



## Deconvolução Euler 3D e Modelagem Direta 2,5D das Anomalias Aeromagnéticas Relacionadas com as Intrusões Magmáticas de Itapororoca (PB) e Pureza (RN), NE do Brasil

Roberto Gusmão de Oliveira, CPRM-Serviço Geológico do Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

The magnetic anomalies localized in the neighboring of the Itapororoca and Pureza cities (Borborema Province, NE-Brazil) are related with Phanerozoic magmatic intrusions. The 3D Euler deconvolution and 2,5 direct method modeling of the magnetic anomalous data revealed that intrusions bodies have an inverted conic shapes. In addition to, the root of the magmatic bodies are around 5 km of depth. Moreover, these intrusions were controlled by fault and fracture zones. An important aspect, which indicates a tectonic similar positioning for both intrusions, is the sigmoid shapes (romboedric) showed (in map) by the 3D Euler solutions. These sigmoid shapes suggest that intrusions were facilitated by a transensional fault system, which generate a pull-apart zone.

### Introdução

O levantamento aerogeofísico do Projeto Borda Leste do Planalto da Borborema (LASA & PROSPECTORS 2008), realizado na região costeira leste da Província Borborema no NE do Brasil (Figura 1), revelou que a intrusão magmática principal de Itapororoca (PB) produz uma anomalia magnética com 600 nT de amplitude e 6 km de comprimento de onda (Figura 1). Essa intrusão, constituída por dunitos e rochas alcalinas, cujo sinal gravimétrico foi modelado por Mantovani *et al.* (2008), penetra xistos e gnaisses do Terreno Alto Pajeú. Outra expressiva anomalia magnética, com 900 nT de amplitude e 13 km de comprimento de onda, ocorre mais a norte, na região de Pureza (RN) (Figura 1). No local dessa anomalia afloram rochas sedimentares que recobrem a Plataforma de Touros, um alto tectônico constituído por gnaisses e xistos do Terreno São José do Campestre, que separa a Bacia Potiguar da Bacia Pernambuco-Paraíba. Na região da anomalia não foram cartografadas rochas magmáticas. Porém, a forma semicircular da anomalia e a indicação nos dados aeromagnéticos da existência de diques anelares são uma forte evidência de que a fonte anômala é uma intrusão magmática em forma de chaminé.

A importância dessas anomalias, tanto do ponto vista metalogenético, como em relação ao conhecimento do magmatismo juro-cretáceo-cenozóico que afetou essa

região da Província Borborema, estimulou a aplicação de técnicas de modelagens direta e inversa nos dados aeromagnéticos, com o objetivo de aprimorar o conhecimento da forma tridimensional desses corpos, e a compreensão do modelo tectônico de suas intrusões.

### Contexto Geológico

As intrusões magmáticas de Itapororoca (PB) e Pureza (RN) ainda não possuem uma idade definida. Porém, elas devem estar associadas com um dos dois importantes eventos magmáticos que ocorreram do Jurássico ao Cenozóico, na região Norte-Nordeste da Província Borborema (Figura 1). O primeiro, no Juro-Cretáceo, de natureza toleítica, é representado pelo Magmatismo Rio Ceará Mirim, que ocorreu como um enxame de diques de direção E-W com extensão de 300 km na borda da Bacia Potiguar, na Plataforma de Touros e na base da Bacia do Ceará (Mizusaki *et al.* 2002). O segundo, o Vulcanismo Macau, se distribuiu por uma área mais ampla, tem natureza alcalina e apresentou recorrência ao longo do Cenozóico (Mizusaki *et al.* 2002). Essas rochas magmáticas foram intrudidas, ou derramadas, nos metassedimentos e complexos gnaissicos-migmatíticos dos terrenos pré-cambrianos Alto Pajeú (AP), São José do Campestre (SJC), Rio Piranhas (RP) e da faixa dobrada Seridó (FSD), e na crosta oceânica adjacente (Figura 1).

Segundo Brito Neves *et al.* (2008), a intrusão de Itapororoca, que está encaixada em xistos e gnaisses do Terreno Alto Pajeú, forma platôs dissecados, em que ocorre uma crosta silicosa (duricrust) com variados tipos texturais, aonde são identificadas apenas raras frações de rochas ultramáficas e alcalinas. A modelagem 3D de dados gravimétricos efetuada por Mantovani *et al.* (2008) nessa intrusão obteve como resultado um corpo com duas raízes, em que a raiz mais profunda atinge a profundidade de 8,5 km.

A anomalia magnética de Pureza ocorre na Plataforma de Touros, um alto tectônico que separa a Bacia Pernambuco-Paraíba da Bacia Potiguar. Nessa região afloram sedimentos do Grupo Barreiras, sobrepostos por sedimentos flúvio-lacustrinos e eólicos recentes (Angelim 2006). Esses sedimentos estão sobrepostos nas rochas do embasamento cristalino, constituído pelo complexo gnaissico-migmatítico do Terreno São José do Campestre. Além das evidências dos dados aerogeofísicos, que sugerem uma intrusão magmática em forma de chaminé como fonte da anomalia geofísica, destaca-se também um padrão anômalo circular da drenagem, do tipo geralmente encontrado sobre intrusões produzidas por corpos cilíndricos verticais.

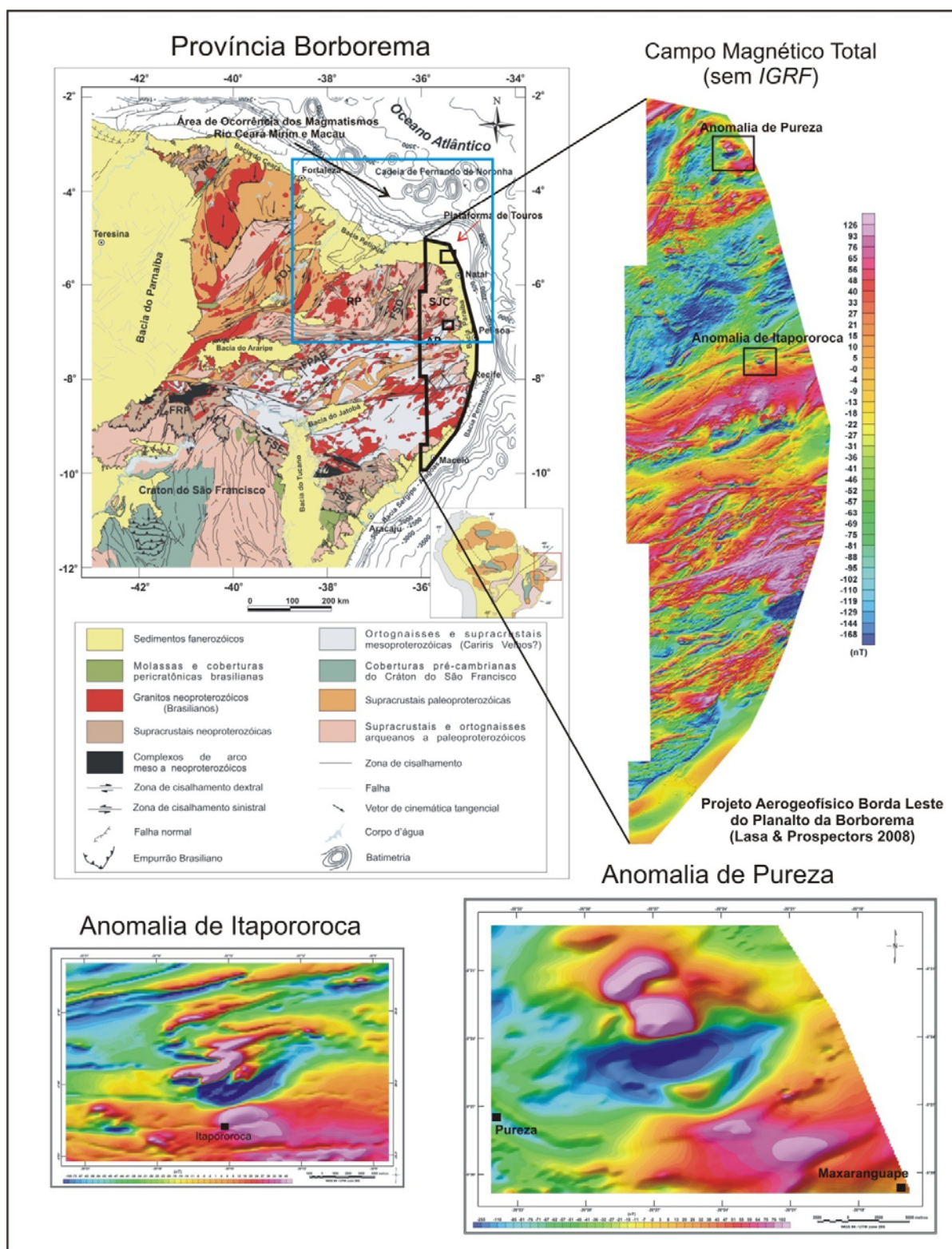


Figura 1: Localização geográfica e geológica das áreas de estudo e do Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema. As anomalias de Itapororoca (PB) e Pureza (RN) são apresentadas em detalhe na parte inferior da figura. **FSD** - Faixa Dobrada Seridó, **SJC** - Terreno São José do Campestre, **AP** - Terreno Alto Pajeú ; **RP** - Terreno Rio Piranhas.

### Dados Aeromagnéticos

O Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema (Lasa & Prospectors 2008), contratado pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil e realizado em consórcio pelas empresas Lasa Engenharia e Prospecções S.A. e Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas Ltda., levantou 122.486,09 km de linhas de vôo (Figura 1), com uma altura média de 100 metros, separadas de 500 metros e 10 km, nas direções N-S e E-W, respectivamente. Foram empregados três diferentes tipos de avião: Piper Navajo PA31, Cessna C-208B Caravan e Reims 406 Caravan II. Foram efetuadas medidas do campo magnético terrestre total e da radioatividade natural das rochas. No levantamento magnetométrico foram empregados dois diferentes tipos de aeromagnetômetros: Scintrex GC2 e Geometrics G822A, ambos com montagem *stinger* e precisão de 0,001 nT. Na maioria dos casos as leituras foram efetuadas a cada 0,1 segundo, o que corresponde no terreno a uma distância média de 7,5 metros de distância entre os pontos de medida. O monitoramento da variação diurna foi efetuado por meio de dois tipos de magnetômetros terrestres: GEM System GSM-19 e Pico Envirotec HSMAG, com precisão de 0,1 nT e leituras a cada 1 segundo. Para a navegação e posicionamento foram empregados, dependendo do tipo de aeronave, três tipos de sistemas de GPS: Trimble AgGPS 132, MID-TECH RX 400P e JAVAD-EuroGD L1/L2, todos com 12 canais.

### Metodologia de Modelagem

Para cada uma das anomalias foram efetuadas deconvolução Euler 3D e modelagem direta 2,5D. Abaixo será apresentado um resumo da metodologia e da parametrização que foi empregada nesses dois tipos de modelagens.

**a) Deconvolução Euler 3D:** a profundidade aparente de uma fonte magnética pode ser derivada a partir da equação da homogeneidade de Euler (deconvolução Euler). O processo relaciona o campo magnético e os componentes do gradiente para a localização das fontes de uma anomalia, com o grau de homogeneidade sendo expresso por um índice estrutural (*structural indexes - SI*), que é a medida da taxa de decaimento do campo magnético em função da distância de sua fonte (Reid *et al.* 1990).

A relação da homogeneidade de Euler para dados magnéticos pode ser escrita da seguinte forma:

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

onde  $(x_0, y_0, z_0)$  é a posição da fonte magnética, em que o campo total ( $T$ ) é medido em  $(x, y, z)$ .  $B$  é o campo magnético regional, e  $N$  é a medida da taxa de decaimento do campo magnético com a distância, que pode ser interpretada como um índice estrutural ( $SI$ ).

O processo de deconvolução Euler é aplicado em cada alvo, e o método necessita da escolha de um  $SI$  adequado. A solução é obtida efetuando a inversão por mínimos quadrados para  $(x_0, y_0, z_0)$  e  $B$  ótimos.

O método de deconvolução Euler foi aplicado por meio da rotina de cálculo desenvolvida por Mushayandebvu *et al.* (2001) disponível no Oasis Montaj (*Geosoft*<sup>®</sup>). O procedimento adotado calcula soluções para um determinado alvo (anomalia magnética), que pode ser interpretado geologicamente, de acordo com o  $SI$  escolhido. Os principais alvos e os seus respectivos  $SI$  são os seguintes: intrusão ou mineralização com forma esférica (ponto dipolar) = 3; intrusão ou mineralização com forma de chaminé (ponto polar) = 2, diques e soleiras (linha de pólos) = 1, contatos e falhas (linha de pólos) = 0.

Nas anomalias magnéticas de Itapororoca e Pureza, após o teste de vários índices estruturais, o que melhor se adequou foi o  $SI = 1$  (dique). Para evitar um número grande de soluções muito rasas, a malha do campo total foi continuada 1 km para cima. Também, após vários testes, o procedimento foi configurado para a inversão em uma janela com dimensão de 20 células (cada uma com 125 x 125 metros) e tolerância de 7% de erro máximo. O resultado final foi filtrado para eliminar as soluções com sinal negativo, e as soluções localizadas fora da área de interesse.

**b) Modelagem 2,5D:** a partir da malha interpolada do campo magnético total reduzido do *IGRF*, os perfis foram amostrados com espaçamento de 125 metros. Os seus comprimentos são de 12,5 km para a anomalia de Itapororoca, e de 31 km para a anomalia de Pureza (Figuras 2 e 3). Em ambos os casos, foi adotado uma susceptibilidade homogênea média de 0,0001  $SI$  para as rochas cristalinas encaixantes. Nos dois casos, não foi possível definir previamente um valor adequado para a susceptibilidade magnética das rochas magmáticas intrusivas. Para o procedimento de modelagem foi adotado o método direto, mediante o cálculo e a comparação dos sinais de corpos de geometria 2,5D por meio do algoritmo desenvolvido por Talwani *et al.* (1959), com o empregado no programa *GM-SYS*, integrado na plataforma do *Oasis Montaj (Geosoft*<sup>®</sup>). Durante o processo de modelagem foram seguidos os seguintes procedimentos: i) atribuir valores para os parâmetros; ii) calcular os efeitos; e iii) comparar os efeitos calculados com os dados observados. Para cada unidade modelada foram consideradas todas as informações geológicas conhecidas, tais como, rocha encaixante, estruturas e presença de coberturas sedimentares.

### Resultados e Conclusões

Os resultados da deconvolução Euler e da modelagem direta das anomalias de Itapororoca e Pureza estão apresentados nas figuras 2 e 3. Na parte superior das figuras observa-se o resultado da deconvolução sobreposta à imagem 3D do campo magnético total, com uma escala de cores para os valores de profundidades. Na parte intermediária das figuras, o resultado da deconvolução está apresentado de forma tridimensional. As soluções estão revolvidas para que a forma tridimensional possa ser visualizada em diferentes ângulos. Os resultados das modelagens direta 2,5D estão na parte inferior das figuras 2 e 3.



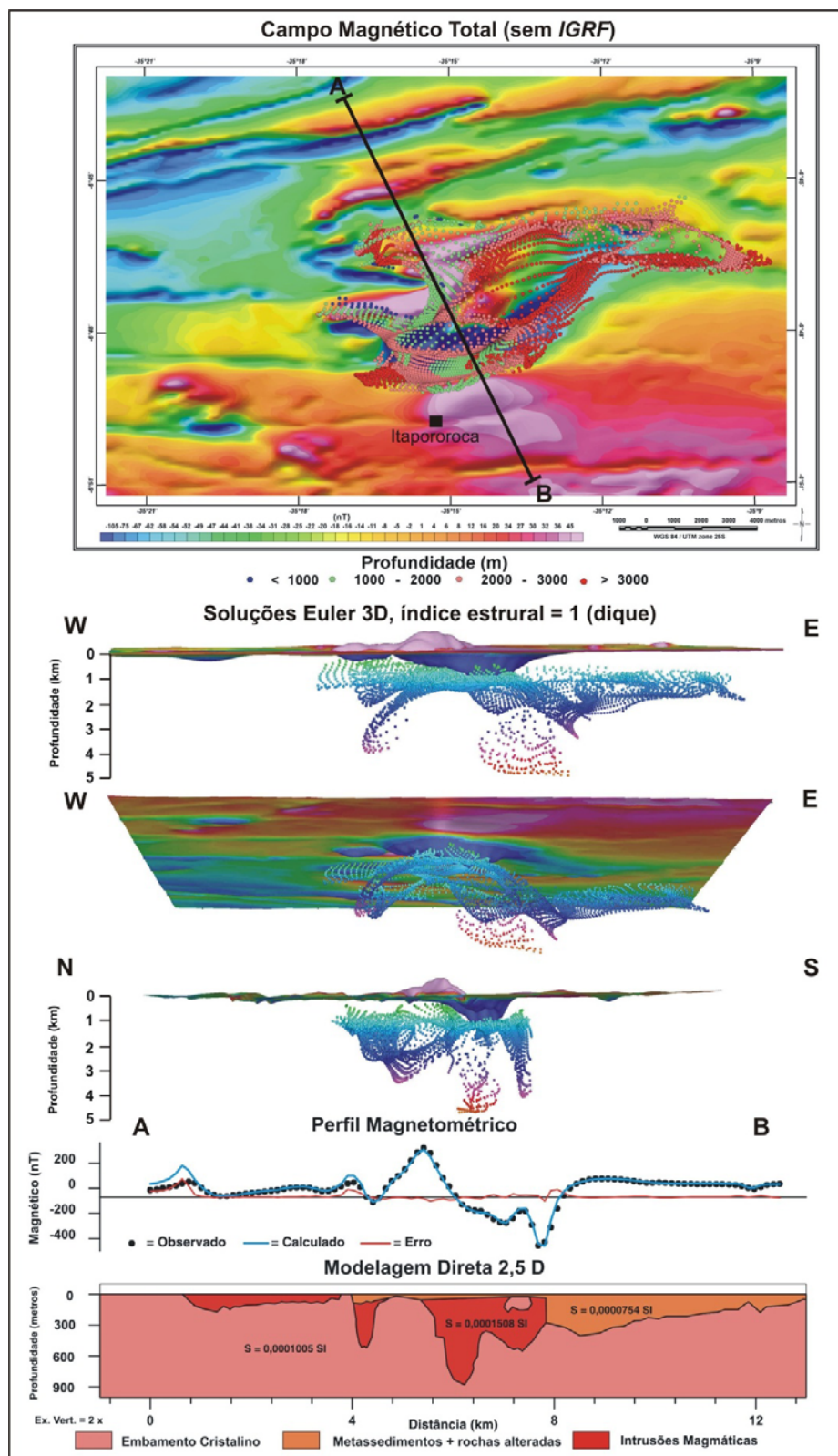


Figura 2: Deconvolução Euler 3D e modelagem direta 2,5D da anomalia magnética de Itapororoca (PB). As soluções da deconvolução estão revolvidas para que a forma tridimensional possa ser visualizada em diferentes ângulos.

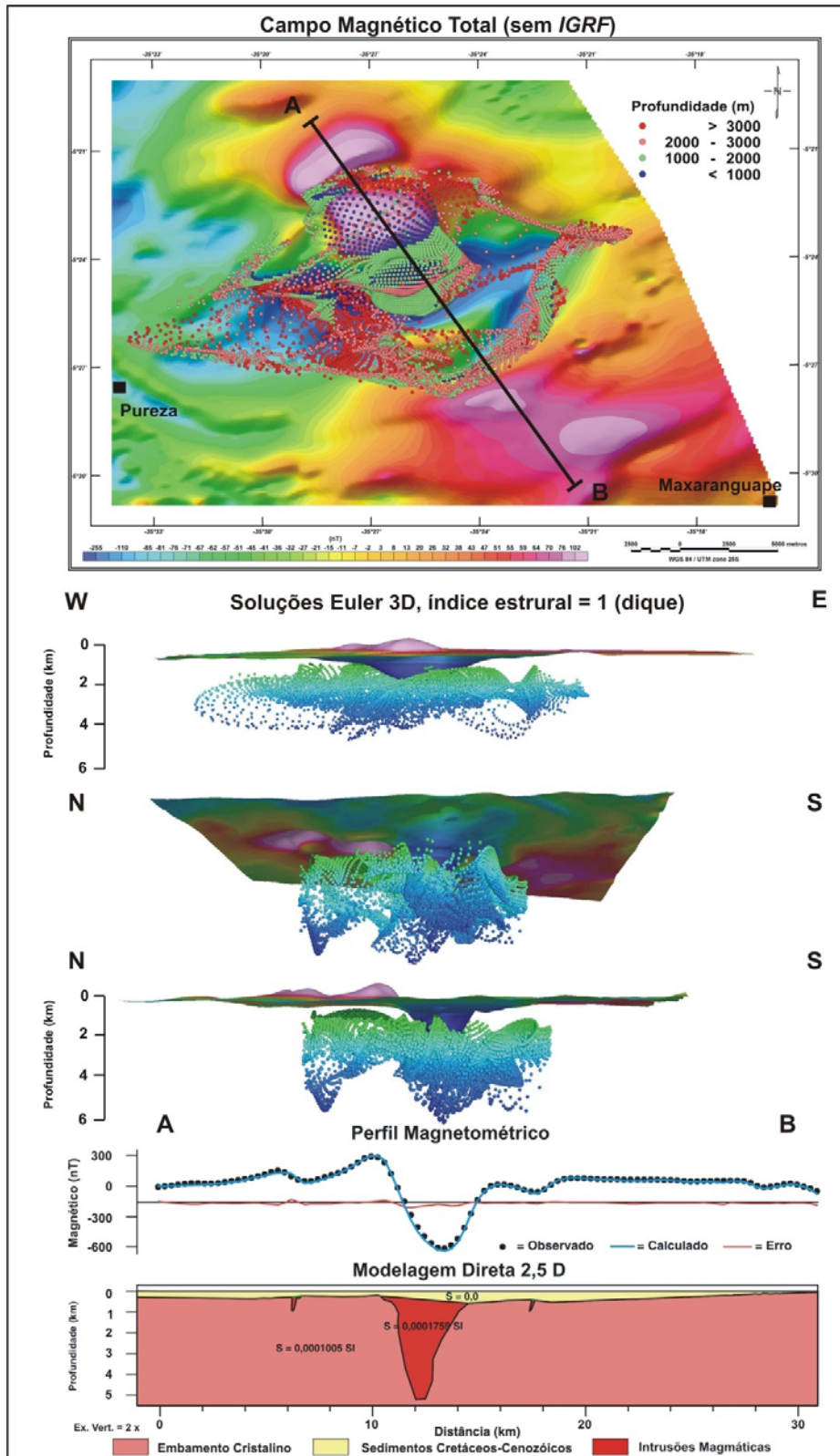


Figura 2: Deconvolução Euler 3D e modelagem direta 2,5D da anomalia magnética de Pureza (RN). As soluções da deconvolução estão revolvidas para que a forma tridimensional possa ser visualizada em diferentes ângulos.

**Anomalia de Itapororoca:** os resultados da modelagem obtidos com a deconvolução Euler para a anomalia de Itapororoca revelaram que as intrusões dos corpos magmáticos foram controladas por estruturas planares, possivelmente falhas e fraturas (Figura 2). As soluções formam um envoltório em torno do corpo principal, com profundidades máximas de 6 km, e com mergulho centrípeto, dando ao corpo principal uma forma cônica com base para cima. Esses planos devem corresponder ao contato do corpo com a encaixante, onde provavelmente ocorre uma maior concentração de minerais magnéticos. Corpos satélites se distribuem em torno do corpo principal, encaixados em possíveis planos de falhas, que no conjunto apresentam uma forma sigmóide, em mapa (Figura 2). Esses corpos satélites são corroborados pelos dados geológicos publicados por Brito Neves *et al.* (2008). As profundidades estimadas pela deconvolução Euler (máximo de 6 km) são inferiores às que foram obtidas por Mantovani *et al.* (2008), em uma modelagem 3D de dados gravimétricos (máximo de 8,5 km). Os resultados obtidos pela modelagem direta 2,5D (Figura 2) apresenta um corpo principal com susceptibilidade magnética de 0,00015 *SI*, com duas raízes, porém com a raiz principal atingindo apenas 0,9 km. As diferenças de profundidade entre os dois métodos podem ser explicadas pelo fato de que a modelagem direta foi capaz apenas de detectar as partes maciças da intrusão, enquanto a deconvolução Euler modelou também as estruturas alimentadoras e facilitadoras, falhas e fraturas, preenchidas com diques magnéticos. A modelagem direta também identificou um pacote de rochas com baixa susceptibilidade magnética (0,00008 *SI*) correlacionado com o afloramento de ortognaisses e metagrauvas (Brito Neves *et al.* 2008).

**Anomalia de Pureza:** os resultados da modelagem obtidos com a deconvolução Euler para a anomalia de Pureza também revelaram um forte controle por estruturas planares, que possivelmente são zonas de falha (Figura 3). Porém, neste caso, destaca-se um corpo maciço principal, que também tem forma de cone com base para cima. A modelagem estimou uma raiz com profundidade de 6 km. Um aspecto importante é a possível presença de corpos magnéticos anelares, em torno da intrusão principal. Essa possibilidade é reforçada pelo sinal analítico da anomalia magnética (Figura 4). O conjunto de soluções, em mapa, também tem forma sigmóide (Figura 3). Os resultados obtidos pela modelagem direta 2,5D (Figura 3) apresenta um corpo principal com susceptibilidade magnética de 0,00018 *SI* e raiz até a profundidade de 5 km, encoberto por uma camada de sedimentos com espessura em torno de 200 metros. A compatibilidade dos resultados das duas modelagens quanto à profundidade, ao contrário do que aconteceu no caso anterior, sugere que a fonte anômala de Pureza deve ser mais maciça do que a de Itapororoca.

Um aspecto relevante, que indica um posicionamento tectônico semelhante para as duas intrusões, é a forma sigmóide (romboédrica) apresentada pelas soluções Euler, que sugere intrusões facilitadas por um sistema de falhas transtensionais (uma zona *pull-apart*, Figura 5). A posição geográfica próxima da costa leste do Atlântico e a direção E-W dos sistemas de falhas interpretados,

permite especular que a zona de extensão pode ter sido formada pelo reflexo no continente do movimento das falhas transformantes no assoalho oceânico. Se isso for real, as intrusões dos corpos magmáticos teriam ocorrido já com as placas da América do Sul e da África em plena fase de deriva e, portanto, no Cenozóico.

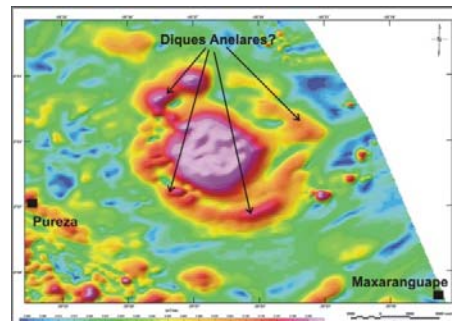


Figura 4: Sinal Analítico da anomalia de Pureza (RN)

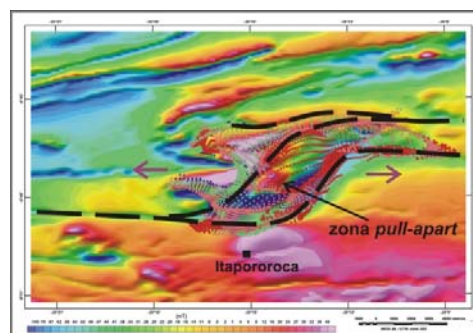


Figura 5: Zona *pull-apart* interpretada na intrusão de Itapororoca (PB). As setas indicam o movimento de extensão produzido pelas falhas interpretadas.

#### Referências

- Angelim L.A.A. (org.) 2006. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000*. Recife, CPRM, 119 p.
- Brito Neves B.B. *et al.* 2008. As anomalias geológicas e geofísicas localizadas ao norte de Itapororoca(PB), folha Guarabira. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**(1):1-23.
- Lasa & Prospectors 2008. *Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema*. Relatório Final. Rep. Fed. do Brasil, MME-CPRM, 401p.
- Mantovani M.S.M. *et al.* 2008. Gravimetric study of a potential mineral deposit in the Itapororoca region, Brazil. *Geophysical Prospecting*, **56**(5):751-760.
- Mizusaki A.M.P. *et al.* 2002. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in Northeastern Brazil. *Journ. South Amer. Earth Sciences*. **15**:183-198.
- Mushayandebvu, M.F. *et al.* 2001. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution: *Geophysics*, **66**(3): 814-823.
- Reid, A.B. *et al.* 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, **55**(1):80-91.