



DECONVOLUÇÃO DE EULER: NOVA PERSPECTIVA PARA A INTERPRETAÇÃO 3D DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS

Luciano Costa Gonçalves, Roberto Alexandre Vitória de Moraes, Elton Luiz Dantas, Augusto César Bittencourt Pires – Universidade de Brasília e Adalene Moreira Silva – Universidade Estadual de Campinas

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

ABSTRACT

This paper deals with a 3D magnetic data (Seridó Project, 1973) interpretation of regional geologic structures (Patos Lineament and João Câmara-Picuí Shear Zone) in Northeast Brazil based on horizontal position and depth for magnetic sources given by Euler deconvolution. Best parameters for Euler deconvolutions were found from different combinations of structural index, window sizes, and error tolerances. Best product yielded solutions for the structural trends with depth through 5 km. The Patos Lineament (E-W) and João Câmara-Picuí Shear Zone (NE-SW) showed maximum depth in the order of 3 km and 2 km, respectively. Deeper magnetic sources (> 5 km) were found under supracrustal sequence of the Seridó Belt, in the portions Southwest of Currais Novos city. 3D plots proved to be useful to get a glimpse on the geometry and distribution of magnetic material within these structures.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho visou a interpretação tridimensional de estruturas geológicas regionais (Lineamento Patos e Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí) na região Nordeste do Brasil, baseada em resultados obtidos com a deconvolução de Euler. Este estudo de caso foi efetuado utilizando-se os dados aeromagnéticos do Projeto Seridó (1973). A melhor parametrização obtida veio das diferentes combinações de índices estruturais, tamanho de janelas e tolerâncias de erros, com foco naquelas que mostraram agrupamentos de soluções mais coerentes para as indicações sobre as estruturas geológicas da área de estudo.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

No contexto geotectônico da Plataforma Sul-Americana, a área em estudo está localizada na porção Nordeste da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1981), limitada pelos meridianos 35°45' W e 37°45' W e pelos paralelos 5°33' S e 7°10' S (Figura 1, 2).

O arcabouço tectônico da porção Nordeste da Província Borborema é caracterizado por um arranjo complexo de domínios tectono-estratigráficos limitados por zonas de cisalhamento regionais. Estas zonas representam uma

colagem de pequenos fragmentos crustais, envolvendo núcleos arqueanos, blocos gnáissicos migmatíticos paleoproterozóicos e seqüências supracrustais neoproterozóicas. Todo este conjunto foi afetado por intrusões graníticas brasileiras e, geralmente, estão associadas a grandes zonas de cisalhamento transcorrentes (Figura 1). Os modelos de evolução geodinâmica para esta região sugerem a acreção e o amalgamento dos diferentes terrenos tectono-estratigráficos durante a Orogênese Brasileira – Pan Africana (Jardim de Sá 1994, Dantas *et al.* 2003, Van Schmus *et al.* 1995, 2003).

Grandes zonas de cisalhamento, como o Lineamento Patos, Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí e a Zona de Cisalhamento Porto Alegre, destacam-se como limites dos diferentes terrenos que constituem o Domínio Rio Grande do Norte e apresentam *trends* dextrais com direção E-W e NE-SW (Vauchez *et al.* 1995, Jardim de Sá 1994). Neste estudo de caso foram selecionadas duas pequenas áreas dentro deste sistema de cisalhamento para aplicar a técnica de deconvolução de Euler no entendimento do comportamento das zonas de cisalhamento em profundidade, em diferentes situações tectono-estruturais. Na Área I, a Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí ocorre no contato entre as unidades supracrustais da Faixa Seridó, de idade neoproterozóica, com os terrenos paleoproterozóicos do Terreno Cálcio-alcálico Santa Cruz (Dantas 1997, CPRM 2001, Figura 1 e 2). Na Área II, a Zona de Cisalhamento de Patos, ocorre no contato entre o terreno paleoproterozóico do Domínio Rio Grande do Norte e os terrenos mesoproterozóicos do Domínio da Zona Transversal (Brito Neves 2000, Figura 1, 2).

DECONVOLUÇÃO DE EULER

A deconvolução de Euler é uma técnica de mapeamento espacial das fontes anômalas de campos potenciais, baseada na equação de homogeneidade de Euler. Esta técnica é usada como ferramenta quantitativa para estimar a posição horizontal e profundidades das fontes magnéticas ou gravimétricas (Reid *et al.* 1990).

As soluções da deconvolução de Euler são estimadas para grupos de índices estruturais, que expressam a relação de homogeneidade da equação. Os diferentes índices estruturais aliados às posições estimadas podem identificar e caracterizar uma grande variedade de estruturas geológicas, como contatos, foliações, falhas, diques, soleiras, *pipes*, intrusões e outras feições magnéticas (Thompson 1982, Reid *et al.* 1990).

A equação de Euler é descrita como

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (1)$$

onde (x_0, y_0, z_0) representa a posição da fonte magnética cujo campo total T foi detectado em (x, y, z) sobre um campo regional B , com N interpretado como o índice de homogeneidade da equação ou o índice estrutural (Reid *et al.* 1990, GEOSOFT 2000).

A tabela 1 correlaciona os índices estruturais de homogeneização da equação de Euler com os principais modelos físicos e estruturas geológicas associadas.

Tabela 1 – Índices estruturais usados na deconvolução de Euler (Reid *et al.* 1990).

Modelo Físico	Estrutura Geológica	Índice Estrutural (N)
Linha de pólos	Contatos, falhas e foliações	0 (<0,5)
Linha de pólos	Diques e soleiras	1
Ponto polar	Corpos 2D e <i>pipes</i> verticais	2
Ponto dipolar	Corpos 3D e intrusões	3

BANCO DE DADOS

Os dados aeromagnetométricos utilizados neste trabalho foram adquiridos no Projeto Seridó (1973), que recobriu a porção central dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba (Figura 2).

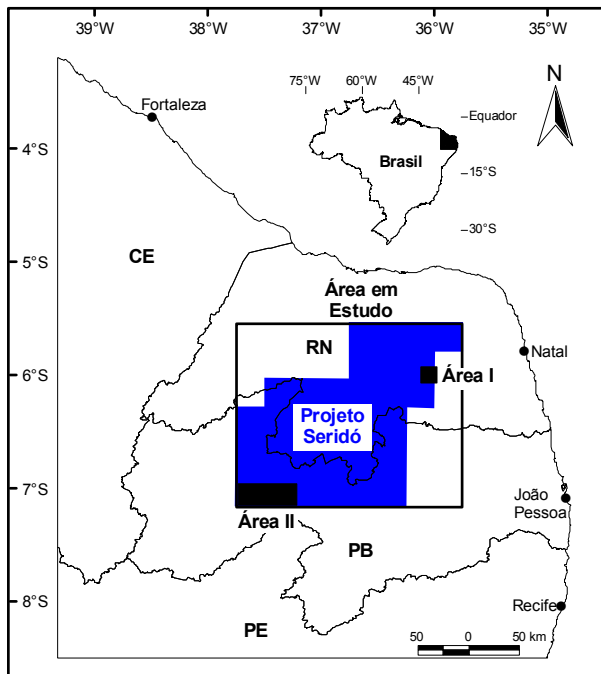


Figura 2 – Localização das áreas de estudo I e II inseridas no Projeto Seridó.

O Projeto Esperança recobriu 25.000 km² de área em 28.000 km de perfis de produção, adquiridos à altura

nominal de 135 m e orientados na direção E-W, com espaçamento de 1 km (www.cprm.gov.br).

PROCESSAMENTO DOS DADOS

Foram realizadas quatro etapas de processamento. Na **primeira** etapa, os dados foram avaliados quanto à presença de inconsistências (“spikes”) e à distribuição espacial das linhas de voo. A **segunda** etapa consistiu na definição do algoritmo (Mínima Curvatura) e do tamanho da célula (250 m) de interpolação. Na **terceira** etapa foram corrigidos os desnivelamentos presentes nos dados, visando minimizar estas imperfeições e, conseqüentemente, homogeneizar a distribuição espacial dos dados. Para tanto, foi utilizada a rotina de micronivelamento desenvolvida por Blum (1999) com base no método proposto por Minty (1991). Na **quarta** etapa, foi gerado o campo magnético anômalo usado nas deconvoluções de Euler (GEOSOFT 2000, Figura 3).

As deconvoluções de Euler foram calculadas para o modelo físico de linha de pólos, com os conjuntos de parâmetros variando o índice estrutural (N) de 0 e 0,5, o tamanho da janela de 6 a 15 células e a tolerância de erro 3 a 10%. Os melhores resultados para o agrupamento das soluções Euler sobre o Lineamento Patos e a Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí foram N=0, 10 células e 7% de erro (Figura 4).

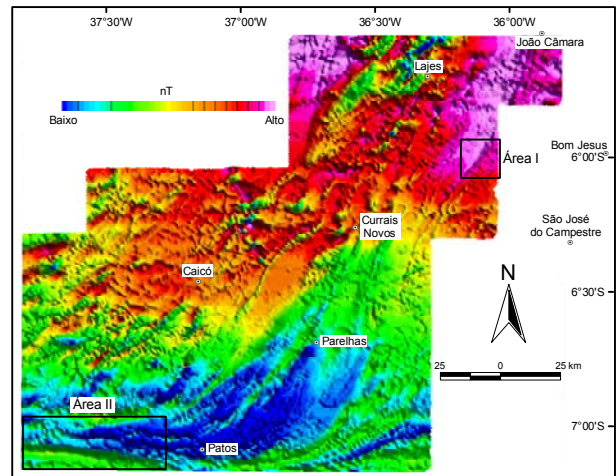


Figura 3 – Imagem do campo magnético anômalo.

INTERPRETAÇÃO

As soluções calculadas na deconvolução de Euler apresentaram bons agrupamentos espaciais com as estruturas geológicas da área (CPRM 2001), principalmente com os sistemas de cisalhamentos regionais, indicando o mapeamento de fontes magnéticas infracrustais com profundidades variando da superfície até 5 km.

As feições mais expressivas correspondem à zona de cisalhamento com direção E-W associada ao Lineamento Patos, marcada pelo agrupamento das soluções Euler, que indicaram profundidades máximas para as fontes magnéticas entre 2 e 3 km (LP, Figura 4). A Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí apresentou fontes magnéticas com profundidades máximas de 2,0 km (ZCJP, Figura 4).

Alinhamentos secundários de menor expressão foram determinados pelas anomalias realçadas nos produtos aerogeofísicos. Um forte alinhamento *trend* NE-SW, localizado na região do Seridó, apresentou profundidades variando de 0 a 5 km. As anomalias que evidenciam as maiores profundidades foram observadas a SW de Currais Novos, onde fontes magnéticas com 5 km de profundidades foram encontradas sob as rochas metassedimentares da Faixa Seridó (A, Figura 4).

Um forte alinhamento das soluções Euler com direção N65°E, é visível desde a região de Caicó, passando por Currais Novos e seguindo em direção a borda do núcleo arqueano em Bom Jesus (B, Figura 4).

Na região a Oeste de Lajes foi observado um alinhamento NE-SW de soluções com profundidades máximas da ordem de 2 km (C, Figura 4). Na região N-NW de Currais Novos foram observadas alinhamentos concêntricos de soluções Euler com profundidades máximas entre 0 e 2 km (D, Figura 4). As estruturas com direção NW-SE foram marcadas por alinhamentos de soluções Euler na região das cidades de Currais Novos e Lajes (E, Figura 4).

Os resultados da deconvolução de Euler para o Projeto Seridó e, mais especificamente, para a Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí (Área I) e o Lineamento Patos (Área II) são observados em detalhe, com figuras tridimensionais que auxiliam a visualização das estruturas em profundidade (Figura 5, 6).

As visualizações tridimensionais mostram a geometria das estruturas em profundidade e ajudam a entender como o material magnético se distribuiu ao longo das zonas de cisalhamento. Pode-se observar que a fonte magnética é representada por minerais magnéticos cristalizados nos planos da foliação cisalhante verticalizada, por veios com minerais magnéticos discordantes aos planos da foliação e estruturas sigmoidais desenvolvidas nos planos da foliação vertical (Figura 5, 6). São notáveis o mergulho verticalizado da Zona de Cisalhamento João Câmara e os mergulhos para N e S divergentes na Zona de Cisalhamento de Patos.

CONCLUSÕES

A definição dos parâmetros utilizados na deconvolução de Euler é o grande problema desta técnica. Os diversos conjuntos de parâmetros podem fornecer diferentes grupos de soluções, com diferentes profundidades. Para uma definição apropriada dos parâmetros utilizados deve-se gerar um modelo sintético que simule os alvos a serem investigados ou o arcabouço estrutural da área de estudo, em seguida, aplicar a deconvolução de Euler e analisar qual o melhor resultado. Entretanto, em áreas extremamente complexas do ponto de vista geológico e estrutural, a definição de um modelo sintético que se ajuste à geologia é um trabalho extremamente complexo. Testes empíricos com diferentes combinações de parâmetros podem ser realizados e, conseqüentemente, analisados para determinar os melhores agrupamentos de soluções. Neste trabalho, a definição dos parâmetros da deconvolução de Euler foi estritamente empírica.

A interpretação, em escala regional, mostrou que a deconvolução de Euler forneceu bons agrupamentos de soluções correlacionadas aos *trends* geológicos conhecidos na região.

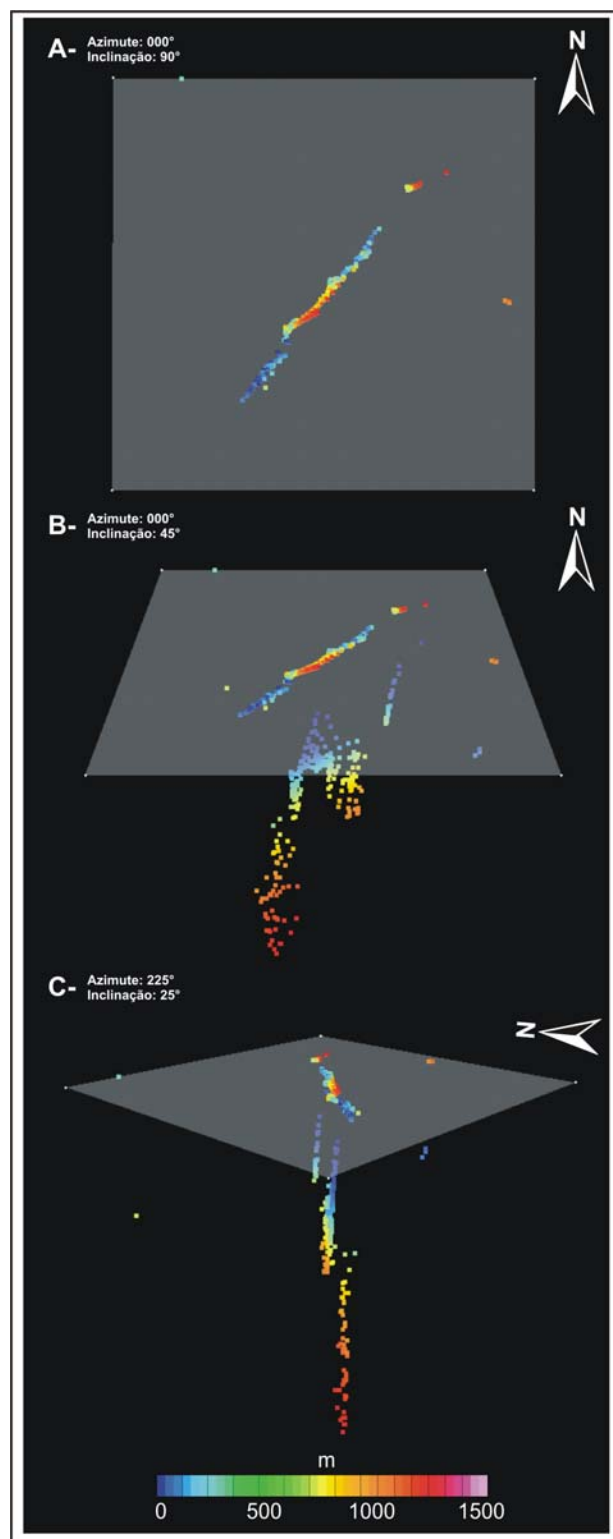


Figura 5 – Visualizações 3D da deconvolução de Euler ($N=0$, 10 células e tolerância 7%) para a Área I. A – Visão em planta. B e C – Visada inclinada da superfície.

O Lineamento Patos e a Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí foram caracterizadas por fontes magnéticas com profundidades máximas de 3 km e 2 km, respectivamente. A Sudoeste de Currais Novos, alinhamentos de soluções Euler com direção NE-SW e profundidades de 5 km sugerem que estas fontes magnéticas possam representar o embasamento da Faixa Seridó nesta região. Na região Oeste de Lajes, o *trend* NE-SW com profundidades aproximadas de 2 km caracterizou o contato tectônico entre as unidades neoproterozóicas da Faixa Seridó e as rochas gnáissicas migmatíticas do embasamento paleoproterozóico. Agrupamentos concêntricos de soluções Euler na região a N-NW de Currais Novos indicaram profundidades variando entre 0 e 2 km para os granitóides brasileiros e sugerem a presença em profundidade de intrusões nos gnaisses migmatíticos paleoproterozóicos. Alinhamentos de soluções com direção NW-SE indicam a reativação pós-brasileira de estruturas antigas.

As visualizações 3D nas Áreas I e II mostraram a geometria em profundidade dos sistemas transcorrentes do Lineamento Patos e da Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí, com os mergulhos divergentes, planos verticalizados bem evidentes e interação de feições secundárias, como veios discordantes com a foliação principal da zona de cisalhamento.

A deconvolução de Euler por ser um método quantitativo de localização horizontal e profundidade das fontes magnéticas ou gravimétricas pode trazer importantes contribuições a respeito da geometria de corpos em profundidade ou do arcabouço tectônico regional.

A aplicação da deconvolução de Euler em dados aeromagnéticos e gravimétricos, que recobrem a porção Nordeste da Província Borborema, fornecerá novos argumentos para futuras interpretações e discussões sobre o arcabouço tectônico e sua evolução geodinâmica nesta região.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) pela cessão e permissão do uso dos bancos de dados aerogeofísicos. Ao Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB) pela utilização da infra-estrutural. A CAPES pela bolsa de mestrado do primeiro autor. Ao CNPq pelo apoio financeiro projeto 475717-01-5 e 471144/2003-7.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F. F. M., Hasui Y., Brito Neves B. B., Fuck H. A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences Reviews*, **17**: 291-317.
- Blum M. L. B. 1999. *Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 229 p.
- Brito Neves B. B. 2000. Tectonic history of the Borborema Province, NW Brazil. In: Cordani U. G., Milani E. J., Thomaz Filho A., Campos D. A. (eds) *Tectonic*

Evolution of South American, Rio de Janeiro, pp.: 151-182.

- CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 2001. *Mapa Geológico do Brasil*. Rio de Janeiro. (Escala 1:2.500.000). CD-ROM.
- CPRM-Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, acessada em 20/03/2004 no endereço eletrônico www.cprm.gov.br.
- Dantas E. L. 1997. *Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Tese de Doutorado, 208 p.
- Dantas E. L., Van Schmus W. R., Hackspacher P. C., Fetter A. H., Brito Neves B. B., Cordani U., Nutman A. P., Williams I. S. 2003. The 3.4-3.5 Ga São José do Campeste Massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, **2439**: 1-25.
- GEOSOFT 2000. *OASIS Montaj™*, v. 5.1.7. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- Jardim de Sá E. F. 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 804 p.
- Minty B. R. S. 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, **22**: 591-592.
- Reid A. B., Allsop J. M., Granser H., Millet A. J., Somerton I. W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, **55** (1): 80-91.
- Thompson D. T. 1982. EULDPH – A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, **47**: 31-37.
- Van Schmus W. R., Brito Neves B. B., Hackspacher P.C., Babinski M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronological studies of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South America Earth Sciences*, **8** (3/4): 267-288.
- Van Schmus W. R., Brito Neves B. B., Williams I. S., Hackspacher P. C., Fetter A. H., Dantas E. L., Babinski M. 2003. The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre-to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (T_{DM}) ages. *Precambrian Research*, **127**: 287-327.
- Vauches A., Neves S., Caby R., Corsini M., Egydio-Silva M., Arthaud M. Amaro V. 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*, **8** (3/4): 247-266.

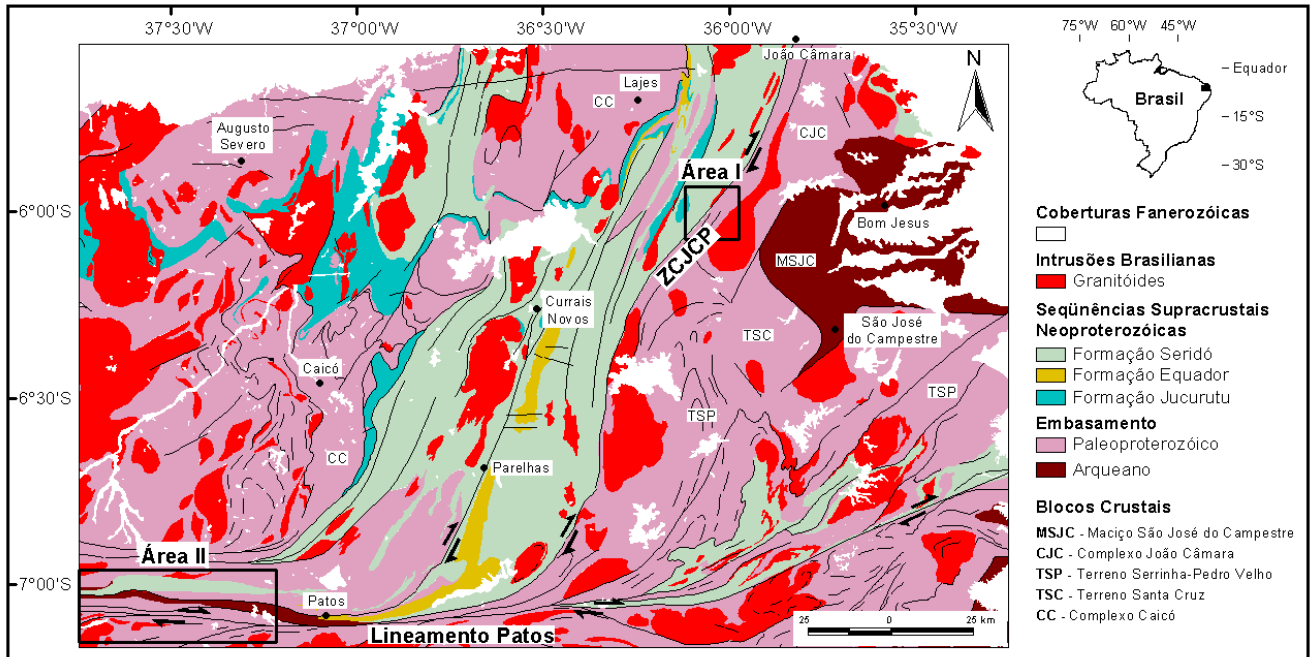


Figura 1 – Mapa geológico da área em estudo localizada na porção Nordeste da Província Borborema, que mostra os principais blocos crustais e as principais zonas de cisalhamento da região (Lineamento Patos, ZCJCP – Zona de Cisalhamento João Câmara-Picuí, CPRM 2001).

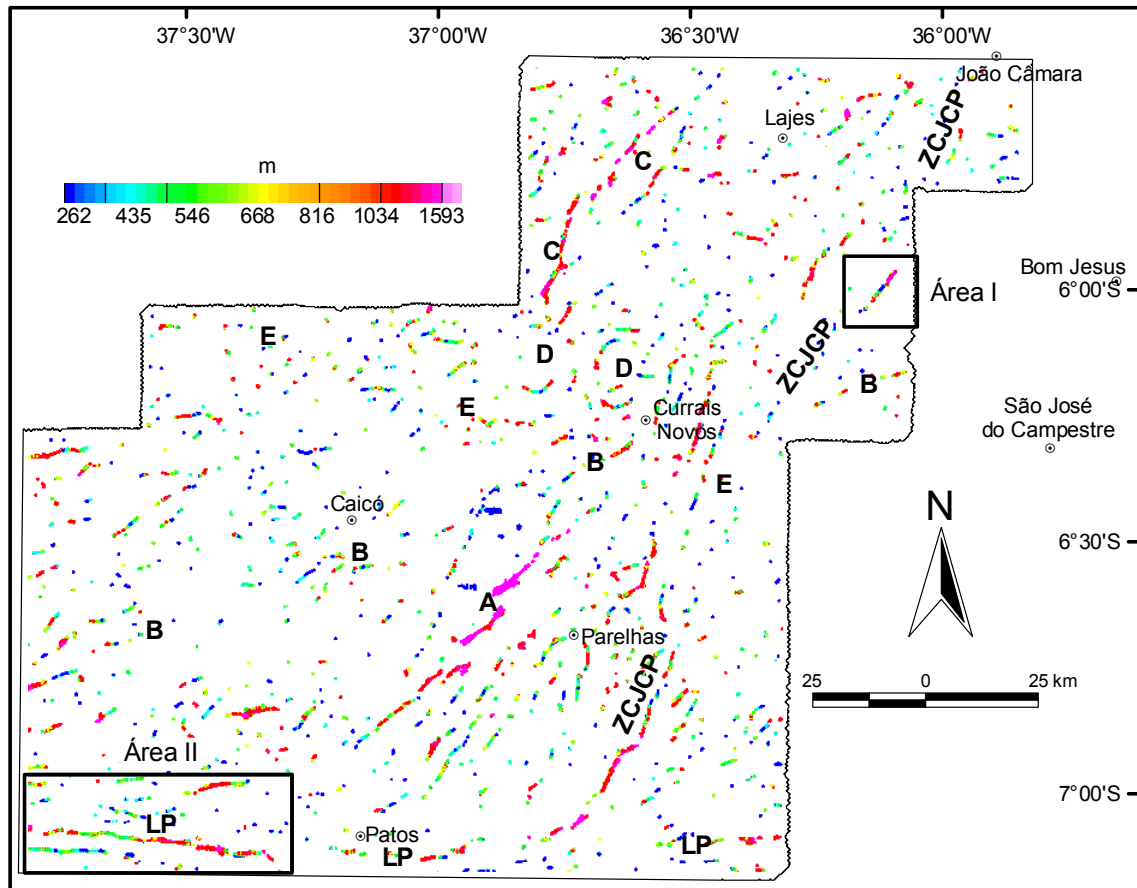


Figura 4 – Tema da deconvolução de Euler, para o índice estrutural $N=0$, janela de 10 células e tolerância 7%.

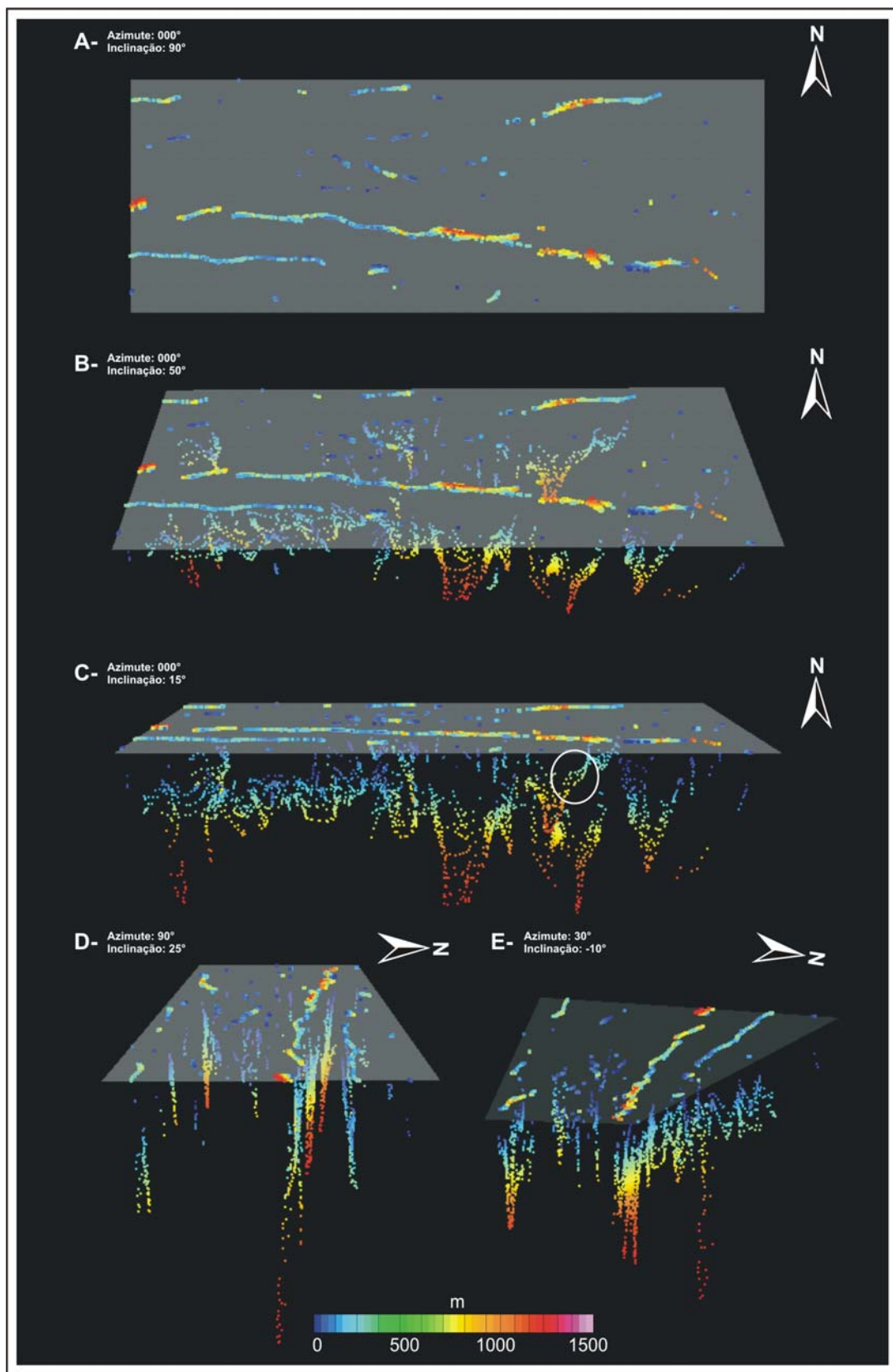


Figura 6 – Visualizações 3D da deconvolução de Euler ($N=0$, 10 células e tolerância 7%) para a Área II. A – Vista em planta. B, C e D – Visada inclinada da superfície, detalhe em C da estrutura sigmoideal presente no plano verticalizado da foliação principal. E – Visada inclinada em profundidade.