

2.2.2 Primeiras derivadas e gradiente horizontal total do campo magnético anômalo

O filtro de primeira derivada vertical calcula a variação vertical do campo magnético. O mapa resultante ressalta as fontes geológicas e estruturas rasas (Figura 4). Numa maneira semelhante, as duas primeiras derivadas horizontais representam a variação do campo magnético anômalo na horizontal. A primeira derivada horizontal em X (dX) ressalta as feições de orientação norte-sul (Figura 5a), enquanto as feições de orientação leste-oeste estão ressaltadas pela primeira derivada horizontal em Y (dY - Figura 5b). Cordell & Graucah (1985) definiram o gradiente horizontal total (GHT) como a raiz quadrada da soma dos quadrados das duas primeiras derivadas horizontais (3). O mapa de GHT pode ser usado junto com a primeira derivada vertical na interpretação estrutural de uma área.

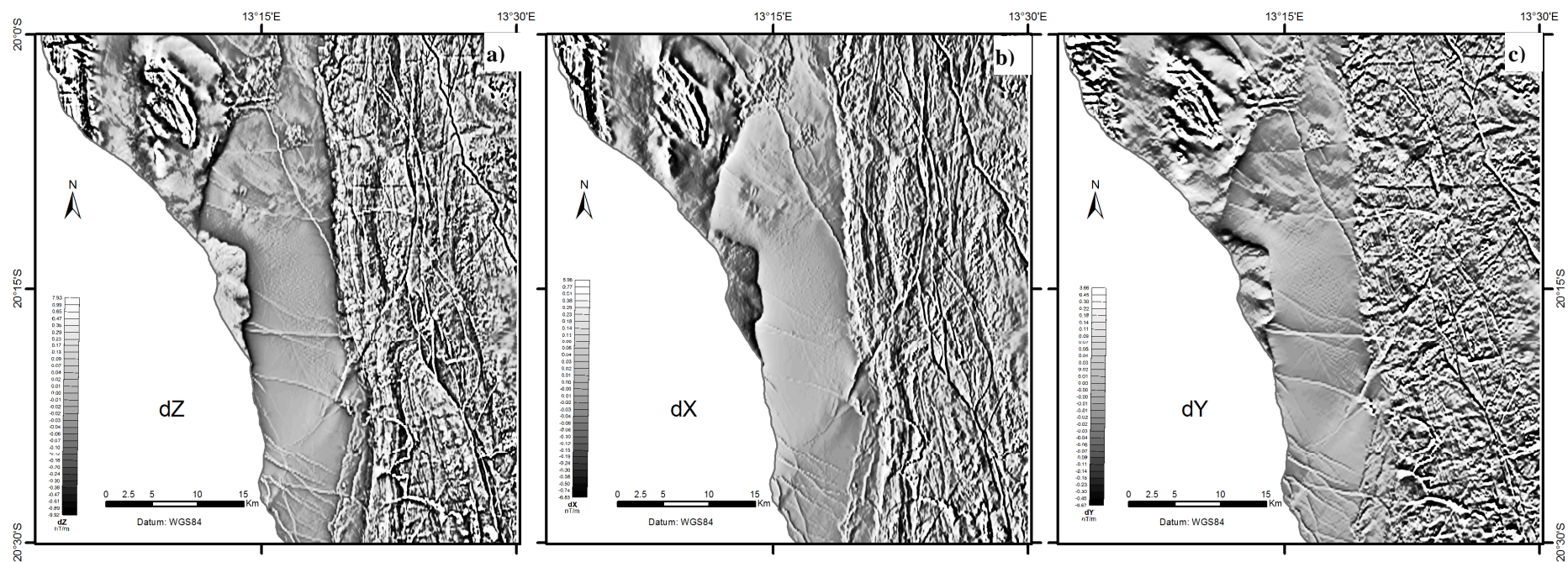
$$GHT = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (3)$$

2.2.3 Sinal Analítico (AS)

O filtro de sinal analítico é comumente utilizado para destacar as margens de corpos magnéticos, em particular quando a interpretação é complicada pela magnetização remanente ou quando a área de estudo é localizada em latitudes magnéticas baixas ($-30 \leq I \leq 30$). O sinal analítico centraliza as anomalias magnéticas sobre os corpos, sendo definida pela raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas em direções X, Y e Z - Equação 4 (Roest et al., 1992). A comparação dos mapas de AS, GHT e dZ mostrou-se como a melhor maneira de mapear os diques (Figura 5).

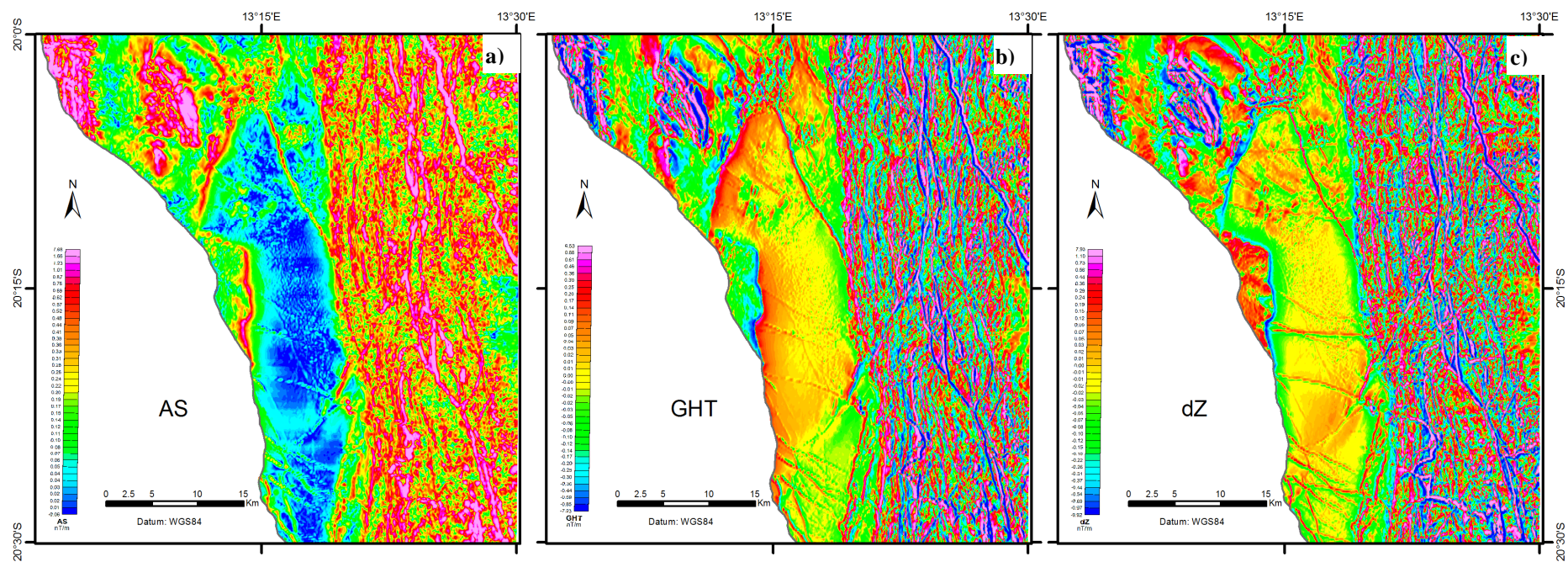
$$AS = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (4)$$

Figura 4 – Primeiras derivadas do campo magnético anômalo de Área 3



Legenda: Área 3 - Torra Bay: a) primeira derivada vertical (dZ); b) a primeira derivada horizontal em X (dX); e c) a primeira derivada horizontal em Y (dY).
Fonte: O autor, 2017.

Figura 5 – Comparação entre mapas temáticos dos dados magnéticos de Área 3



Legenda: Área 3 - Torra Bay: a) sinal analítico (AS); b) gradiente horizontal total (GHT); e c) a primeira derivada vertical (dZ) do campo magnético anômalo.
Fonte: O autor, 2017.

2.2.4 Deconvolução de Euler

A profundidade aparente de uma fonte (corpo magnético) pode ser calculada usando a equação de homogeneidade de Euler (deconvolução de Euler) - Equação 5. Observe a relação entre o campo magnético, seus componentes gradientes (dx, dy e dz) e a localização da fonte da anomalia magnética.

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (5)$$

Onde:

(x_0, y_0, z_0) = coordenadas da fonte magnética cujo campo magnético total (T) foi detectado na local

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = dx (primeira derivada horizontal em X do campo magnético)

$\frac{\partial T}{\partial y}$ = dy (primeira derivada horizontal em Y do campo magnético)

$\frac{\partial T}{\partial z}$ = dz (primeira derivada vertical do campo magnético)

B = campo magnético regional (obs. B-T = RTMI).

N = grau de homogeneidade (N) e dado pelo índice estrutural (SI).

O Índice Estrutural é um fator exponencial que corresponde à razão de queda (*fall-off rate*) do campo magnético com distância da sua fonte. No processo de Deconvolução de Euler, um modelo (geológico) apropriado é escolhido para determinar o valor do índice estrutural (Tabela 3). Um índice igual à zero implica que o campo magnético é constante independentemente da distância da fonte magnética. Porém, um valor igual à zero é fisicamente impossível então, na prática, um índice de 0,5 é usado para obter soluções razoáveis quando um índice igual à zero é indicado.

Tabela 3 - Modelos geológicos e seus valores do Índice estrutural (SI)

SI	Modelo geológico (fonte magnética)
0	Contato
1	Soleira/dique
2	Cilindro
3	Esfera

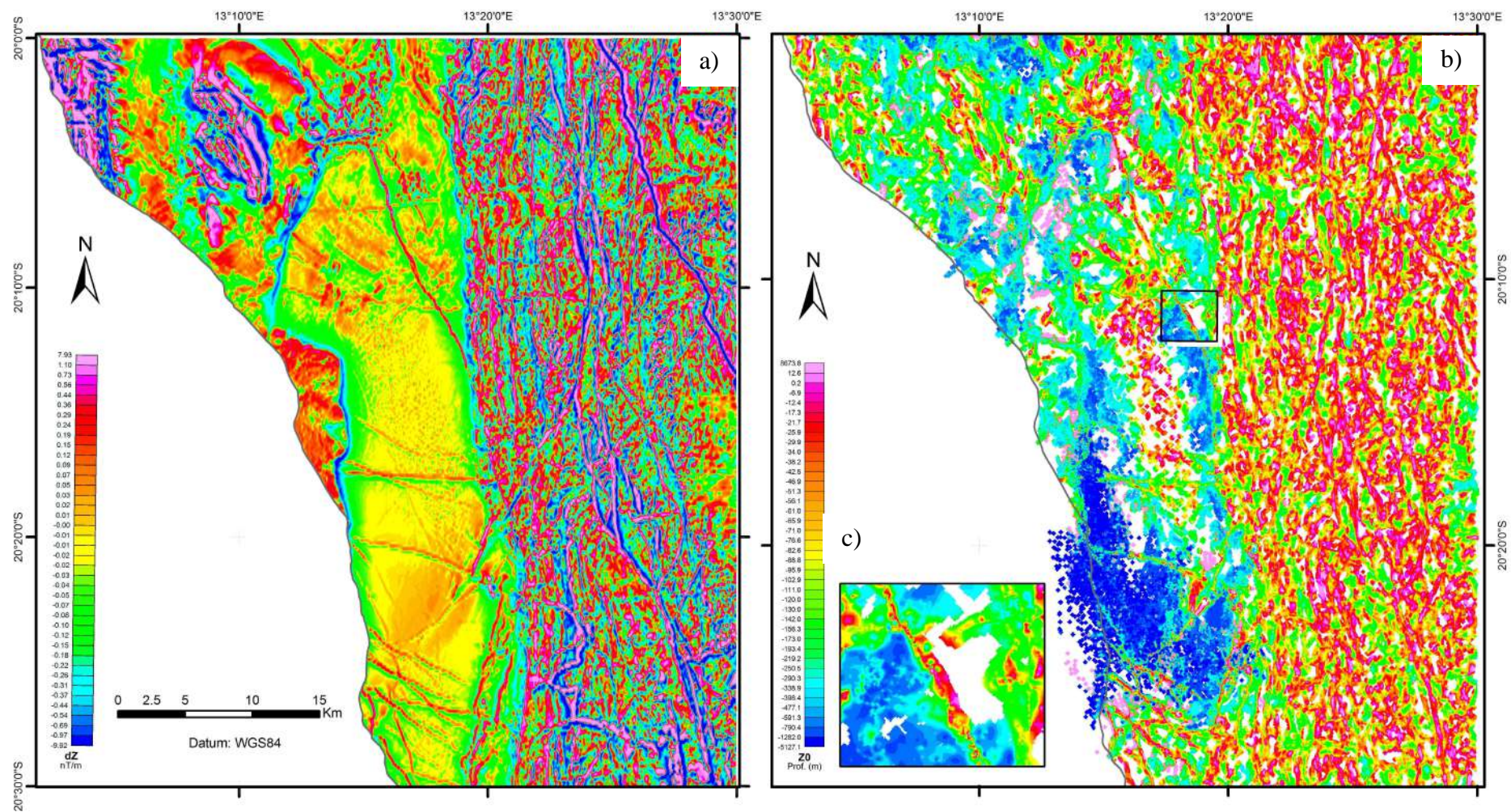
Fonte: GEOSOFT, 2007

O número de soluções para um *grid* do campo magnético depende do tamanho da janela de busca (*Search Window*). Esta janela é centrada na localização da solução da inversão, e todos os valores contidos nela são usados para resolver a equação de Euler para se obter a profundidade da fonte magnética. Observe que os valores estão ponderados pelo inverso da distância ao centro da janela. A janela deveria ter dimensões suficientes para incluir todos os valores anômalos do *grid* do campo magnético, gerados pela fonte de interesse, sem incluir anomalias adjacentes. Na inversão dos *grids*, uma janela de 500 x 500m foi escolhida para reduzir o número de soluções de Euler sendo que os *grids* são de escala regional. Por exemplo, a Área 3 (*Torra Bay*) possui dimensões de cinquenta quilômetros de extensão norte-sul por quarenta e nove quilômetros de extensão leste-oeste. A deconvolução de Euler foi aplicada aos dados (RTMI) das cinco áreas com dados aeromagnéticos de alta resolução, criando cinco bancos de dados das soluções de Euler, um para cada área. A Tabela 2 mostra os valores de elevação dos pontos centrais de cada área que foram usados como referência para este processo de inversão. As soluções de Euler foram gridadas para criar mapas de variação da profundidade das fontes das anomalias magnéticas. A Figura 6 apresenta o mapa de soluções de Euler para a Área 3 (*Torra Bay*) em comparação com a primeira derivada da mesma área (Figura 6a). Pode-se observar que muitas anomalias magnéticas lineares apresentam fontes magnéticas rasas localizadas diretamente embaixo delas, indicando corpos subverticais (Figura 6c).

2.3 Trabalhos de campo

Uma campanha de campo de um mês foi realizada no noroeste da Namíbia entre os meses de setembro e outubro de 2015. Durante este período, cento e vinte afloramentos foram descritos incluindo rochas variadas desde o embasamento arqueano e paleoproterozoico, aos sedimentos cenozoicos. Trinta diques toleíticos foram descritos em detalhe no campo. Nestes afloramentos dados estruturais foram coletados sempre com ênfase nas feições que permitem a análise cinemática e dinâmica das intrusões dos diques em questão. Todos os diques foram amostrados para realização de análises petrográficas e geoquímicas.

Figura 6 – Deconvolução de Euler dos dados magnéticos da região de Torra Bay



Legenda: Comparação entre: a) a primeira derivada vertical do RTMI e b) o mapa da variação em profundidade das fontes magnéticas; (c) Detalhe do mapa de soluções de Euler.

Fonte: O autor, 2017.

2.4 Litogeoquímica e Petrografia

Trinta e oito amostras referentes ao magmatismo Etendeka foram submetidas para análise geoquímica, sendo trinta e uma de diques, seis de derrames (máficas e félsicos) do Grupo Etendeka, e uma amostra do Granodiorito do Ombu (Erongo) com idade correlata de 132 Ma (Wigand et al., 2004). Apenas a porção menos intemperizada de cada afloramento foi amostrada, e com a chegada das amostras no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras da FGEL/UERJ (LGPA-FGEL) um fragmento de cada amostra foi selecionado para as análises posteriores. Estes fragmentos foram cortados por uma serra adiamantada, com cuidado para tirar qualquer material intemperizado das bordas, para obter fatias planas (*slabs*) de rocha. Estes *slabs* foram encaminhados para preparação adicional e análise geoquímica no *Activation Laboratories Ltd. (ACT Labs)* em Ontario, Canada. Lâminas delgadas também foram preparadas e descritas para vinte das trinta e oito amostras, com o objetivo de caracterizar a constituição mineralógica da matriz e a assembleia de fenocristais dos diques. O *ACT Labs* preparou as amostras conforme o código interno (RX1). As amostras passaram por britagem até 90% do material foi reduzido para fragmentos com menos de 2 mm de tamanho. Em seguida o material foi quarteado obtendo um volume representativo de 250g, que foi pulverizado usando moinhos de disco e bola, até que pelo menos 95% do material tivesse tamanho menor de 105 micra. Vale ressaltar que todos os moinhos usados são de aço macio (aço-carbono de baixo teor de carbono) para evitar contaminação de cromo e o níquel. Volumes menores (3g e 0,5g) de cada amostra foram separados para fusão de lítio metaborato/tetraborato. O material fundido resultante foi dissolvido rapidamente numa solução diluída de ácido nítrico. Esta técnica garante que os óxidos maiores, minerais refratários, as terras raras (REE) e outros elementos de elevado potencial iônico (HFSE) sejam colocados em solução. As concentrações dos óxidos maiores foram determinadas por espectrometria de emissão atômica de plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), enquanto que a espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) foi utilizado para obter as concentrações dos 45 elementos traços, incluindo as terras raras. Os resultados destas análises e os limites de detecção de cada óxido ou elemento estão incluídos no Anexo C desta dissertação.

2.5 Análise Estrutural

Os dados estruturais coletados no campo incluem a orientação das paredes dos diques e as fraturas internas de resfriamentos dos diques, além das orientações de estruturas nas rochas encaixantes, entre elas o acamamento sedimentar, fraturas, foliação metamórfica, bandeamento gnáissico. Estes dados estruturais forneceram subsídios na interpretação da cinemática dos diques observados no campo. A análise cinemática seguiram os conceitos da tectônica do alojamento dos diques que serão descritos no Capítulo 4.

Os dados estruturais foram tratados, após a etapa de campo, e organizados em tabelas. As direções (strike) dos diques mapeados através da interpretação dados aeromagnéticos e sensoriamento remoto foram extraídas usando uma ferramenta de geoprocessamento do programa ArcGIS, "*split into COGO lines*," onde COGO é a sigla em inglês pra *coordinate geometry*. Esta ferramenta dividiu todos os diques em segmentos retos, e calculou o comprimento e a direção de cada segmento. Estes dados foram exportados do ArcGIS em formato *.txt para poder gerar as rosetas de direções apresentadas e discutidas na seção 6.1 desta dissertação.

As rosetas das direções de diques, e outras rosetas de direções das zonas de cisalhamentos da Faixa Kaoko, das fraturas internas de esfriamentos dos diques e das direções das direções dos paleotensores atuantes durante a intrusão dos diques, apresentadas no Capítulo 6 desta dissertação, foram confeccionadas no programa Geosoft. Este programa é disponível gratuitamente online para uso academico através do site: <http://www.holcombe.net.au/software/>.