun Z. R.1988. *The Middle East: Regional geology and petroleum resources*: Scientific Press, Beaconsfield, U.K., 292 p.
- Brito Neves B.B., Fuck R.A., Pimentel M.M. 2014. The Brasileiro collage in South America: a review. *Brazilian Journal of Geology*, 44(3):493-518.
- Brito Neves B.B., Santos E.J., Schmus W.R.Q., 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: Umberto Cordani; Edson José Milani; Antonio Thomaz Filho; Diogenes de Almeida Campos (Org.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, pp. 151-182.
- Brito Neves B.B., Van Schmus W.R., Santos E.J., Campos Neto M.C., Kozuch M., 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências* 25, 279–296.
- Brito Neves B. B., Sial A. N., Albuquerque J. P. T. 1977a. Vergência centrífuga residual no sistema de Dobramentos Sergipano. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(2), 102-114.
- Brito Neves B.B., Sial A.N., Beurlen H.O. 1977b. O Sistema de Dobramentos Sergipano; análise do conhecimento. In: Reunião preparatória para o simpósio sobre o Cráton São Francisco e suas faixas marginais. *Soc.Bras. Geol., Publ.Espec.*, 3:155-193.
- Bueno J.B.2008. Geoquímica e cronologia de alojamento de granitos colisionais na Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 126.
- Carvalho M.J. 2005. Evolução tectônica do Domínio Marancó-Poço Redondo: registro das orogêneses Cariris Velhos e Brasileiras na Faixa Sergipana, NE do Brasil. 202 f. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas.
- Casero P. 2004. Structural setting of petroleum exploration plays in Italy, in *Geology of Italy*, edited by U. Crescenti *et al.*, Ital. Geol. Soc., Florence, Italy. 189–199.
- Caxito F. A., Uhlein A., Morales L.F.G., Egydio-Silva M., Sanglard, J.C.D., Dias T.G, Mendes M.C.O. 2014. Structural analysis of the Rio Preto fold belt (northwestern Bahia / southern Piauí), a doubly-vergent asymmetric fan developed during the Brasileiro Orogeny. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso)*, v. 86, p. 1101-1113.
- Caxito F.A. & Uhlein, A. 2013. Arcabouço tectônico e estratigráfico da Faixa Riacho do Pontal, divisa Pernambuco-Piauí-Bahia. *Geonomos*, 21(2), p.19-37.
- D’el-Rey Silva L. J. H. 1999. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt, NE Brazil, and implications for the tectonic evolution of the Pan-African/Brasileiro crátons and Neoproterozoic sedimentary cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 453-470.
- Dal Piaz G.V.1997. Alpine geology and historical evolution of the orogenic concept. *Mem. Sc. Fis.*, 21, 49-83.
- Davis G.H.& Reynolds, S.J. 1996. *Structural Geology of Rocks and Region*, 2nd edition J. Wiley & Sons. 776.
- Davison I. 1987. Acreção de terrenos e a colisão oblíqua do Proterozóico Superior na Faixa Sergipana In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 1°. Salvador. Boletim, Salvador, SBG. p. 87-89.
- Davison I. & Santos, R. A. 1989. Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasileiro Orogeny. *Precambrian Research*, 45, 319-342.
- Davy P. & Cobbold P.R. 1988. Indentation tectonics in nature and experiment. 1. Experiments scaled for gravity. *Bulletin of the Geological Institutions of Uppsala, N.S. Vol. 14*, pp.129-14.
- D’el-Rey Silva L. J. H. 1999. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt, NE Brazil, and implications for the tectonic evolution of the Pan-African/Brasileiro crátons and Neoproterozoic sedimentary cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 453-470

- Dogliani C. 1991. A proposal of kinematic modelling for W-dipping subductions - Possible applications to the Tyrrenian-Apennines system. *Terra Nova*, 3, 423-434.
- Dooley T. & McClay, K. 1997. Analog modeling of strike-slip pull-apart basins. *AAPG Bulletin* 81:804-826.
- Fetter A.H., Van Schmus, W.R., Dos Santos, T.J.S., Arthaud, M., Nogueira Neto, J., Arthaud, M. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent Atlantica. *Revista Brasileira de Geociências* 30, 102-106.
- Fitch T.J. 1972. Plate convergence, transcurrent faults and internal deformation adjacent to southeast Asia and the western Pacific: *Journal of Geophysical Research*, v. 77, p. 4432-4460.
- Fonseca L. M. G. 2000. Processamento digital de imagens. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 105p.
- Gueguen E., Dogliani, C., Fernandez, M. 1998. On the post-25 Ma geodynamic evolution of the Western Mediterranean. *Tectonophysics*, 298, 259-269
- Hardy S., McClay K., Muñoz J. A. 2009. Deformation and fault activity in space and time in high resolution numerical models of doubly vergent thrust wedges; *Marine and Petroleum Geology*, 26; p. 232-248.
- Koons P. O. 1990. Two sided orogens: collision and erosion from sandbox to the Southern Alps, New Zealand. *Geology*, 18, 679-682.
- McCaffrey, R. 1996. Estimates of modern arc-parallel strain rates in fore arcs: *Geology*, v. 24, p. 27-30.
- McClay K.R., Whitehouse P.S. 2004. Analogue modeling of doubly vergent thrust wedges. In: McClay, K.R. (Ed.), *Thrust Tectonics and Hydrocarbon Systems: AAPG Memoir* 82, p. 184-206.
- McClay K.R., Whitehouse P.S., Dooley T., Richards, M. 2004. 3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence, in Needham, D.T., Butler, R.W.H., and Matthews, S.J., eds., *Oil and gas in compressional belts: Marine and Petroleum Geology*, v. 21, p. 857-877.
- Mendes V.A., Brito M.F.L., Paiva I.P. 2009. Programa Geologia do Brasil-PGB. Arapiraca. Folha SC.24-X-D. Estado de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. Mapa Geológico. Escala: 1:250.000, Recife.
- Molnar P. & P. Tapponnier. 1977. The relation of the tectonics of eastern China to the India-Eurasia collision: An application of slip-line field theory to large-scale continental tectonics, *Geology*, 5, 212-216.
- Ngako V., Affaton P., Njonfang E. 2008. Pan-African tectonics in northwestern Cameroon: Implication for the history of western Gondwana. *Gondwana Res.* 14: 509-522.
- Oliveira E.P., Bueno J.F., McNaughton N.J., Silva Filho A.F., Nascimento R.S., Donatti-Filho J.P. 2014. Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the Neoproterozoic Sergipano Belt, Southern Borborema Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 58:257-280.
- Oliveira E.P., Windley B.F., Araújo M.N.C. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Res.* 181, 64- 84.
- Oliveira E.P., Toteu S. F., Araújo M. J., Carvalho M. J.; Nascimento R. S., Bueno J. F., Mcnaughton N., Basili, G. 2006. Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 44, p. 470-478.
- Persson K. S. 2001. Effective indenters and the development of double vergent orogens: Insights from analogue sand models. In H. A. Koyi, & N. S. Mancktelow (Eds.), *Tectonic modeling: A volume in honor of Hans Ramberg*. Geological Society of America Memoir, 193.
- Santos E. J., Van Schmus W. R., Kozuch, M., Brito Neves, B. B. The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*, v. 29, p. 61 - 76, 2010.
- Santos E.J. & Medeiros V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE-Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 29, 73-84.
- Sibuet J.C., Srivastava S.P., Spakman.W. 2004. Pyrenean orogeny and plate kinematics. *Journal of Geophysical Research* 109: B08104, 1-18.
- Silva Filho A.F., Guimarães I.P., Santos.L., Armstrong L., Van Schmus W.R. 2016. Geochemistry U-Pb geochronology, Sm-Nd and O isotopes of ca. 50 Ma long Ediacaran High-K Syn-Collisional Magmatism in the Pernambuco Alagoas Domain, Borborema Province, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 1-21.
- Silva Filho M.A., Torres H.H.F. 2002. A new interpretation on the Sergipano Belt Domain, *Academia Brasileira de Ciências, Anais*, 74(3):556-557.
- Storti F., R. Soto-Marín C., Faccenna A., Casas-Sainz. 2001. Role of the backstop-to-cover thickness ratio on vergence partitioning in experimental thrust wedges, *Terra Nova*, 13, 413-417.
- Sylvester R.A & Smith R.R. 1976. Tectonic transpression and basement controlled deformation in San Andreas Fault Zone, Salton Trough, California. *AAPG Bull.*, 60:2081-2102.
- Tohver E., Van Der Pluijm BA., Mezger K., Essene E., Scandorala JE., Rizzotto GJ. 2004. Significance of the Nova Brasilândia metasedimentary belt in western Brazil: redefining the Mesoproterozoic boundary of the Amazon Craton. *Tectonics*.
- Toteu S.F., Penaye J., Poudjom Djomani, Y.H. 2004. Geodynamic evolution of the Pan-African belt in Central Africa with special reference to Cameroon. *Can. J. Earth Sci.* 41, 73-85.
- Trompette R. 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma)*. Balkema, Rotterdam, 350.
- Uhlein A. 2004. Paleogeografia e inversão tectônica da Faixa Araçuai e do Corredor do Paramirim, região Centro-Leste do Brasil. Tese de Livre-Docência, USP, 130 p.
- Uhlein A., Caxito F.A., Egydio-Silva M., Barbosa J. 2011. As faixas dobradas Rio Preto e Riacho do Pontal. In: Barbosa J. *et al.* (eds), *Geologia da Bahia*, Capítulo IX.
- Van Schmus W.R., Kozuch M., Brito Neves B.B., 2011. Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: Insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. *Journal of South American Earth Sciences* 31, 227-252.
- Van Schmus W.R., Oliveira E.P., Silva Filho A.F., Toteu S.F., Penaye J., Guimarães I.P. 2008. Proterozoic links between the Borborema province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. *Geological Society of London, Special Publication*, 294, 69-99.
- Van Schmus W.R., Brito Neves B.B., Hackspacher P.C., Babinski M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeast Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences* 8, 267-288.

Wilcox R.E., Harding T.P., Seely D.R.1973. Basic wrench tectonics. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 57, 74–96.

Willett S. D.1999. Rheological dependence of extension in viscous and plastic wedge models of convergent orogens, *Tectonophysics*, 305, 419–435.

Willett S., Beaumont C., Fullsack P. 1993. Mechanical model for the tectonics of doubly-vergent compressional orogens. *Geology*, 21, 371-374.

Woodcock N.H. & Fischer M.1986. Strike-slip duplexes. *Journal of Structural Geology* 8, 725–735.