

ALESSANDRA DE BARROS E SILVA

**CONECTIVIDADE E COMPARTIMENTAÇÃO MAGNÉTICA-
ESTRUTURAL DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SERRA GERAL E
GUARANI NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de
Pós-Graduação em Geologia Ambiental,
Departamento de Geologia, Setor de Ciências
da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira

Co-orientadores:

Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt

Prof. Dr. Eduardo Salamuni

CURITIBA

2007

***“Know that:
In the end, if all you have left is a positive attitude
that’s more than enough”***

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	ix
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	04
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	05
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	05
3.2 FISIOGRAFIA	06
3.3 CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL	12
3.4 SISTEMAS AQUÍFEROS	24
3.4.1 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)	25
3.4.2 SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 BASE DE DADOS	33
4.2 DADOS DE SENSORES DE REMOTOS	33
4.2.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)	33
4.2.2 IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 7 SENSOR ETM+	34
4.2.3 REDE DE DRENAGEM	34
4.3 DADOS DE CAMPO	34
4.4 DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS	35
4.5 DADOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROQUÍMICOS	37

5	CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL MAGNÉTICA	39
5.1	ANÁLISE ESTRUTURAL DE SUPERFÍCIE	39
5.1.1	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	41
5.1.2	IMAGEM DE SATÉLITE	47
5.1.3	REDE DE DRENAGEM	49
5.1.4	LEVANTAMENTO DE CAMPO	51
5.2	ANÁLISE ESTRUTURAL DE SUBSUPERFÍCIE	55
5.2.1	PRÉ-PROCESSAMENTO	55
5.2.1.1	GERAÇÃO DAS MALHAS REGULARES	55
5.2.1.2	MICRONIVELAMENTO	57
5.2.2	PROCESSAMENTO	58
5.2.2.1	INTEGRAL VERTICAL	58
5.2.2.2	GRADIENTE VERTICAL	58
5.2.2.3	GRADIENTES HORIZONTAIS	59
5.2.2.4	CONTINUAÇÕES ASCENDENTES	59
5.2.2.5	GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL	61
5.2.2.6	AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO	67
5.2.2.7	FASE DO SINAL ANALÍTICO	73
5.2.2.8	GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL DA FASE DO SINAL ANALÍTICO	78
5.2.2.9	FASE DO SINAL ANALÍTICO DO GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL	83
5.2.2.10	GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL REALÇADO	88
5.2.2.11	FASE DO SINAL ANALÍTICO DE SEGUNDA ORDEM	91
5.2.2.12	SOMA DOS VALORES ABSOLUTOS DAS DERIVADAS HORIZONTAIS	91
5.2.2.13	OPERADOR DE LA PLACE – SEGUNDA DERIVADA VERTICAL	91
5.2.2.14	FASE DO SINAL ANALÍTICO DO GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL REALÇADO	91
5.2.2.15	AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO DE ORDEM N (Z)	91

5.2.2.16	AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO DE ORDEM N (X, Y, Z)	92
5.2.2.17	AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO COMPOSTO	92
5.2.2.18	THETA MAP	92
5.2.2.19	LINEAMENTOS GEOFÍSICOS	93
5.3	ARCABOUÇO ESTRUTURAL MAGNÉTICO COMUM	97
6	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGIA E HIDROQUÍMICA	99
6.1	ANÁLISE DOS DADOS	100
6.1.1	VARIÁVEIS HIDROGEOLÓGICAS	103
6.1.1.1	PROFUNDIDADE DE PERFURAÇÃO	103
6.1.1.2	POTENCIOMETRIA	104
6.1.1.3	VAZÃO	107
6.1.1.4	CAPACIDADE ESPECÍFICA	108
6.1.2	VARIÁVEIS HIDROQUÍMICAS	110
6.1.2.1	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	111
6.1.2.2	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)	112
6.1.2.3	TIPOLOGIA DAS ÁGUAS	114
6.1.2.4	ÍONS MAJORITÁRIOS (CÁTIONS E ÂNIONS)	122
7	DISCUSSÃO	127
8	CONCLUSÕES	133
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

ANEXO I – TABELAS DOS POÇOS SASG

ANEXO II – TABELAS DOS POÇOS COM BALANÇO IÔNICO

ANEXO III – FICHAS DE DESCRIÇÃO DOS AFLORAMENTOS

AGRADECIMENTOS

Os meus mais sinceros agradecimentos ao professor, amigo e companheiro Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira, por sua ajuda, críticas e compreensão, sem as quais esse trabalho não teria sido realizado. Incrível como com todas as suas atribuições, ele sempre soube o que dizer, me orientando nesta linha da vida. Algumas vezes eu nem sabia por que ele me pedia para fazer isso ou ler aquilo, mas passado um tempo todas as suas palavras foram de grande valia para o desenvolvimento do pensamento geológico aqui empregado.

Agradecimentos a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e ao Curso de Pós Graduação em Geologia da UFPR.

A Petrobras, Sanepar, Suderhsa e Antonio Carlos Buchmann Filho pela cessão dos dados aerogeofísicos e das análises hidroquímicas dos poços, essenciais para este estudo.

A Mineropar pelos dados fornecidos, em especial ao Rogério da Silva Felipe, Miguel, Bia e Norma.

Aos co-orientadores Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt e Prof. Dr. Eduardo Salamuni e ao Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata pelas revisões realizadas no trabalho.

Aos companheiros do LPGA, MSc. Rodoilton Stevanato, Luis Gustavo de Castro e Jeferson Ulisses da Cunha que sempre estiveram à disposição para qualquer tipo de ajuda, além do bom humor e parceria no laboratório.

Aos amigos geólogos que muito colaboraram no implemento de novas técnicas computacionais, nas conversas e discussões Gustavo Athayde, Daniel Fabian Bettú, Ana Paula Soares e Camila Muller. Também ao Carlos Vieira Portela Filho pelo apoio na adequação das malhas aeromagnetométricas no início dos trabalhos e aos colegas Ary Gustavo Candido e Eduardo Mezzomo que cederam dados sobre a Bacia do Paraná.

A Isabella Figueira, uma grande amiga, geóloga, que realizou as edições dos mapas aqui apresentados e colaborou na utilização do programa LinAnalyst.

Este título é também do Geólogo Gilson Bongioiolo, essencial na minha vida, sem o qual eu não teria concluído este trabalho, devido à sua grande ajuda e companheirismo revelados desde que o conheci.

Por fim, o agradecimento mais importante, aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar, mesmo que até hoje não compreendam a complexidade dos estudos geológicos. Também a minha irmã Claudía pela amizade.

RESUMO

Projetos recentes de pesquisa no Sistema Aquífero Guarani (SAG-granular), Bacia do Paraná, Brasil, têm avaliado o controle tectônico e seu potencial hidrogeológico, padrões de fluxo, propriedades químicas e aspectos de proteção ambiental. Um destes projetos é a presente pesquisa, a qual investigou uma área estruturada na região central do estado do Paraná, delimitada pelas coordenadas 24°00'S, 25°00'S, 51°00'W e 53°00'W, com aproximadamente 23.000 km². O estudo envolve integrações em Sistema de Informações Geográficas (SIG) de dados aerogeofísicos, geológicos, estruturais (MDE e imagens Landsat), hidrogeológicos e hidroquímicos. Lavas basálticas e diques de diabásio (NW-SE) da Formação Serra Geral (Cretáceo Inferior) predominam na área estudada. Estas rochas correspondem ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG-fraturado) sobrejacente. O objetivo do estudo é investigar o controle estrutural do fluxo e do quimismo das águas subterrâneas do SASG e identificar também as fraturas que possam representar zonas hidráulicas de conexão com o SAG subjacente.

Processamentos e interpretação de dados aeromagnéticos a partir de várias técnicas, úteis para realçar fontes rasas, e a integração com dados de outros sensores remotos e geológicos permitiram a composição de um arcabouço estrutural regional, o qual é caracterizado por um mosaico de blocos tectônicos limitados por estruturas de NW-SE (diques de diabásio) e de NE-SW (embasamento da Bacia do Paraná). Este novo arcabouço magnético-estrutural foi comparado com a distribuição espacial dos parâmetros hidrogeológicos (potenciometria, fluxo e capacidade específica) e hidroquímicos (Na²⁺ K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺; Cl⁻, HCO₃⁻ + CO₃²⁻, SO₄²⁻; sólidos totais dissolvidos – STD e pH).

A interpretação integrada permitiu reconhecer o controle estrutural da hidrogeologia, hidroquímica e sugerir duas hipóteses de acordo com os resultados obtidos. A primeira delas relaciona a porção NE da área com elevados teores de todos os elementos como uma zona de maior confinamento das águas do SASG onde as falhas estariam preenchidas por diques de diabásio atuando como barreiras hidráulicas ao fluxo e modificando a assinatura química típica destas águas. A segunda hipótese indica taxas diferenciadas de mistura de águas dos SASG e SAG caracterizando zonas de conectividade hidráulica. Neste caso as águas típicas do SASG são bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas magnesianas e as águas interpretadas como de conectividade dos sistemas são de composição bicarbonatada sódica e bicarbonatada cálcio sódica. Os resultados, apresentados em um mapa georreferenciado, mostram as principais zonas de confinamento e/ou conexão dos SASG e SAG.

ABSTRACT

Recent research projects on the Guarani Aquifer System (GAS-granular), Paraná Basin, Brazil, have been evaluated the tectonic control of its hydrogeological potential, flow patterns, chemical properties and environmental protection aspects. One of this projects is the present research, that has investigated a structured area in central Paraná State, delimited by coordinates 24°00'S, 25°00'S, 51°00'W and 53°00'W with just about 23.000 km². The study involves GIS integration of aerogeophysical, geological, structural lineament (based on DEM and Landsat images), hydrogeological and hydrochemical data. Basalts flows and diabase dykes (NW-SE) of the Serra Geral Formation (Lower Cretaceous) predominate in the studied area. These rocks correspond to the overlying Serra Geral Aquifer System (SGAS-fractured). The purpose of the study is to investigate the structural control of both flow and chemistry of SGAS groundwater and also to identify fractures that might represent hydraulic connection zones to the underlying GAS.

Processing and interpretation of aeromagnetic data from various techniques, useful for enhance shallow sources, and the integration with others remote sensing and geological data permitted to outline the regional structural framework Which has characterized a mosaic of tectonic blocks delimited by NW-SE (diabase dykes) and NE-SW (Paraná Basin basement) structures. This magnetic-structural framework was compared with the spatial distribution of hydrogeological (potentiometry, outflow and specific capacity) and hydrochemical parameters (Na²⁺ K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺; Cl⁻, HCO₃⁻ + CO₃²⁻, SO₄²⁻; total dissolved solids – TDS and pH).

The integrated interpretations allowed the recognition of the structural control on hydrogeology, hydrochemistry and suggest two hypotheses in accordance with the gotten results. The first one of them relates portion NE of the area with raised texts of all the elements as a zone of bigger confinement of waters of the SASG where the falts would be filled by diabásio dikes acting as hydraulical barriers to the flow and modifying the typical chemical signature of these waters. The second hypothesis indicates differentiated taxes of water mixture of SASG and SAG characterizing zones of hydraulical connection. In this case the typical waters of the SASG are calcium-bicarbonate and magnesium-bicarbonate and the waters interpreted as the systems connection are sodium-bicarbonate and sodium/calcium-bicarbonate. The results, presented in a georreferenciado map, show to the main zones of confinement and/or connection of SASG and SAG.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa magnético (parcial) do estado do Paraná indicando a área de estudo.	03
FIGURA 2 - Localização da área de estudo	05
FIGURA 3 - Mapa hipsométrico da área de estudo.	08
FIGURA 4 - Mapa de solos da área (Embrapa, 1981).	09
FIGURA 5 - Mapa geomorfológico da área (Mineropar, 2006).	10
FIGURA 6 - Fotografias ilustrando o tipo de relevo da área em estudo.	12
FIGURA 7 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 2001).	14
FIGURA 8 - Diagrama crono-estratigráfico da Bacia do Paraná (Milani, 2001).	15
FIGURA 9 - Mapa geológico da área estudada (Mineropar, 2001).	17
FIGURA 10 - Mapas regionais de lineamentos estruturais.	21
FIGURA 11- Mapa e perfil Geológico NE–SW realizado nas proximidades do Arco de Ponta Grossa (Strugale et al.,2002).	23
FIGURA 12 - Modelo conceitual preliminar dos principais meios de circulação de água nos derrames basálticos em SP (modificado de Fernandes et al., 2007).	27
FIGURA 13 - Superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani com área de estudo em vermelho. (Fonte: Araújo et al., 1999).	29
FIGURA 14 - Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.	32
FIGURA 15 - Mapa índice dos levantamentos aeromagnetométricos da Bacia do Paraná no Brasil.	36
FIGURA 16 - Mapa do arcabouço estrutural da área de estudo	40
FIGURA 17 - Modelo Digital de Elevação (MDE) .	42
FIGURA 18 - Lineamentos estruturais maiores obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE).	43
FIGURA 19 - Lineamentos estruturais menores obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE).	44
FIGURA 20 - Diagramas de roseta (frequência e comprimento) dos lineamentos estruturais	45
FIGURA 21 - Mapas de roseta de frequência e comprimento acumulados para os lineamentos obtidos com o MDE.	46
FIGURA 22 - Imagens Landsat7 ETM+ da área de estudo	48
FIGURA 23 - Rede de drenagem e geologia da área de estudo com o traçado dos principais lineamentos.	50

FIGURA 24 - Mapa de pontos de campo e suas respectivas rosetas, indicando as principais rodovias, municípios e drenagens	52
FIGURA 25 - Fotografias das pedreiras de basalto visitadas durante etapa de campo.	53
FIGURA 26 - Mapa das linhas de vôo N-S	56
FIGURA 27 - Mapa do campo magnético residual	56
FIGURA 28 - Mapa do campo magnético residual micronivelado.	58
FIGURA 29 - Mapa magnético residual continuado para 2000 metros	60
FIGURA 30 - Mapa magnético residual continuado para 5000 metros	61
FIGURA 31 - Mapa do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	63
FIGURA 32 - Mapa do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	64
FIGURA 33 - Mapa do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	65
FIGURA 34 - Mapa do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	66
FIGURA 35 - Mapa do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	69
FIGURA 36 - Mapa do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	70
FIGURA 37 - Mapa do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 m (A) e sua respectiva interpretação (B)	71
FIGURA 38 - Mapa do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	72
FIGURA 39 - Mapa da fase do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	74
FIGURA 40 - Mapa da fase do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	75
FIGURA 41 - Mapa da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	76
FIGURA 42 - Mapa da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	77

FIGURA 43 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	79
FIGURA 44 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	80
FIGURA 45 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	81
FIGURA 46 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	82
FIGURA 47 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	84
FIGURA 48 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	85
FIGURA 49 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	86
FIGURA 50 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	87
FIGURA 51 - Mapa do gradiente horizontal total realçado a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	89
FIGURA 52 - Mapa do gradiente horizontal total realçado a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B)	90
FIGURA 53 – Mapa dos lineamentos geofísicos integrados.	94
FIGURA 54 - Diagramas de roseta para direções de frequência e comprimento dos lineamentos geofísicos	95

FIGURA 55 - Mapas de roseta de freqüência e comprimento acumulados para os lineamentos obtidos pela interpretação geofísica.	96
FIGURA 56 - Mapa do arcabouço estrutural-magnético comum proposto para a área em estudo	98
FIGURA 57 – Modelo Conceitual de Fluxo das águas subterrâneas do SASG e SAG. (Adaptado de Fernandes et al., 2006 e Strugale et al., 2007).	100
FIGURA 58 - Mapa de localização dos Poços Tubulares Profundos fornecidos pela Sanepar (SA), Suderhsa (SD) e Buchmann Filho (B), sobreposto ao mapa geológico	102
FIGURA 59 - Mapa de profundidade dos poços da área de estudo.	104
FIGURA 60 - Diagrama de dispersão entre as cotas dos poços e do nível potenciométrico.	105
FIGURA 61 - Perfil de direção SW- NE indicando as relações entre relevo e potenciometria.	105
FIGURA 62 - Mapa da superfície potenciométrica.	106
FIGURA 63 - Mapa das cotas altimétricas dos poços.	107
FIGURA 64 - Mapa de vazões.	108
FIGURA 65 - Mapa de capacidade específica.	109
FIGURA 66 - Perfil de direção SW-NE indicando as relações entre capacidade específica, vazão e STD.	109
FIGURA 67 - Mapa do potencial hidrogeniônico (pH).	112
FIGURA 68 - Mapa dos sólidos totais dissolvidos (STD).	113
FIGURA 69 - Diagrama de Piper mostrando a composição das amostras analisadas.	115
FIGURA 70 - Diagrama dos íons majoritários mostrando a classificação de Fraga (1992), para as amostras avaliadas neste estudo.	116
FIGURA 71– Mapa da tipologia química das águas dos poços.	117
FIGURA 72 - Mapa dos íons majoritários.	126
FIGURA 73 – Mapa de Interpretação das zonas de conectividade hidráulica.	132

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Parâmetros de aquisição, períodos e áreas abrangidas pelos levantamentos aeromagnetométricos da bacia do Paraná no Brasil.	35
TABELA 2 - Estatística dos parâmetros de interesse das águas subterrâneas da área do estudo	103
TABELA 3 - Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos de interesse das águas subterrâneas da área do estudo.	110
TABELA 4 - Interpretação dos principais parâmetros de classificação das águas.	118

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTO 01: Relevo da área rumo S/SW.	12
FOTO 02: Relevo da área rumo W.	12
FOTO 03: Relevo da área sentido SE.	12
FOTO 04: Rio Cantú.	12
FOTO 05: Vista de pedreira de basalto inativa. Corte da lavra EW.	53
FOTO 06: Pedreira de basalto abandonada no município de Pitanga.	53
FOTO 07: Antiga frente da pedreira de basalto com bancadas.	53
FOTO 08: Frente ativa da pedreira de basalto.	53
FOTO 09: Lavra de basalto abandonada. Corte da lavra NW/SE.	53
FOTO 10: Frente de lavra Comercial Ivaiporã.	53
FOTO 11: Pedreira Estrela do Ivaí.	54
FOTO 12: Pedreira Campus Mourão.	54
FOTO 13: Pedreira Luca. Material brechado.	54
FOTO 14: Detalhe material brechado.	54
FOTO 15: Frente abandonada da Prefeitura de Roncador. Local do bicão.	54
FOTO 16: Frente abandonada da Prefeitura de Altamira do Paraná.	54

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vários trabalhos têm sido desenvolvidos no contexto do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), no estado do Paraná, buscando avaliar sua compartimentação magnética-estrutural em correspondência à conectividade hidráulica com o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e outros aquíferos sotopostos. O Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada (LPGA/UFPR) vem desenvolvendo nos últimos anos pesquisas hidrogeofísicas associadas a este contexto, com base na proposição de projetos de pesquisa hidrogeológica na Bacia do Paraná (Rosa Filho *et al.* 2003), cujo foco central é avaliar o potencial, o fluxo, o quimismo e a proteção ambiental do SAG, com base no arcabouço estrutural, e em trabalhos já realizados neste contexto (*e.g.* Portela Filho 2003; Portela Filho *et al.* 2005; Ferreira *et al.* 2005), assim como em áreas adjacentes onde se dispõe de cobertura aeromagnetométrica no estado do Paraná (*e.g.* Bettú 2004; Bettú e Ferreira 2005; Bettú *et al.* 2006), como mostra a Figura 1.

Em continuidade, o presente trabalho é fruto do Projeto **Conectividade e compartimentação estrutural-magnética dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani na região central do estado do Paraná** (Ferreira 2004), financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo nº 47.0689/2004-8), cuja localização é indicada na Figura 1, e é baseado na integração, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), de dados aeromagnetométricos, geológicos, topográficos, hidrogeológicos e hidroquímicos.

Considerado como um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, o SAG envolve rochas-reservatório do Triássico e do Jurássico, perfazendo uma área aproximada de 1.200.000 km², distribuída pelo Brasil e países vizinhos como Uruguai, Paraguai e Argentina (Araújo *et al.* 1995). Tal sistema aquífero ocorre subjacente ao conjunto de rochas magmáticas (principalmente basaltos e diques de diabásio), as quais constituem o arcabouço litológico do SASG.

O SAG encerra volume expressivo, estimado em 46.000 km³, taxas de recarga e tempo de renovação que possibilitam extrair vazões entre centenas até 1.000-2.000 m³/h, mas que apresenta particularidades quanto ao comportamento hidráulico, em situações de confinamento, reflexo das heterogeneidades estruturais (Ferreira 1982a,b; Zalán *et al.* 1990) das bacias do Paraná e do Chaco-Paraná. Estudos realizados no Paraná constataram que a localização da superfície potenciométrica acima do topo dos reservatórios granulares

implicam que as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (SASG) funcionam também como reservatórios, além de seu caráter de barreira hidráulica. Dessa forma, pelo menos parcialmente, os aquíferos fraturados nos basaltos devem ser considerados como componentes do mesmo sistema hidrogeológico, consoante à provável conexão com o aquífero granular e o caráter de similaridade de alguns padrões de fluxo.

Com respeito ao controle exercido pelos arqueamentos, vale ressaltar a existência de enxames de diques de diabásio (NW-SE) que ocorrem ao longo do Arco de Ponta Grossa (Ferreira 1982a,b). A presença dos diques exerce um papel fundamental na estruturação do SAG, formando grandes compartimentos. Segundo Araújo *et al.* (1995), os regimes hidrológicos são distintos em tais compartimentos, levando a uma segmentação no padrão de fluxo a partir das zonas de recarga. O gradiente de fluxo regional é modificado por descargas locais induzidas pelo cruzamento de falhas regionais e enxames de diques. A mistura do SASG fissural, com as águas do SAG granular, já foi evidenciada em trabalhos anteriores (*e.g.* Bittencourt 1978; Fraga 1986,1992; Rosa Filho *et al.* 1987; Buchmann 2002; Bittencourt *et al.* 2003; Portela Filho 2003; Portela Filho *et al.* 2005). Entender essa mistura das águas e posicionar as zonas intermediárias de descarga, principalmente para o território brasileiro, constitui aspecto exploratório importante.

Portanto, o desenvolvimento dos modelos hidrogeológico e exploratório para o SAG deve focar aspectos estruturais e suas relações com as zonas de recarga e descarga. A partir dessa premissa, torna-se fundamental estabelecer uma estratégia de exploração, envolvendo fatores técnico-científicos (geológicos, geofísicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, etc.) e sócio-econômicos, que permita definir os locais mais propícios para extração e exploração de água subterrânea e, ao mesmo tempo, possibilite um gerenciamento que compatibilize tal produção com o uso sustentável e proteção ambiental do SAG.

A definição da compartimentação estrutural-magnética é, pois, imprescindível para o avanço dos conhecimentos do SAG, haja vista sua conexão hidráulica com o SASG. Neste sentido, a presente pesquisa é direcionada ao estudo do SASG, e à investigação acerca do papel que as estruturas exercem no fluxo hidráulico do SASG e no dos aquíferos granulares sotopostos, como o SAG. A literatura mencionada apresenta indicadores de que a compartimentação de ambos os sistemas aquíferos aponta para um grau variado de isolamento das águas, barreiras físicas ao fluxo no SAG e conectividade com o SASG por fluxo ascendente através de fraturas, aspectos estes que serão aqui aprofundados.

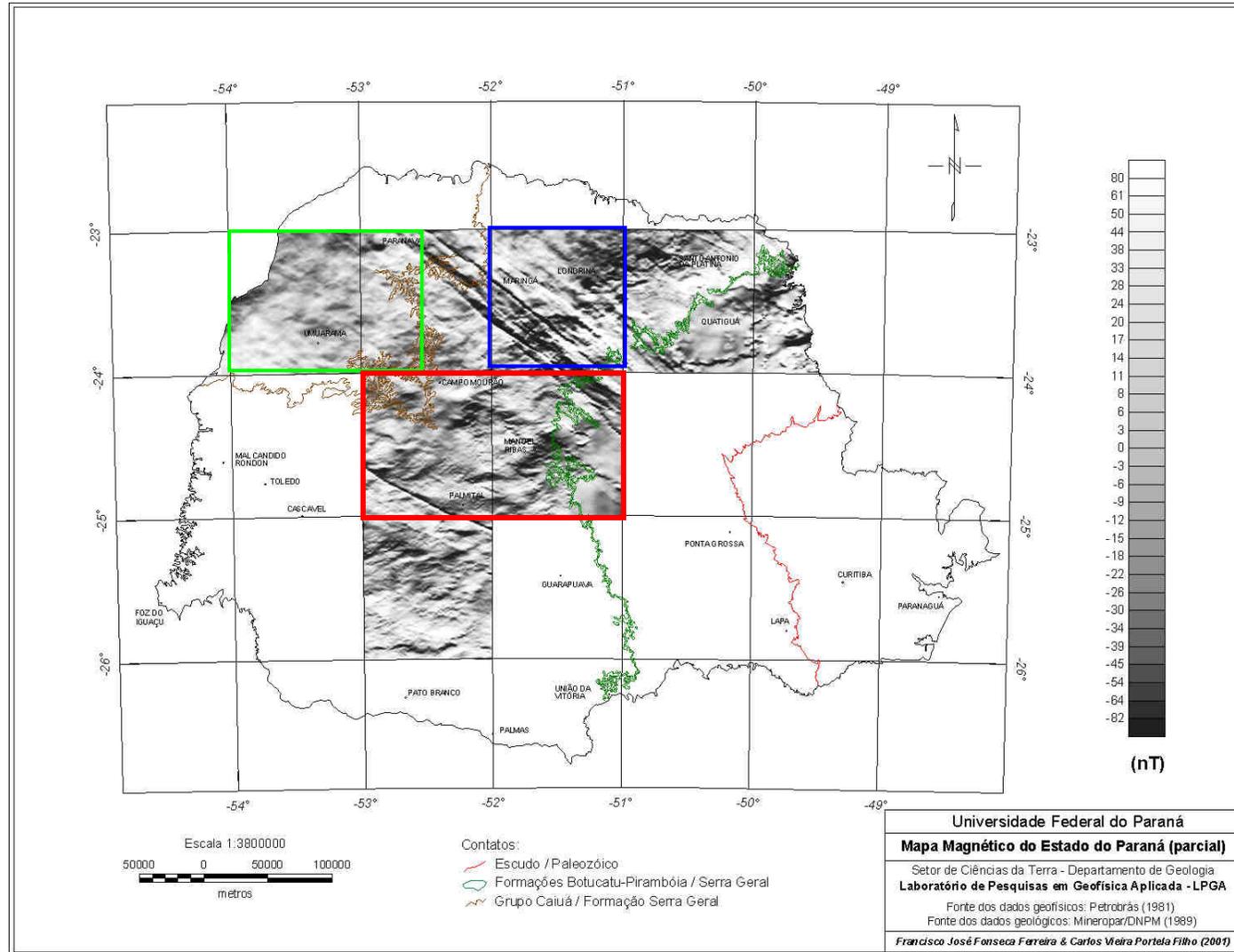


Figura 1 – Mapa magnético (parcial) do estado do Paraná indicando a área de estudo (vermelho) e os tratos já estudados por Portela Filho (2003 - azul) e Bettú (2004 - verde).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é **caracterizar a possível conectividade dos SASG e SAG** através da inter-relação do arcabouço estrutural-magnético e os dados hidrogeológicos e hidroquímicos da região. Para tal foi necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

1) Caracterizar o **arcabouço estrutural-magnético** da Bacia do Paraná na porção central do estado homônimo através do processamento e interpretação dos dados aeromagnéticos do Projeto Rio Iguaçu (Petrobras 1981), disponibilizados pelo LPGA/UFPR.

2) Avaliar a **influência** deste arcabouço **no padrão de fluxo das águas subterrâneas** no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), com base em dados hidrogeológicos (potenciometria, vazão, capacidade específica) de poços completados na Formação Serra Geral e à luz da compartimentação estrutural-magnética definida no item 1;

3) Interpretar as possíveis **zonas de conectividade hidráulica** dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani, a partir de dados hidroquímicos (pH, sólidos totais dissolvidos - STD, cátions – Na^+ + K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e ânions – Cl^- , HCO_3^- + CO_3^{2-} , SO_4^{2-}), com base na compartimentação estrutural-magnética definida no item 1.

4) **Integrar** os dados anteriores em Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde todas as análises espaciais, assim como a interpretação das relações entre as variáveis foram procedidas.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área do estudo situa-se geograficamente na porção central do estado do Paraná, região sul do Brasil, a cerca de 500 km da capital Curitiba. Limitada pelos paralelos 24°00' e 25°00' S e meridianos 51°00' e 53°00' W, configura uma área aproximada de 23.000 km² (Figura 2). As principais cidades são Cândido de Abreu, Pitanga, Manoel Ribas, Ivaiporã, Palmital e Campo Mourão. O acesso, partindo da Capital do estado, se faz por duas rotas principais: a sul pelas rodovias federais BR-373 sentido Cascavel e BR-277 sentido Ponta Grossa e rodovia estadual PR-460 sentido Cândido de Abreu; e na porção centro-norte pelas rodovias federais BR-376, BR-466, BR-487 e BR-369.

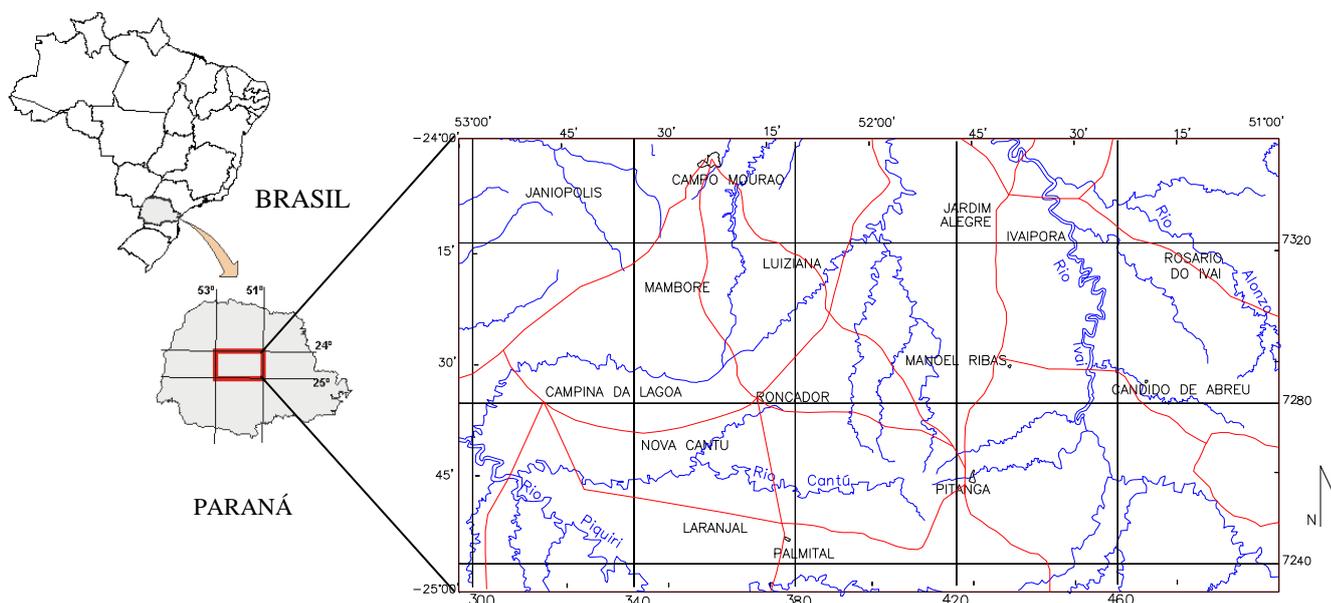


Figura 2 - Localização da área de estudo indicando principais municípios, estradas e drenagens.

3.2 FISIOGRAFIA

Segundo Maack (1981), o relevo no estado do Paraná pode ser representado geomorfologicamente por cinco paisagens principais naturais. No contexto desta classificação, a área situa-se preferencialmente no Terceiro Planalto, ou Planalto de Guarapuava, o qual representa o plano de declive ou a encosta da escarpa da Serra Geral no Paraná.

O terceiro planalto é considerado uma região fisiográfica simples, suavemente ondulada, com chapadas de encostas e, às vezes, com presença de mesetas. As estruturas geológicas assumem papel fundamental na evolução da paisagem nesta região. Os canais fluviais encontram-se, normalmente, esculpidos em regiões relacionadas a falhas e juntas (Bigarella *et al.*, 1994).

O clima predominante na região é classificado como mesotérmico úmido e sub-úmido, tipo Cfa de Köepen, clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

De acordo com a classificação utilizada pela Suderhsa (1998), a área está inserida nas bacias hidrográficas dos rios Piquiri e Ivaí. De maneira geral, esses rios, assim como os rios Alonzo e Cantú, possuem sentido de escoamento para oeste, noroeste ou norte, condicionados às estruturas da Formação Serra Geral.

O relevo é caracterizado por feições desde morros até colinas largas e amplas, com vales encaixados que abrigam diversos afluentes. Comumente se observa a variação do tipo de relevo sobre a mesma unidade geológica, evidenciando comportamentos diferenciados frente ao intemperismo, devido a variações na composição mineralógica destas rochas e a presença de estruturas geológicas.

As altitudes giram em torno de 500 m, com cota máxima em 1200 m nas proximidades do município de Pitanga, na porção centro-sul da área, e mínima de 300 m nas proximidades do leito dos principais rios (Ivaí e Alonzo a leste e nordeste, Piquiri e Cantú a sudoeste, e nas proximidades dos rios Corumbataí e Formoso na porção centro-norte). Como pode ser visto na Figura 3, construída com base em dados altimétricos oriundos do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), do USGS (*United States Geological Survey*), derivado de levantamento realizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), e nas

fotografias da Figura 6, o relevo não apresenta formas abruptas e está condicionado estruturalmente pelos diques de diabásio (NW-SE) e grandes falhas e fraturas.

Segundo o sistema brasileiro de classificação de solos da Embrapa 1981 (Figura 4), na área podem ser observados solos de tipologias distintas recobrando as rochas basálticas e sedimentos da bacia do Paraná. São eles: Solos litólicos (Re); Latossolo Roxo (LRd e LRa) e Terra Roxa Estruturado (TRd) predominantes na área, característicos do intemperismo dos basaltos; Podzólico Vermelho Amarelo álico (PVa); Podzólico Vermelho Amarelo (PE); Latossolo Vermelho Escuro Bruno (LEd) e Cambissolo (Ca).

Para o novo sistema brasileiro de classificação de solos da Embrapa (Prado, 2003), a nomenclatura correspondente é respectivamente: Neossolos litólicos, Argissolos vermelho amarelos predominantes e Nitossolos vermelhos; Latossolos brunos e vermelhos; Cambissolos ápicos.

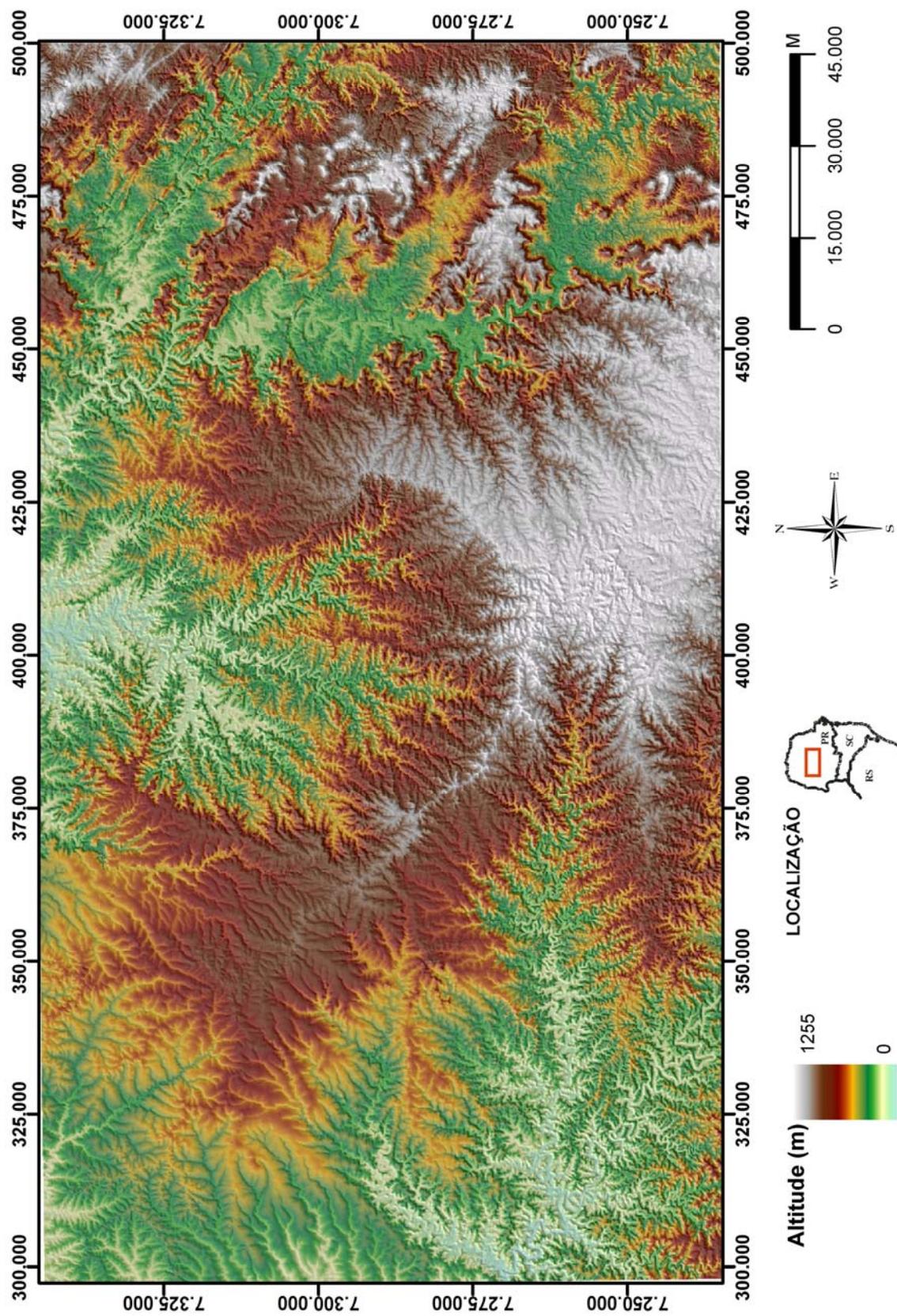


Figura 3 - Mapa hipsométrico da área de estudo recoberto pelo Modelo Digital de Elevação (SRTM,2005).

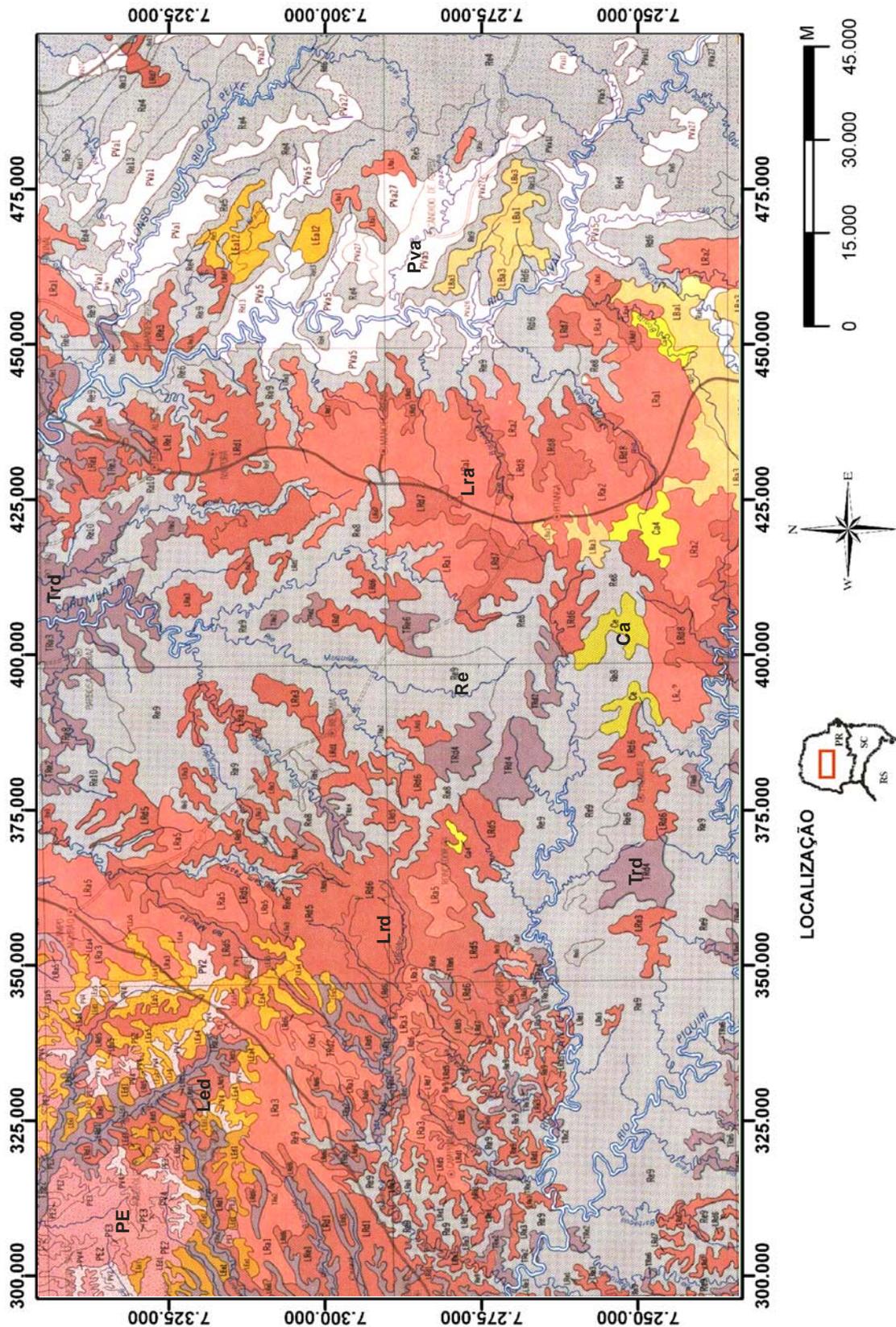


Figura 4 - Mapa de solos da área de estudo (Embrapa, 1981). A legenda encontra-se no texto.

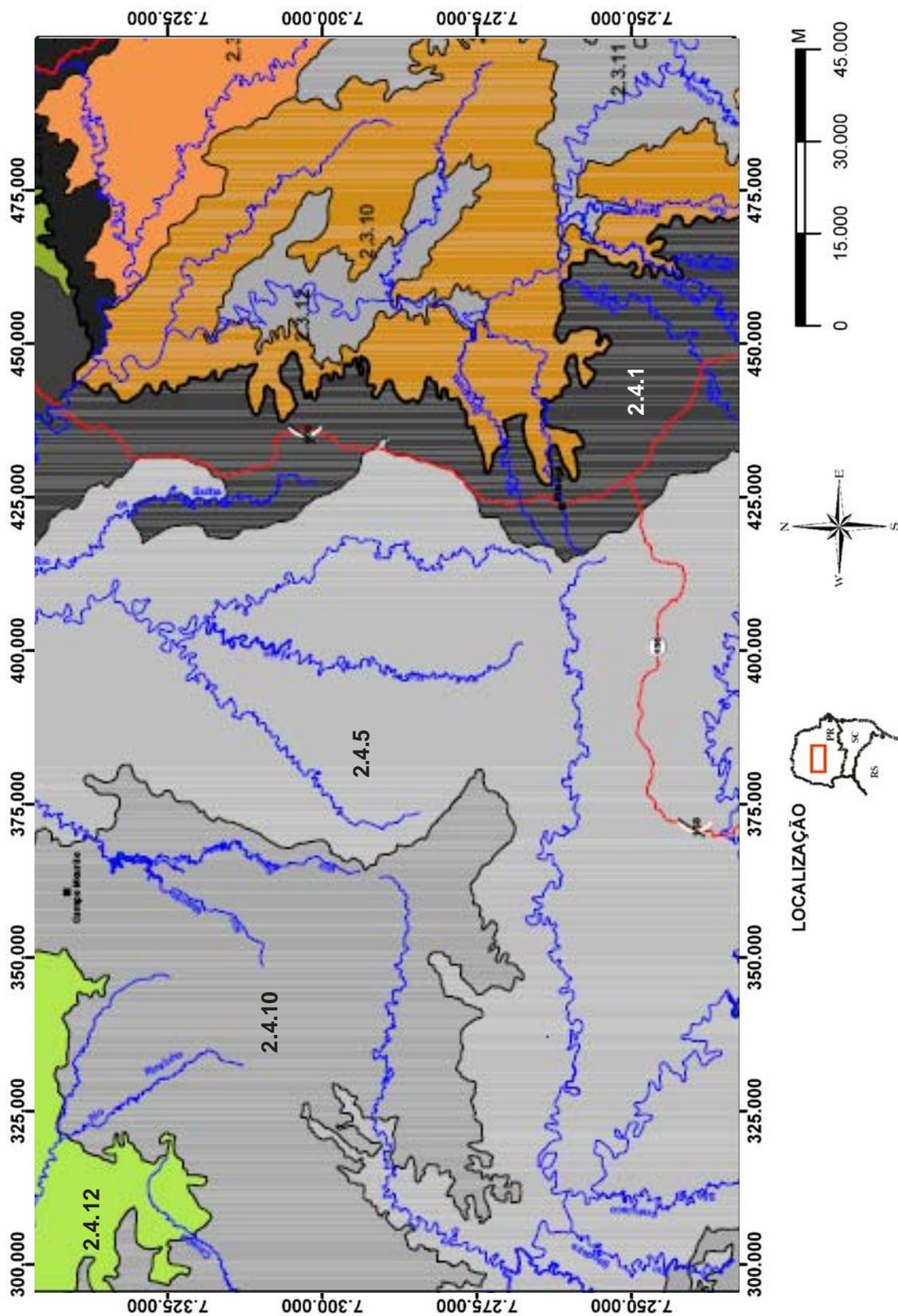


Figura 5 - Mapa geomorfológico da área de estudo (Mineropar, 2006). A legenda encontra-se no texto.

Uma nova classificação geomorfológica realizada pela Mineropar (2006) pode ser visualizada na Figura 5 e inclui a área na unidade morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, a qual envolve as unidades morfoesculturais Segundo e Terceiro Planaltos Paranaenses. As sub-unidades morfoesculturais de maior relevância encontram-se no Terceiro Planalto e são descritas a seguir:

A sub-unidade morfoescultural (2.4.1), denominada Planalto Pitanga/Ivaiporã, apresenta dissecação média e a classe de declividade predominante é menor que 12%. Apresenta um gradiente de 860 metros com altitudes entre 360m (mínima) e 1220m (máxima). As formas predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”, modeladas em rochas da Formação Serra Geral (Fotografia 03).

A sub-unidade morfoescultural (2.4.5), denominada Planalto do Alto/Médio Piquiri, mostra dissecação média e a classe de declividade predominante está entre 12-30%. Exibe um gradiente de 900 metros com altitudes entre 320m (mínima) e 1220m (máxima) As formas predominantes são topos alongados e isolados, vertentes convexas e côncavo-convexas e vales em “U” aberto, modeladas em rochas da Formação Serra Geral (Fotografia 01).

A sub-unidade morfoescultural (2.4.10), denominada Planalto de Campo Mourão, revela dissecação baixa e a classe de declividade predominante está entre 6-12%. Com um gradiente de 360 metros, as altitudes variam entre 480m (mínima) e 840m (máxima). As formas predominantes são topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales em calha, modeladas em rochas da Formação Serra Geral (Fotografia 02).

A sub-unidade morfoescultural (2.4.12), denominada Planalto de Umuarama, apresenta dissecação média e a classe de declividade predominante é menor que 12%. O gradiente é de 100 metros com altitudes entre 560m (mínima) e 660m (máxima). As formas predominantes são topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, modeladas em rochas da Formação Caiuá.



Foto 1: Relevo da área rumo S/SW.



Foto 2: Relevo da área rumo W.



Foto 3: Relevo da área rumo SE.



Foto 4: Rio Cantú.

Figura 6 – Fotografias ilustrando o tipo de relevo da área de estudo.

3.3 CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL

ASPECTOS GEOLÓGICOS

Segundo Zalán *et al.* (1987), a Bacia do Paraná, *latu sensu*, é uma vasta bacia intracratônica sul americana, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam do Siluriano até o Cretáceo (438 Ma a 65 Ma). Abrange uma área de cerca de 1.700.000 km², estendendo-se pelo Brasil (1.100.000 km²), Paraguai (100.000 km²), Uruguai (100.000 km²) e Argentina (400.000 km²).

A Bacia do Paraná ocupa a parte meridional do Brasil, a metade oriental do Paraguai, a porção ocidental do Uruguai e a região mesopotâmica da Argentina. Tem um formato alongado na direção NNE – SSW (1.750 km de comprimento), com uma largura média de 900 km. Dois terços da porção brasileira (734.000 km²) são cobertos por derrames de lava basáltica que podem atingir até 1.700 metros de espessura e de uma seqüência de rochas sedimentares que atinge até 4.300 metros. A espessura máxima de rochas sedimentares e ígneas gira em torno de 7.000 m, no centro geométrico da bacia (Figura 7). Um terço dela é representado por um cinturão de afloramentos em torno de capa de lavas, onde podem ser observados os diversos pacotes sedimentares que a preenchem.

A história evolutiva da Bacia do Paraná está intimamente relacionada com as variações eustáticas do nível do mar, associada a eventos de subsidência ocorridos no domínio intraplaca, em resposta a esforços orogênicos paleozóicos na borda oeste do continente e a tafrogenia mesozóica responsável pela abertura do Oceano Atlântico Sul.

O registro estratigráfico da Bacia do Paraná (Figura 8) se distribui desde o neo-Ordoviciano (\pm 450 Ma) até o neo-Cretáceo (\pm 65 Ma), representando um intervalo de cerca de 385 Ma, no qual estão registrados períodos descontínuos de sedimentação limitados por discordâncias regionais.

O embasamento da Bacia do Paraná é formado por terrenos pré-cambrianos, de composição diversificada, aglutinados a crátons arqueanos durante a orogenia Brasileira/Pan-Africana (Almeida e Hasui 1983). O arcabouço estrutural gerado pelas colagens destes terrenos teve intensa influência na evolução da Bacia do Paraná, durante o Fanerozóico.

Segundo Milani e Ramos (1998), a Bacia do Paraná, apesar de ser suportada por um embasamento cratônico desde sua implantação, foi influenciada em sua vizinhança por cinturões colisionais ativos e bacias de antepaís a eles relacionadas. Ciclos orogênicos distintos ensejaram a reativação transtensiva de zonas de fraqueza antigas, além de mudanças nas taxas de subsidência da bacia.

No Triássico Médio são individualizadas duas sub-bacias, resultado de um soerguimento dômico na região do Arco de Ponta Grossa e pouco mais ao sul (Alto de Porto União). A sub-bacia setentrional acumulou a Formação Pirambóia, constituída predominantemente por arenitos com estratificação cruzada de médio porte, ocorrendo localmente *sets* com estratificação cruzada de grande porte. Igualmente comuns são arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo ou com estratificação plano-paralela.

Todas estas fácies são caracterizadas pela existência de estruturas sedimentares derivadas de processos de sedimentação eólicos, em ambiente flúvio-eólico, de dunas e interdunas úmidas. Ao sul ocorrem unidades penecontemporâneas incluídas nas formações Santa Maria e Rosário do Sul. As espessuras são muito variadas, apresentando apenas alguns metros na faixa de afloramento do estado do Paraná e até mais de 400 metros em subsuperfície nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (Assine *et al*, 2004).

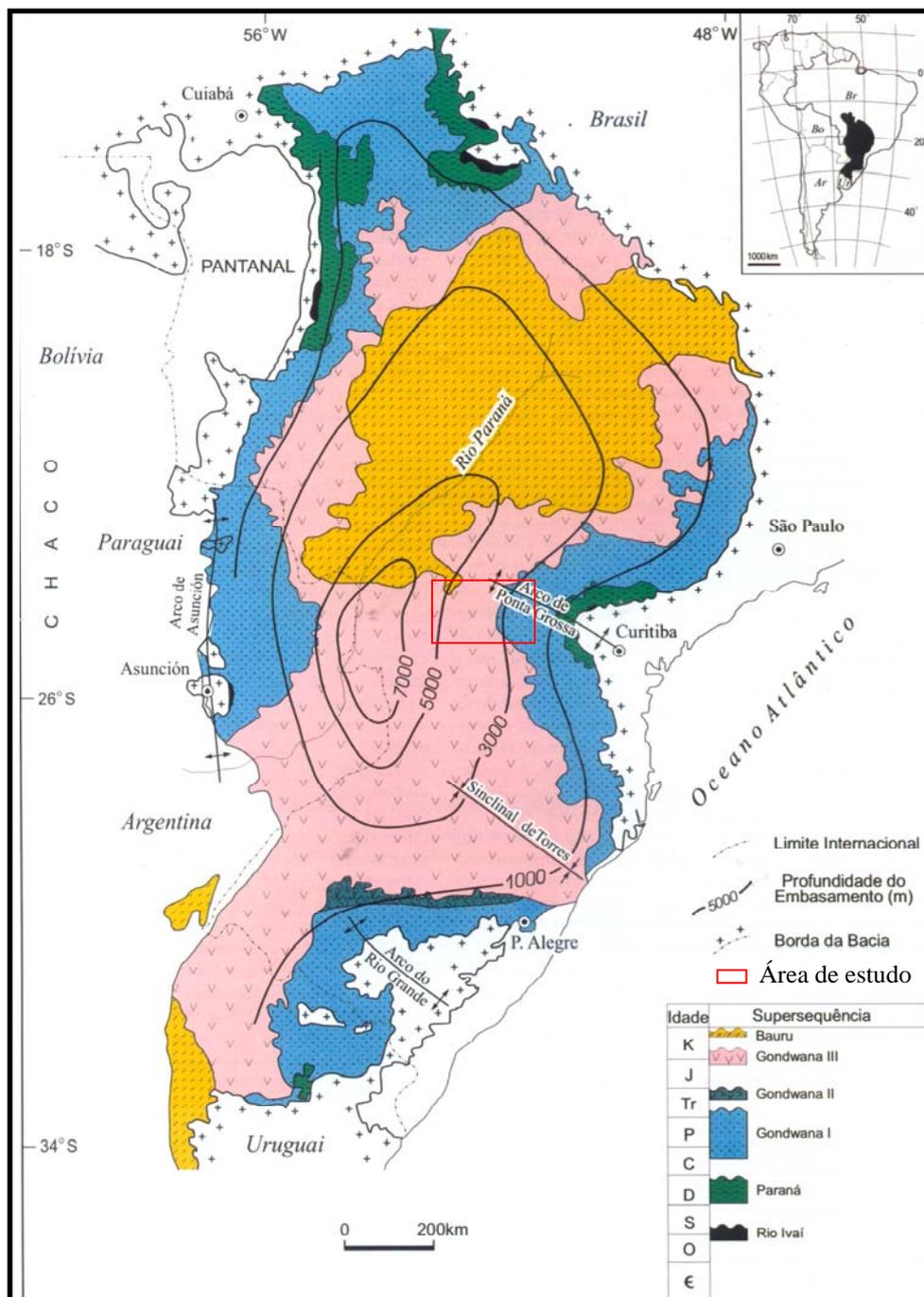


Figura 7 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com contorno estrutural (profundidade) do embasamento cristalino, indicando a área em estudo (Milani, 2004).

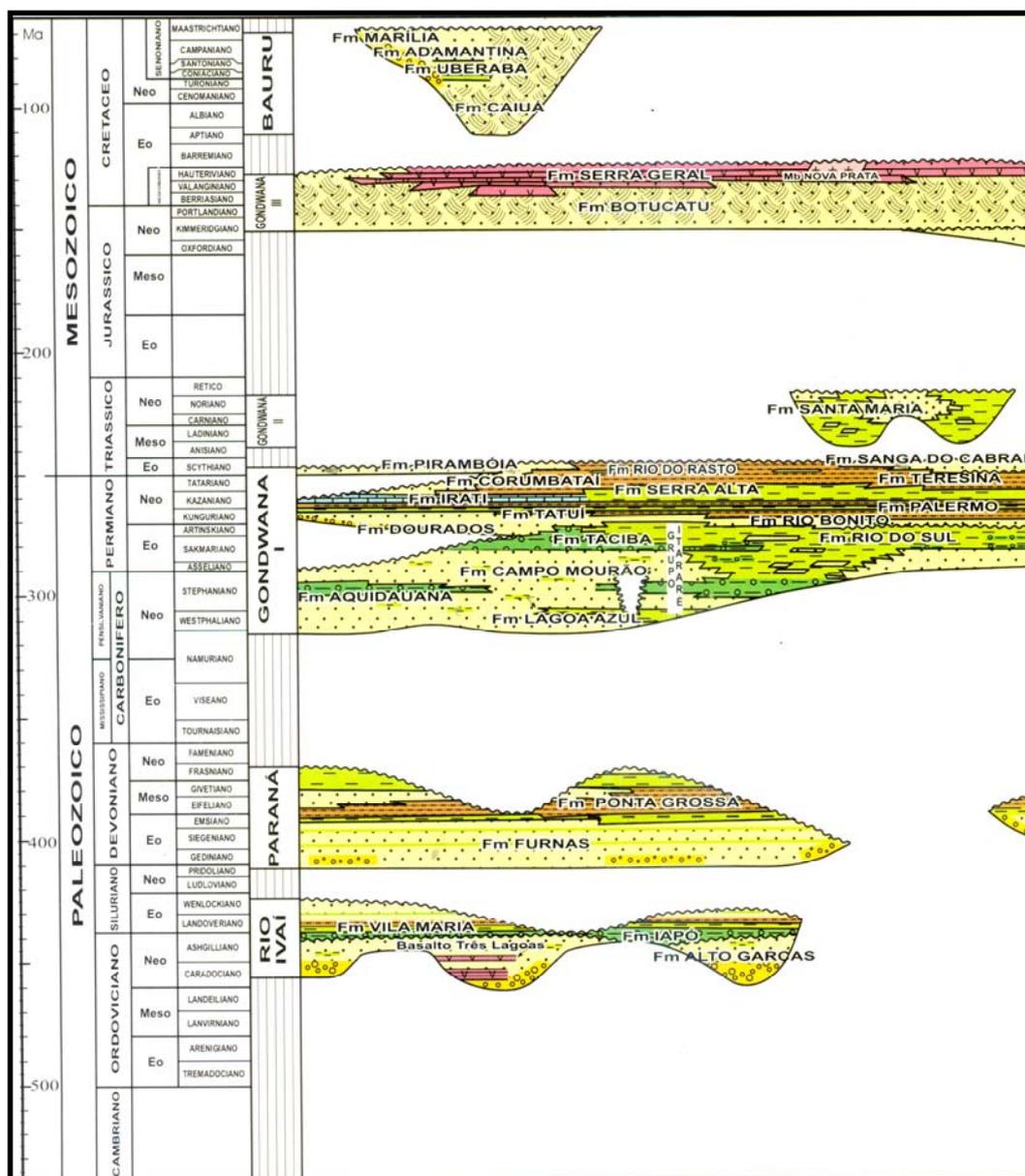


Figura 8 – Diagrama crono-estratigráfico da Bacia do Paraná (Milani, 2004).

No Jurássico, a extensa bacia de sedimentação fluvio-eólica transforma-se progressivamente num imenso deserto com a sedimentação predominantemente eólica, dunar, da Formação Botucatu. Esta formação apresenta arenitos com estratificação cruzada, planar ou acanalada, de médio a grande porte (campos de dunas eólicas), com raras intercalações de arenitos com estratificação plano-paralela (interdunas secas). Neste episódio, o Arco de Ponta Grossa foi um elemento ativo, tendo em vista a variação de espessura e de fácies (Assine *et al.* 2004).

Ao final deste ciclo (Jurássico Superior a Cretáceo Inferior), quando ainda perduravam condições desérticas, iniciou-se a atividade vulcânica representada pelos extensos derrames de lavas basálticas da Formação Serra Geral, associadas a intrusões, em forma de diques e soleiras de diabásio, posicionadas ao longo de toda a seção sedimentar da bacia.

Após o vulcanismo Serra Geral (Cretáceo Inferior), sobre uma superfície erosiva esculpida nos basaltos e outras efusivas microfélicas (Soares, 1991), iniciou-se a sedimentação eólica do Grupo Caiuá num embaciamento situado a noroeste do Paraná e oeste sudoeste de São Paulo e Mato Grosso do Sul.

De acordo com o mapa geológico da área de estudo (Figura 9) as principais formações de relevância são:

FORMAÇÃO BOTUCATU/PIRAMBÓIA

As formações Botucatu e Pirambóia são de natureza eólica e flúvio-eólica, respectivamente. A Formação Botucatu é constituída por arenitos avermelhados, finos a médios, normalmente bimodais, quartzosos, friáveis, com grãos foscos e geralmente bem arredondados, cuja característica marcante é a presença de estratificação cruzada, planar e acanalada de grande porte. São de origem eólica, dunar, e representam uma fase de caráter desértico super-árido, no contexto da evolução geológica regional, concomitante aos fenômenos vulcânicos que afetaram a Bacia do Paraná. A Formação Pirambóia, de origem eólico-fluvial, é constituída por sedimentos arenosos, finos a médios, bem selecionados, com estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, e, quando fluvial, varia da granulometria silte até areia grossa. Situada na parte basal do arenito Botucatu, tem ocorrência restrita e descontínua. A idade do pacote é tida como sendo triássica-jurássica (Soares, 1991).

FORMAÇÃO SERRA GERAL

A seqüência vulcânica que constitui a Formação Serra Geral foi proposta e introduzida como unidade estratigráfica por White (1908). O magmatismo mesozóico recobre mais de 1.200.000 km² nos estados do sul e centro do País, atingindo ainda o Uruguai, Argentina e Paraguai. A espessura média é de 1.000 metros, e, na porção central da bacia, chega a 1.700 metros.

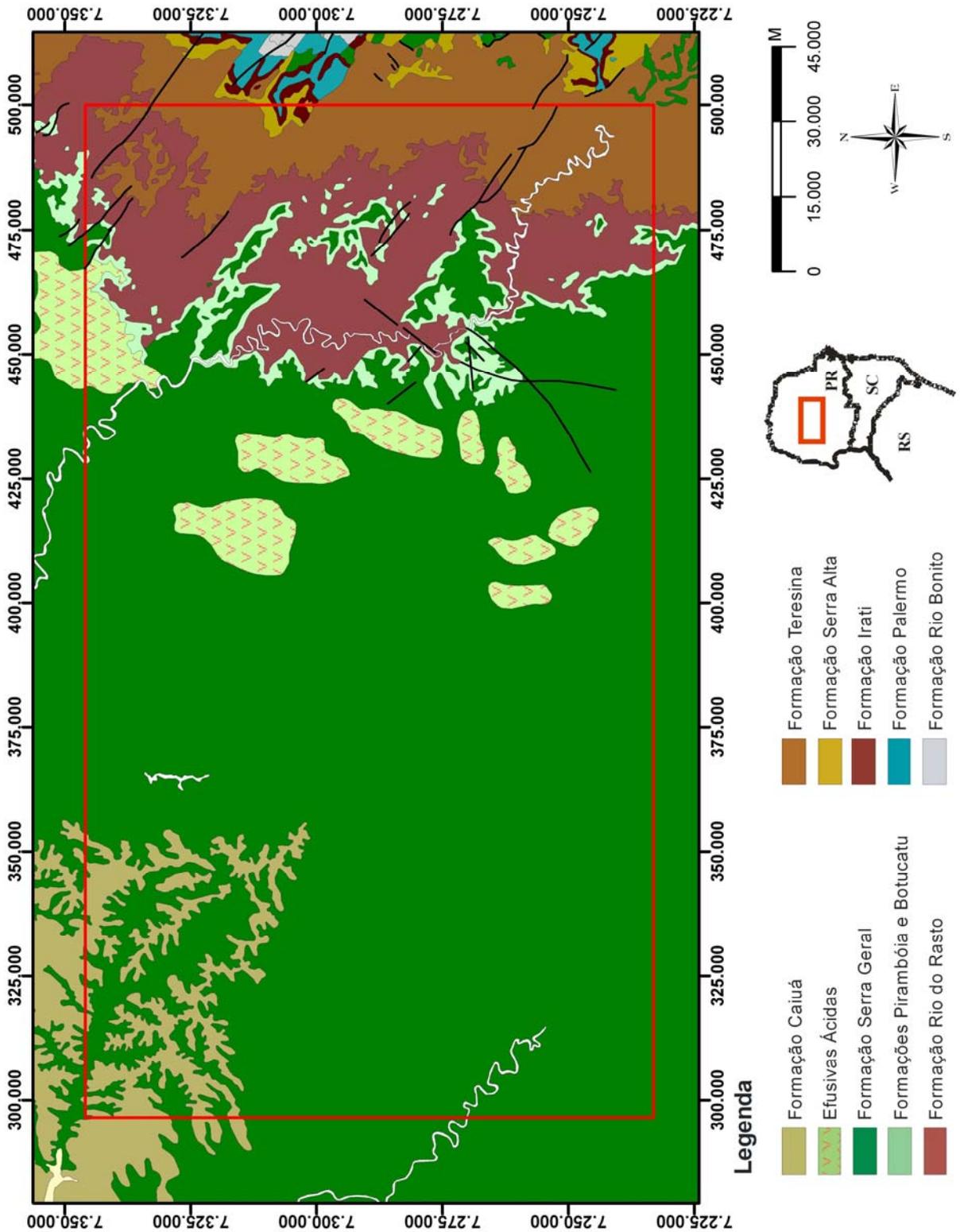


Figura 9 - Mapa geológico da área estudada. Fonte (Mineropar, 2001).

No estado do Paraná, o vulcanismo basáltico da Formação Serra Geral ocorre predominantemente na forma de derrames básicos, e, com menor extensão, são registrados derrames de composição intermediária, além de, mais raramente, ocorrências de rochas vulcânicas de filiação ácida.

O pacote vulcânico apresenta-se sobreposto às camadas da Formação Botucatu, sendo frequentes lentes intertrapianas de arenitos. Nas porções de topo verificam-se mais comumente brechas arenosas intercaladas. Derrames de natureza basáltica são verificados na base da seqüência vulcânica, seguindo-se às manifestações de natureza intermediária.

As principais estruturas dos derrames são: contatos interderrames (fendas de grande extensão lateral); zonas de basalto vesicular e amigdaloidal, características de topo de derrame, preenchidas principalmente por calcita, quartzo e zeólitas; áreas de basalto compacto, geralmente diaclasado, característica de zonas de exclusão, e tratos de base de derrame, raramente vesicular, com fraturas paralelas ao contato. Associados ao mesmo ciclo de vulcanismo ocorrem diques e soleiras de diabásio, faixas fraturadas subhorizontais e subverticais, com juntas e falhas de até dois metros de espessura, diques de arenito injetados, tufos vulcânicos, aglomerados, etc.

A composição mineralógica dos basaltos compreende essencialmente plagioclásio cálcico e piroxênio, com proporções menores de magnetita. Intercrescimento micrográfico, vidro intersetal, quartzo e apatita são constituintes menores. Zeólitas, minerais de cobre, quartzo e suas variedades, além de argilo-minerais, são registrados em amígdalas (Soares, 1991). Ainda, as rochas vulcânicas intermediárias/ácidas constituem estratos (derrames) separados por contatos difusos, diferentemente dos que ocorrem nos basaltos, onde via de regra verificam-se brechas e juntas discordantes (Iyomasa, 1994).

GRUPO CAIUÁ

Compreende as formações Goio-Erê e Rio Paraná (Fernandes e Coimbra 1996), lateralmente interdigitadas, correspondendo, respectivamente, à periferia e ao centro do *sand sea*, ambiente desértico ao qual é atribuído sua deposição.

Os arenitos pertencentes a estas unidades são muito bem selecionados, decorrentes da deposição em ambiente desértico, que confere às rochas alta porosidade primária. Variam de arenitos finos a muito finos, basicamente quartzosos, embora a presença do microclínio seja comum. A dissolução dos feldspatos resulta em um aumento de 5 a 10% na porosidade total da rocha, através da alteração de grãos de minerais mais instáveis.

Normalmente os arenitos são bastante friáveis, favorecendo a ocorrência de voçorocas quando a cobertura vegetal é removida. Localmente, a porosidade diminui por conta de variações granulométricas e cimentação, esta última mais expressiva na porção basal dos sedimentos, próximo ao contato com os basaltos, onde se desenvolve cimentação carbonática. As principais estruturas primárias são estratificações cruzadas de médio a grande porte na Formação Rio Paraná e de médio a pequeno porte, além de estratos tabulares e maciços, na Formação Goio-Erê. Para a primeira, a espessura da unidade em toda a bacia não ultrapassa 277 m, enquanto a última possui no máximo 50 m (Fernandes, 1992).

ASPECTOS ESTRUTURAIS

A maior parte da evolução estratigráfica-estrutural da Bacia do Paraná foi controlada por *trends* herdados do embasamento. Tal conjunto de crátons e faixas móveis contém um surpreendente número de zonas de fraqueza, as quais cruzam o embasamento, partindo-o em centenas de megablocos, blocos e sub-blocos.

Zalán *et al.* (1987) caracterizaram os principais elementos tectônicos. Um marcante padrão de feições lineares em forma de X pode ser observado. Estas feições podem ser divididas em três grupos, de acordo com suas orientações (NW-SE, NE-SW e E-W). As duas mais importantes são as orientações NW-SE e NE-SW, que podem constituir falhas simples ou extensas zonas de falhas (centenas de quilômetros de comprimento e poucas dezenas de quilômetros de largura) que foram afetadas por cinemáticas com componentes horizontais e verticais. Dentre elas destacam-se, com direção NW-SE, a Falha do Rio Alonzo; o Lineamento do Rio Piquiri e a Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão; e com direção NE-SW as falhas de Guaxupé e Jacutinga, todas identificadas na área de estudo.

Este arcabouço estrutural foi detalhado por Zalán *et al.* (1990), onde os autores relacionaram a evolução estratigráfica-estrutural com os *trends* herdados do embasamento (Figura 10-A). Tais autores também detalharam os três grupos principais de estruturas, separados por direções NW-SE, NE-SW e E-W.

Rostirolla *et al.* (2000), determinaram dois eventos importantes do sistema NE-SW da Falha de Jacutinga: o primeiro foi transpressivo com cinemática anti-horária e ocorreu na transição Permiano-Triássico, durante a orogenia *La Ventana*; o segundo manifestou-se

durante e/ou após o magmatismo Serra Geral, apresentando caráter transcorrente distensivo, provavelmente horário.

Soares *et al.* (1982) já haviam reconhecido este mesmo padrão tectônico com orientação NW e NE, com base em um estudo detalhado de imagens Landsat e de radar da bacia. Eles identificaram faixas retilíneas com alta concentração de lineamentos separando-os em três grupos de *trends* NW (variando de N25-65W e dois grupos de *trends* NE (oscilando entre N35-60E). De acordo com esses autores, as zonas estruturais representariam áreas com maior mobilidade tectônica em comparação aos tratos adjacentes. Várias destas “zonas móveis” coincidem com as que foram mapeadas por Zalán *et al.* (1987) com base em aeromagnetometria, dados de superfície e subsuperfície, concluindo que as zonas de fraqueza do embasamento controlaram a sedimentação durante a evolução da bacia e que os *trends* NW estão intensamente intrudidos por diques de diabásio.

Ainda, Soares *et al.* (1982) identificaram cinco direções predominantes na estruturação da Bacia do Paraná: Paraná (N25E), Pitanga (N60E), Rio Ivaí (N45W), Rio Piquiri (N70W), Goioxim (N5-20W), e, secundariamente, Tapirapui (N-S) e Paranapanema (E-W), conforme a Figura 10-B.

A direção N25-45E (Paraná), bastante desenvolvida, corresponde a um leque de falhas de empurrão de alto ângulo até falhas mistas, com rejeito apresentando cinemática reversa e lateral direita, e que no início do Paleozóico funcionaram como falhas normais; a direção N55-60E (Pitanga), é a mais importante em termos de deformação e extensão, correspondendo ao *trend* principal do sistema de transcorrência do sudeste, com cinemática horária no final do Proterozóico e anti-horária no início do Paleozóico; as direções N45W (Ivaí) e N70W (Piquiri) correspondem à fraturas distencionais do sistema de transcorrência Neoproterozóico e a direção Goioxim (N5-20W) apresenta cinemática anti-horária.

Zalán *et al.* (1987) descrevem que o padrão estrutural atual de cada grupo (NW, NE e EW) é diferente, principalmente porque as falhas com orientação NW foram fortemente reativadas durante o quebramento juro-cretáceo do Gondwana, enquanto que as de direção NE não o foram. O padrão NW é de zonas retilíneas, com concentração de falhas e diques que podem se alargar ou estreitar significativamente ao longo do seu *trend*. O padrão das zonas de falha NE é diferente, uma vez que é constituído por uma única falha larga, ou zona de falha retilínea, e geralmente ocorre sem presença de diques e das deformações associadas. Entretanto, estruturas relacionadas a movimentações transcorrentes são muito mais comuns ao longo dos lineamentos NE, embora também ocorram nos NW. Os

lineamentos EW são pouco compreendidos na Bacia do Paraná, e podem ser detectados em mapas aeromagnetométricos e imagens Landsat. Seu desenvolvimento é atribuído a partir do Triássico, talvez pelo seu extraordinário paralelismo (mas não coincidência) com as zonas de fratura oceânicas. De qualquer modo, algumas linhas de evidência apontam para a importância desta direção EW na estruturação da bacia.

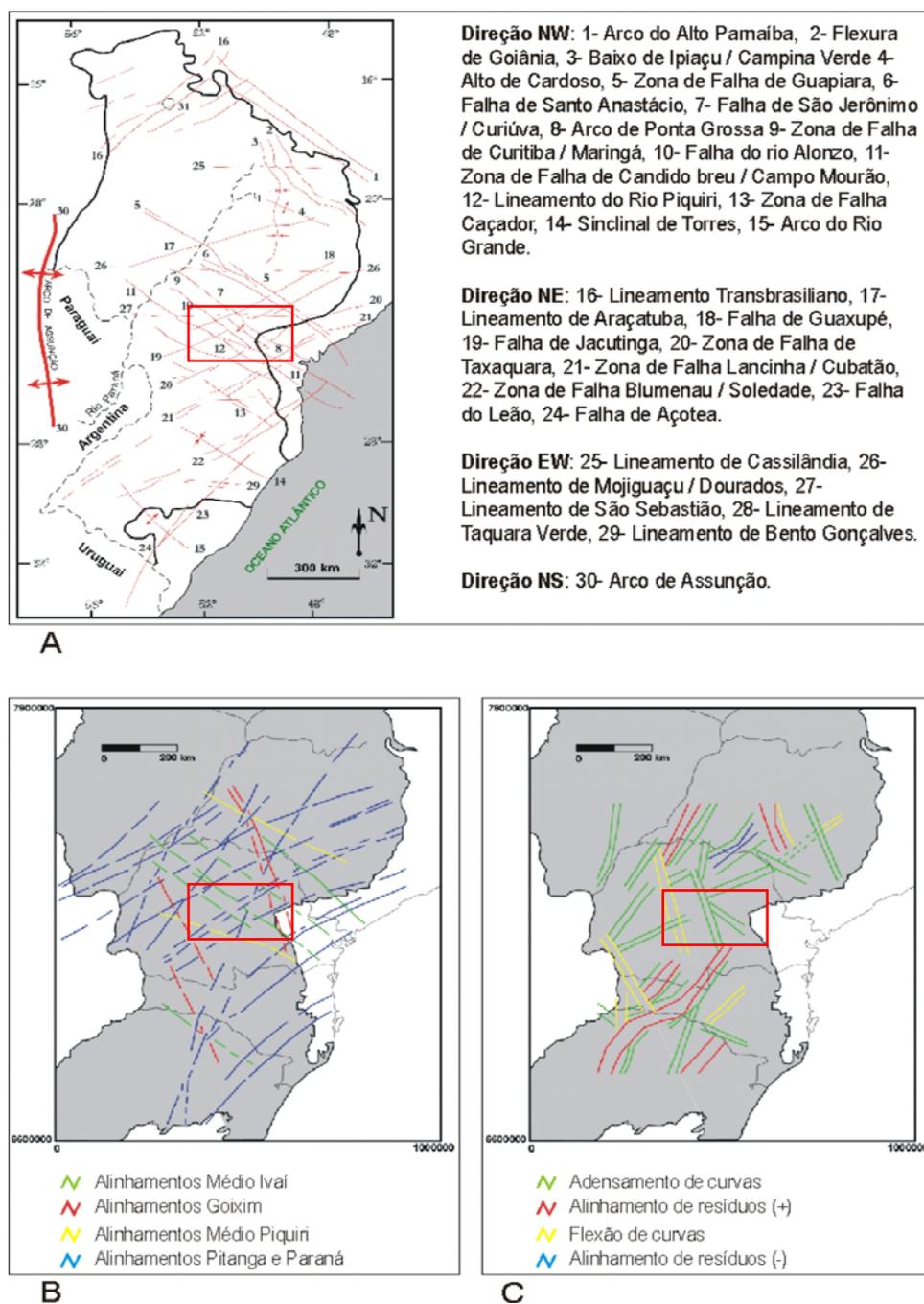


Figura 10 – Mapas regionais de lineamentos estruturais (adaptado de Soares *et al.*, 1982; Zalán *et al.*, 1987; e Artur, 1998). A – Lineamentos de Zalán *et al.* (1987), B – Lineamentos de Soares *et al.* (1982); C – Lineamentos de Artur (1998). A área de estudo é indicada em vermelho.

Fundamentado principalmente em dados aeromagnetométricos da região do Arco de Ponta Grossa (APG), Ferreira (1982a,b) identificou os principais alinhamentos estruturais-magnéticos desta feição, denominando-os de Guapiara (limite setentrional), São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonzo (região central) e Rio Piquiri (limite meridional).

Uma análise geoestatística detalhada a partir de dados de isópacas e gravimétricos foi elaborada por Artur (1998). Este autor utilizou a modelagem por krigagem para definição de mapas de contorno, e a partir de mapas de isovalores inferiu paleolineamentos para determinada porção da bacia (ver Figura 10-C). Algumas direções inferidas apresentam respostas diferentes dos registros superficiais definidos por Soares *et al.* (1982), indicando assim estruturas importantes durante determinado intervalo de tempo.

A área de estudo situa-se no contexto do Arco de Ponta Grossa (Ferreira 1982a,b), de direção NW-SE, representando uma feição de soerguimento atuante principalmente durante o Jurássico e o Cretáceo Inferior (Almeida 1986), associada aos enxames de diques do Mesozóico e ao extravasamento dos basaltos da Formação Serra Geral. Dentre os quatro alinhamentos estruturais-magnéticos mencionados apenas os do Rio Alonzo e do Rio Piquiri afetam a área de estudo.

Análises sobre a influência das estruturas na circulação e no armazenamento das águas nos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no estado do Paraná, foram realizadas recentemente por Strugale (2002), Strugale *et al.* (2002) e Portela Filho *et al.* (2002).

O trabalho de Strugale (2002) apresenta estudos de geologia estrutural em níveis de semi-detalhe e detalhe que revelam a diversidade das estruturas, estilos estruturais e eventos tectônicos, bem como suas implicações na evolução tectono-sedimentar da bacia no intuito de compreender a disposição geométrica e os eventos geradores das estruturas tectônicas para a melhor compreensão da disposição dos hidrocarbonetos e das águas subterrâneas armazenadas nos diferentes sistemas que ocorrem na Bacia do Paraná.

As principais conclusões de Strugale (2002) determinam que o padrão fortemente compartimentado e estruturado principalmente por falhas NW (em sua maioria preenchidas por diques de diabásio) afetadas por falhas de menor magnitude NE e ainda NS e EW, imposto pelo Arco de Ponta Grossa nas rochas reservatório, constituídas pelos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, promove uma importante compartimentação hidrodinâmica do SAG e que, em razão da intensidade da estruturação tectônica, é esperada uma compartimentação local do fluxo, denotada pelo mergulho regional das camadas em direção ao depocentro da bacia. Um perfil geológico e sua localização NE-SW mostram essa forte compartimentação dada pelas falhas NW-SE (Figura 11).

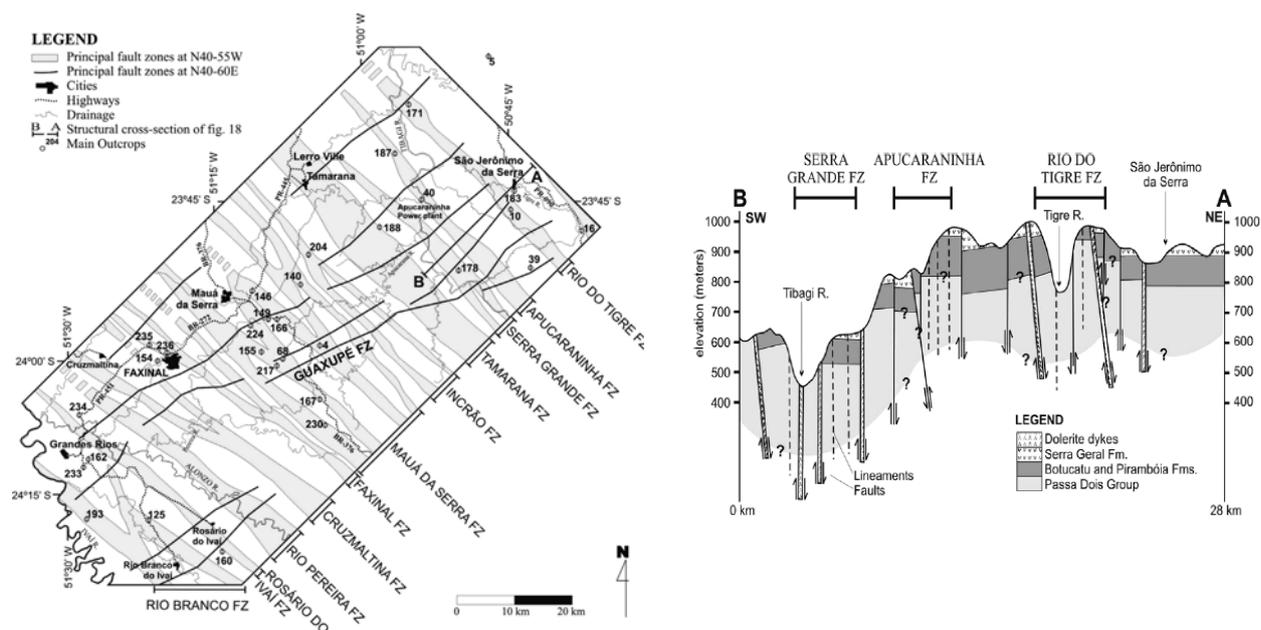


Figura 11– Mapa e perfil geológico NE–SW realizado nas proximidades do Arco de Ponta Grossa mostrando forte compartimentação estrutural balizada por falhas NW–SE (Strugale *et al.*, 2002).

Freitas (2005), em seu trabalho na Bacia do Paraná, aventa a possibilidade das estruturas NS terem sua origem relacionada a uma flexura crustal da Placa Sul-americana, associada à subducção oceânica a oeste. Estas estruturas NS podem ter sua geração associada ao rifteamento cretáceo, ocorrido durante a abertura do Atlântico Sul. Ainda, também segundo Rostirolla *et al.* (2005), estruturas de direção NS poderiam estar associadas à evolução cenozóica da Placa Sul Americana. Seriam estruturas frontais às tensões horizontais máximas com direção E-W, e estariam balizadas por grandes eixos indicados por domínios altimétricos, alongados na direção N-S.

3.4 SISTEMAS AQUÍFEROS

O conceito de Sistema Aquífero é relacionado ao conjunto dos processos e das interações dos elementos que compõem uma formação ou grupo de formações geológicas que podem armazenar água subterrânea. Seu confinamento, ou seja, a forma de ocorrência, pode ser livre, confinada e semi-confinada, podendo armazenar e transmitir água de forma economicamente viável (<http://www.unb.br/ig/glossario> Glossário Geológico Ilustrado – UnB, acesso em 10/10/2006).

A área do estudo localiza-se em uma região onde afloram principalmente rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (SASG), além de litotipos constituintes do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e do Sistema Aquífero Caiuá (SAC). Esta região foi afetada por uma série de eventos tectônicos, cujas estruturas segmentam não somente os basaltos como também os sedimentos mesozóicos e paleozóicos sotopostos. Tais estruturas exerceram importante controle hidrogeológico dos mencionados aquíferos, as quais geraram blocos de comportamentos distintos.

As drenagens de maior relevância estão associadas a grandes falhas de direções preferenciais NE e NW, as quais compartimentam a área de estudo (*e.g.* Lineamento do Rio Piquiri e Falha do Rio Alonzo). Também podem ser citadas duas megaestruturas de direções EW e NW, aqui denominadas de Alinhamentos do Rio Cantú e Roncador, respectivamente.

O armazenamento e a circulação das águas subterrâneas no SASG estão associados às discontinuidades geológicas, caracterizando este reservatório subterrâneo como heterogêneo e anisotrópico (Rebouças, 1978), portanto com condutividade hidráulica muito variável e de complexa avaliação.

Em estudos realizados por Bittencourt (1996) no estado do Paraná, há locais onde a alta densidade de fraturamento permite que algumas estruturas se conectem ao SAG confinado, viabilizando a ascensão de suas águas até a superfície, sem grande taxa de mistura com águas descendentes. Por outro lado, ocorrem águas anômalas em relação à composição química típica das águas dos basaltos, caracterizando uma mistura dos fluidos.

Rosa Filho *et al.* (1987) apresentam um zoneamento da água subterrânea nos basaltos do estado do Paraná, onde são assinaladas características químicas de cada compartimento. A área em estudo está inserida nas zonas B (Piquiri) e D (Ivaí). Naquele trabalho, os parâmetros físicos e químicos das águas de determinados pontos de coleta são influenciados por combinações com águas do SAG, em conformidade com Bittencourt

(1996). Nenhum destes autores define os locais de ascensão das águas como também os lineamentos estruturais que controlam este fluxo, devido ao caráter hidroquímico dos seus estudos.

Quimicamente as águas subterrâneas provenientes do SASG, com contribuição significativa do SAG, possuem teores de sódio geralmente mais elevados do que os de cálcio, elemento este que predomina nas águas típicas do SASG, evidenciando a conectividade dos aquíferos (Bittencourt, 1978; Bittencourt e Lisboa, 1983).

Estudos realizados no contexto da Bacia do Paraná por Bittencourt (1978, 2003), Fraga (1986, 1992), Rosa Filho *et al.* (1987) e Celligoi (1994) identificaram a tipologia das águas do SASG como bicarbonatada cálcica. Os autores atribuem a composição bicarbonatada sódica de algumas águas captadas em poços com profundidades máximas de 200 m, a uma mesclagem com as águas de aquíferos subjacentes, a exemplo do SAG.

Segundo Rosa Filho *et al.* (1987), a influência de águas do SAG em fontes naturais e poços perfurados na Formação Serra Geral, é caracterizada por teores maiores de sódio, pH básicos, superiores a 8 e, em alguns casos, pelas temperaturas elevadas (acima da média de 22°C).

3.4.1 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)

No estado do Paraná, o SASG aflora no Terceiro Planalto Paranaense, correspondendo a aproximadamente 109.000 km². Em superfície possui um caimento generalizado para oeste – sudoeste, partindo de cotas próximas a 1.100 metros na sua borda leste, até um mínimo de 49 metros no rio Paraná, município de Foz do Iguaçu.

O modo de ocorrência da água subterrânea do SASG está condicionado tanto a fatores genéticos do pacote basáltico (*intertrapp*, amígdalas, vesículas e disjunções), quanto à presença de estruturas (falhas, fraturas e diques de diabásio) que condicionam a circulação das águas nestas rochas. A conjunção destes fatores aumenta a capacidade de armazenamento de água.

Para Bittencourt *et al.* (2003), em estudos na bacia do Piquiri, os principais processos de condicionamento do quimismo das águas do aquífero Serra Geral são: dissolução dos basaltos e equilíbrio com minerais secundários; misturas com águas de aquíferos sotopostos.

O SASG não é hidrogeologicamente homogêneo em toda a sua extensão, devido a mudanças regionais dos parâmetros controladores da forma de armazenamento e de circulação das águas subterrâneas. Tais heterogeneidades permitiram a Fraga (1986) e Rebouças e Fraga (1988) dividir o SASG no estado do Paraná em duas subprovíncias, denominadas Serra Geral Sul e Serra Geral Norte. A área do estudo encontra-se completamente inserida na subprovíncia norte, a qual apresenta valores médios de capacidade específica 6,5 vezes maiores que no setor meridional. Segundo Fraga (1986), a subprovíncia Serra Geral Norte apresenta comportamento de meio fraturado com reservas mais promissoras que no domínio sul, em torno de quatro vezes maiores.

Segundo Rosa Filho *et al.* (1987), as direções preferenciais dos alinhamentos estruturais por onde as águas subterrâneas percolam são NW-SE e NE-SW, apresentando mergulhos essencialmente verticais. Estas estruturas coincidem com drenagens de segunda e terceira ordens.

A recarga principal ocorre através da pluviometria, principalmente em áreas com desenvolvido manto de alteração, topografia pouco acidentada e considerável cobertura vegetal (mata nativa). Localmente, onde há condições potenciométricas e estruturais favoráveis, pode ocorrer recarga ascendente a partir do SAG. A tipologia das águas do SASG é bicarbonatada cálcica, decorrente da ação intempérica dos basaltos típicos.

O SASG viabiliza importantes sistemas de abastecimento, suprindo mais de 70% dos núcleos urbanos do Paraná com água de ótima qualidade.

É classificado por Borghetti *et al.* (2004) como fraturado e/ou fissural, formado por rochas cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz através de fraturas, fendas e falhas abertas decorrentes de movimentos tectônicos. A capacidade deste tipo de aquífero de armazenar água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicações, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nestas rochas fornecem baixas vazões, sendo que a produção dependerá, tão-somente, do grau de fraturamento das rochas.

Em termos de potabilidade, as águas dos basaltos revelam uma forte tendência alcalina (pH entre 5.5 e 6.5) e mineralização total inferior a 300 mg/L (Borghetti *et al.* 2004).

Os basaltos da Formação Serra Geral cobrem os reservatórios do SAG, reduzindo sua área de exposição a apenas 10%.

Trabalhos recentes desenvolvidos no estado de São Paulo por Fernandes *et al.* (2007), procuram caracterizar os parâmetros hidráulicos dos caminhos preferenciais de

fluxo de águas subterrâneas através dos basaltos do SASG, os quais devem constituir uma ligação entre o SAG e a superfície. A partir do modelo conceitual preliminar de circulação das águas no SASG (Figura 12) nota-se que os principais caminhos de circulação correspondem principalmente a fraturas subhorizontais, geradas durante o resfriamento dos basaltos, e a fraturas tectônicas subverticais que provavelmente conectam a superfície aos arenitos do SAG. Observa-se que a ascensão das águas do SAG através das fraturas se dá em situações onde o nível potenciométrico do aquífero sotoposto encontra-se acima do nível potenciométrico do SASG, devido à carga hidráulica, presença de discontinuidades e tempo de trânsito das águas.

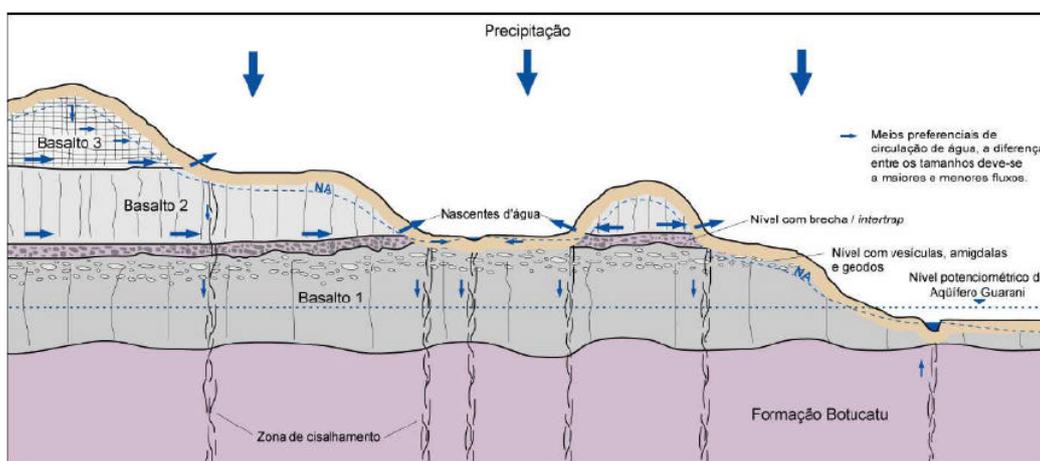


Figura 12 – Modelo conceitual preliminar dos principais meios de circulação de água nos derrames basálticos (Fernandes *et al.*, 2007).

3.4.2 SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani, definido por Rocha (1996), deve seu nome ao geólogo uruguaio Danilo Anton, em homenagem a nação Guarany que habitava a área de abrangência dos afloramentos durante a época do descobrimento do Brasil (Anton 1994 *apud* Rosa Filho *et al.* 1998). O SAG compreende as unidades litoestratigráficas formadas pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu no Brasil, Taquarembó na Argentina e Uruguai, Misiones no Paraguai, e sedimentos flúvio-lacustres da Formação Pirambóia/Rosário do Sul no Brasil, Buena Vista na Argentina e Uruguai, e Misiones no Paraguai.

É um extenso reservatório de águas subterrâneas distribuído pela Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. A espessura das camadas varia de 50 a 800 metros, em profundidades

que podem atingir até 1800 metros. Dado o gradiente geotérmico, suas águas podem atingir temperaturas elevadas, em geral, de 50 a 85°C. No Paraná, na região em estudo nas proximidades de Pitanga, as espessuras médias são de aproximadamente 150 a 200 metros e as temperaturas oscilam de 35 a 55°C.

No estado do Paraná o SAG ocupa uma área de aproximadamente 131.300 km² (Araújo *et al.* 1995), cerca de 15% da porção brasileira do aquífero.

É classificado por Borghetti *et al.* (2004) como granular (poroso ou sedimentar), onde a circulação da água se faz pelos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, reflexo de sua área de ocorrência (aproximadamente 1.200.000 km²). A porosidade esperada seria quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função somente dos diferenciais de pressão hidrostática, o que imprimiria um caráter isotrópico ao sistema. Entretanto, trabalhos recentes mostram que nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul o SAG é compartimentado (*e.g.* Machado 2005) por grandes sistemas de falhas, os quais influenciam a espessura de suas camadas e dos estratos confinantes, a direção do fluxo e o conteúdo de STD, com implicações diretas na qualidade das águas.

Quanto ao comportamento estrutural do SAG, sabe-se que diversos fatores influenciaram a atual configuração, como os depocentros de lavas da Formação Serra Geral, a ativação regional de sistemas de falhas, soerguimentos das bordas da bacia e dos arcos de Ponta Grossa, Campo Grande, Rio Grande e Sinclinal de Torres (Araújo *et al.*, 1995).

O Arco de Ponta Grossa compartimenta a bacia em dois regimes hidrogeológicos distintos (Araújo *et al.* 1995): a norte o fluxo caracteriza-se por um padrão regional de deslocamento hidráulico de norte para sudoeste, e ao sul desta megaestrutura destacam-se altos gradientes hidráulicos e proeminentes áreas de descarga.

O primeiro mapa potenciométrico do SAG na Bacia do Paraná foi feito por Gilboa *et al.* (1976), segundo sua interpretação a percolação das águas se dá a partir das áreas de recarga nas bordas da bacia até a parte central.

O mapa da figura 13, mostra a superfície potenciométrica e a direção de fluxo das águas no SAG, elaborado por Araújo *et al.* (1995). Cabe salientar que os mesmos autores atentam para fatores como a presença de muitos diques, *sills*, falhas e topografia local que poderiam influenciar tal superfície potenciométrica. Dados de poços não conhecidos na época da elaboração do mapa podem modificar a superfície potenciométrica local de áreas

menores, especialmente nas proximidades das áreas de afloramento das rochas que abrigam as águas do SAG.

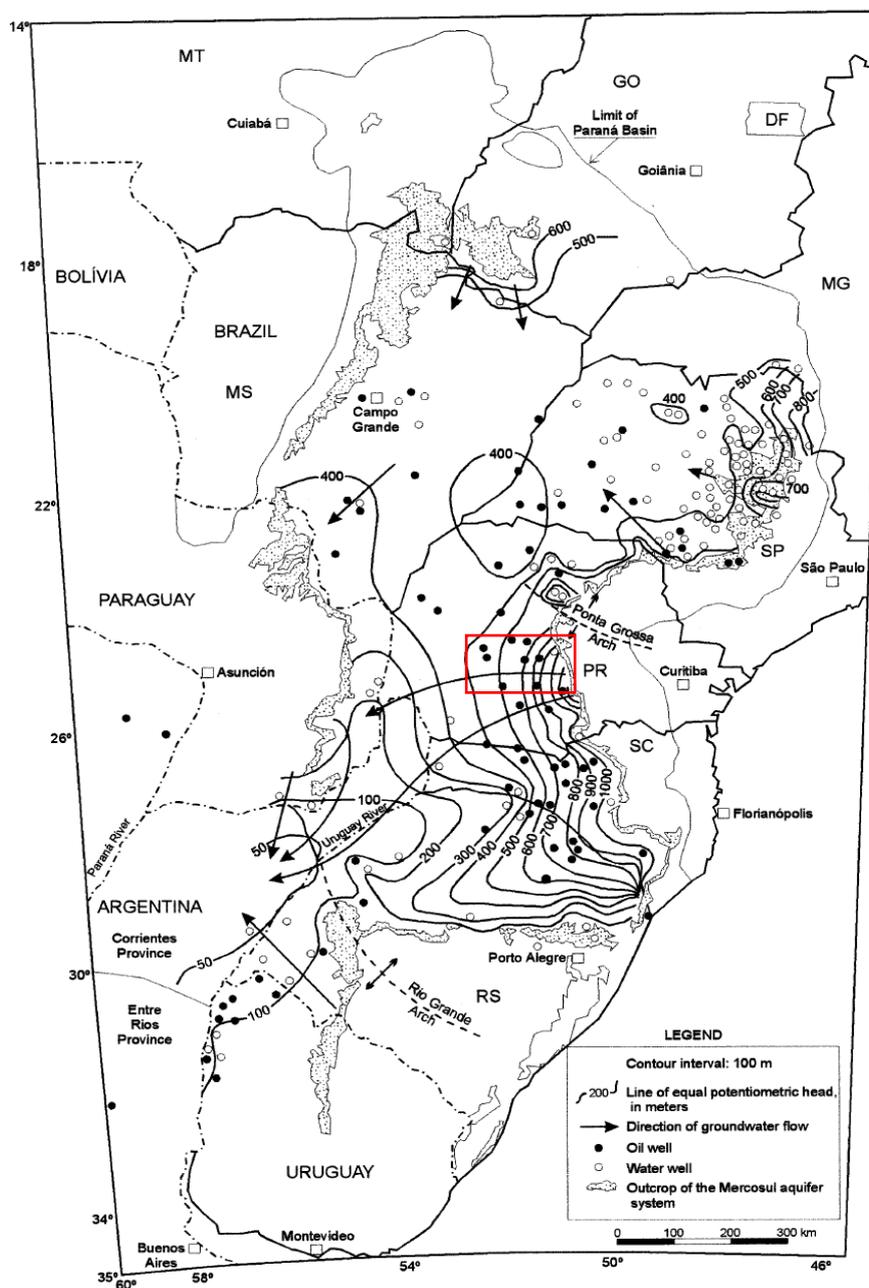


Figura 13 - Superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani com área de estudo em vermelho. (Fonte: Araújo *et al.*, 1999).

Na área de recarga e ao longo de uma faixa de cerca de 60 km a ela adjacente, as águas são bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas, com teores de resíduo seco inferiores a 200 mg/L e pH ácido. Já na zona francamente confinada do aquífero, as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas evoluindo para cloro-sulfatadas sódicas junto à calha da bacia; o pH é alcalino e os valores de resíduo seco variam de 200 a 600 mg/L. A

temperatura das águas aumenta gradativamente das áreas de recarga para a calha da bacia em função do grau geotérmico natural de 1°C/35 m. Medidas efetuadas nos poços indicam valores de 22 a 25°C nos afloramentos, de 25 a 30°C na faixa adjacente de baixo confinamento e de 30 a 63°C na maior parte da área (Rocha, 1996).

O quimismo das águas do SAG é muito variável, principalmente nas zonas confinadas, seja por efeito de variações faciológicas, seja por influência de misturas induzidas por fraturas. Nas áreas mais confinadas do aquífero as águas não são (sem tratamento) adequadas ao consumo humano, devido ao elevado teor de sólidos totais dissolvidos (STD > 1.000 mg/L), elevada concentração de sulfatos e presença de flúor acima dos limites recomendados (12 mg/L). A classificação físico-química das águas do SAG, segundo Silva (1983), é sumarizada a seguir:

✓ *Zona Livre:*

Bicarbonatadas magnesianas a cálcio magnesianas STD +- 100 mg/L

✓ *Zona de Conectividade com o SASG:*

Bicarbonatadas cálcicas a cálcio magnesianas STD +- 200 mg/L

✓ *Zona Francamente Confinada:*

Bicarbonatadas sódicas a cloro-sulfatadas-sódicas STD + 650 mg/L

No trabalho de Hirata e Sracek (2002), onde foram utilizados os dados de Silva (1983), modelagens geoquímicas indicam que o intercâmbio catiônico e a dissolução dos carbonatos desempenham papel importante no gradiente de evolução das águas do SAG.

As águas na região de afloramento do SAG apresentam composição bicarbonatada cálcica, e modificam para bicarbonatadas sódicas com aumento das concentrações de cloro e sulfato em profundidade, nas áreas de confinamento. Esta modificação na composição se dá através da diminuição do cálcio por intercâmbio com o sódio, originada pela dissolução dos carbonatos dando lugar a águas subterrâneas do tipo bicarbonatada sódica, com parte do sódio entrando provavelmente no SAG junto com o cloro e o sulfato procedente da Formação Pirambóia, devido a dissolução dos evaporitos. Foi observado que valores de pH também aumentam com o confinamento. Ainda no mesmo trabalho não foram encontradas evidências se a dissolução ocorre diretamente no SAG ou na Formação Serra Geral.

Este aquífero é por muitos considerado como um dos maiores reservatórios subterrâneos do mundo. A exploração da água através de poços profundos permite a extração por unidade de captação de até 1.000 m³/h. Em várias regiões do sul e do sudeste do Brasil, assim como na Argentina e no Uruguai, existe o fenômeno da surgência natural, inclusive com a temperatura da água atingindo até 65° C (Rosa Filho *et al.*, 2000).

Porém, na atualidade, através de estudos regionalizados, tem se discutido a continuidade, qualidade e reservas de água deste gigantesco aquífero, sugerindo que o mesmo está compartimentado através de tectonismo em vários blocos e que suas águas possuem unidades aquíferas com baixa/alta capacidade hidráulica, e até mesmo com potencialidade nula. Machado (2005) afirma que o SAG apresenta estruturas em camadas que se superpõem a muitos aquíferos com potencialidades variadas e ao contrário do que se imagina suas águas nem sempre apresentam potabilidade em toda sua área de ocorrência. Este autor considera que o SAG possui muitas limitações e sugere a reavaliação de sua potencialidade em estudos mais detalhados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As atividades desenvolvidas durante este trabalho são aqui apresentadas, separadas em subitens onde são indicados os dados, os métodos de processamento e as ferramentas utilizadas para cada etapa, conforme mostra o fluxograma da Figura 14.

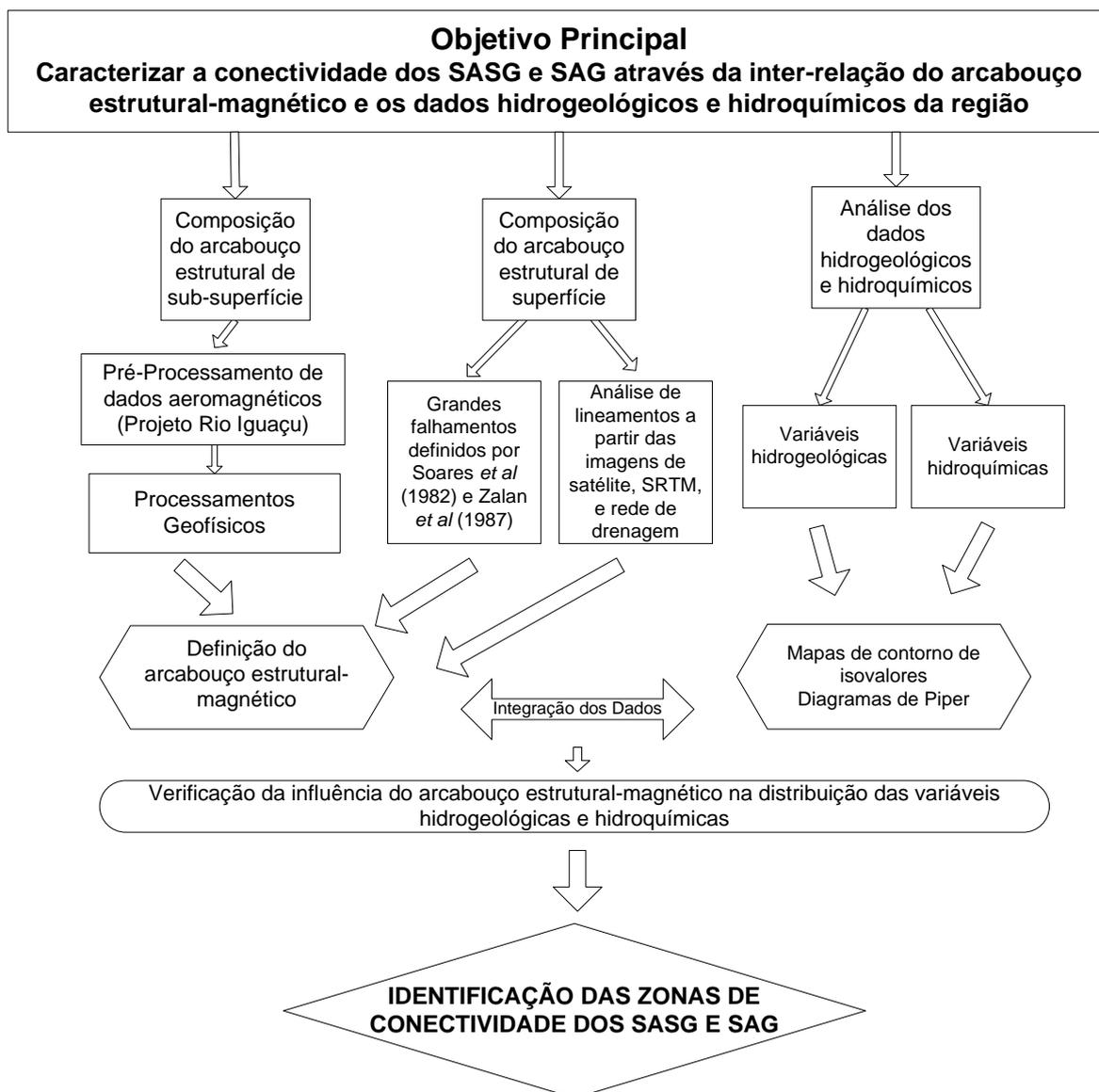


Figura 14 - Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.

4.1 BASE DE DADOS

A partir da seleção da área, localizada na porção central do estado do Paraná, foram obtidas cartas topográficas e geológicas, além de uma série de mapas temáticos, os quais foram inseridos, após conversão para meio digital, em um banco de dados georreferenciado para que todas as variáveis pudessem ser confrontadas através de geoprocessamento.

Foram utilizadas duas cartas topográficas do IBGE/DSG e dois mapas geológicos (Figura 9) fornecidos pela Mineropar (2001), ambos em escala 1:250.000, denominados Folha SG-22-V-B (Campo Mourão – PR) e Folha SG-22-V-A (Cascavel – PR).

Os mapas temáticos utilizados foram os de Soares *et al.* (1982), Zalán *et al.* (1987) e Artur (1998), nos quais os grandes lineamentos de ocorrência na área foram descritos e interpretados. Tais mapas serviram de base para a composição do arcabouço estrutural de superfície e podem ser visualizados no Capítulo 3 – Área de Estudo.

4.2 DADOS DE SENSORES REMOTOS

Para a geração de um modelo estrutural de superfície da área de estudo foram utilizadas três fontes principais de dados:

4.2.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

Obtido a partir do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), do USGS (*United States Geological Survey*), derivado de levantamento realizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), através de sensor instalado no ônibus espacial *Endavour* em março de 2005.

Do modelo numérico do terreno, construído a partir de células quadradas de 90 metros de lado, foram traçados lineamentos com sombreamentos nas direções 0°, 45°, 90° e 135°, nas escalas 1:250.000 e 1:400.000 os quais foram posteriormente interpretados no programa LinAnalyst (Freitas, 2005), através da geração de mapas de rosetas com as direções preferenciais dos fraturamentos, bem como mapas de isovalores para frequência, comprimento, densidade e intensidade destes lineamentos.

O método de análise utilizado é baseado no *software* LinAnalyst (Freitas, 2005), o qual utiliza técnicas estatísticas específicas para estimativa e validação dos dados obtidos e

indica de maneira ponderada a relação da interpretação com a realidade geológica da região analisada. Também visa facilitar a compreensão do traçado de lineamentos obtidos a partir de produtos de sensores remotos. O programa apresenta três métodos analíticos distintos para geração de grades com atributos diversos referentes aos lineamentos processados. Permite também obter características referentes a análises direcionais (através da geração de diagramas de rosetas) para todo o banco de dados ou a partir da divisão do mesmo em células individuais, além da geração de relatórios com parâmetros estatísticos.

4.2.2 IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 7 (SENSOR ETM+)

As cenas utilizadas, 222/77 e 223/77, geradas pelo sensor ETM+ do satélite Landsat 7 e adquiridas em março de 2005, são compostas por nove bandas espectrais o que permitiu trabalhar com diferentes combinações. Os melhores resultados obtidos foram os da composição RGB 543. A análise das imagens foi puramente visual, através de comparações com os demais sensores de superfície utilizados. Estas imagens podem ser vistas no Capítulo 5 – Caracterização Estrutural-Magnética.

4.2.3 REDE DE DRENAGEM

Obtida a partir dos mapas topográficos das Folhas Campo Mourão e Cascavel, escala 1:250.000, a rede de drenagem foi analisada em conjunto com as demais variáveis.

A análise integrada partiu dos traçados estruturais de cada um dos temas acima, os quais foram posteriormente agrupados em um único mapa, representando as estruturas de superfície da área.

O cruzamento destas informações com aquelas de subsuperfície, derivadas do processamento aeromagnético, resultou em um mapa das principais estruturas comuns aos vários níveis de investigação, o qual foi cotejado com a distribuição espacial dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos.

4.3 DADOS DE CAMPO

Visando dar subsídio às análises de superfície, foi realizada uma etapa de campo no 1º semestre de 2006, objetivando a caracterização das rochas basálticas e suas variações e a coleta de dados relacionados a atitudes e mergulhos de estruturas em diversos pontos da

área, os quais foram pré-selecionados a partir de um cadastro de pedreiras de rochas basálticas fornecido pela Mineropar. Neste sentido, foram selecionadas 10 lavras, cujos dados estruturais foram analisados e interpretados através de diagramas de rosetas.

4.4 DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS

A área do estudo está inserida no Projeto Rio Iguaçu (Petrobras, 1981), o qual integra uma série de levantamentos aerogeofísicos realizados na Bacia do Paraná, principalmente durante a década dos anos 80 (Tabela 1, Figura 15). Este levantamento foi realizado pela Petrobras no ano de 1981, recobrando uma área de aproximadamente 55.000 km², segundo linhas espaçadas de 2 km na direção N-S, a uma altura de vôo de 500 m, com amostragem em intervalos próximos de 100 m. Também foram realizadas linhas de controle espaçadas de 20 km e dirigidas perpendicularmente às linhas do levantamento.

Tabela 1 - Parâmetros de aquisição, períodos e áreas abrangidas pelos levantamentos aeromagnetométricos da Bacia do Paraná no Brasil. Fonte: Astolfi *et al.* (1991).

Projeto	Alt. Vôo (m)	Direção	Espaçamento (m)	Ano	Área (km ²)	Inclin./Declinação Magnética (graus)
Botucatu	450	N-S	2000	1980	46000	-24/-15
Bauru	450	N30W	2000	1979	11383	-22/-14
A.C.Grande	1800	N15E	3000	1978	70200	-19/-12
Paranapanema	400	N45E	2000	1980	67000	-20/-13
Rio Aporé	400	N-S	2000	1981	12000	-15/-14
Rio Ivaí	450	N-S	2000	1981	48000	-23/-13
Rio Iguaçu	500	N-S	2000	1981	55000	-24/-11
SP-RJ	150	N-S	1000	1979	12000	-24/-15
Borda Oeste	1000*	N-S	3000	1989	80000	-21/12
Bacia Paraná	2400*	N30W	7000	1973	85500	-
Serra Mar Sul	135	N30W	1000	1979	49780	-27/-14
P.G. Criciúma	150	E-W	1000	1971	33362	-25/-12

* levantamento barométrico

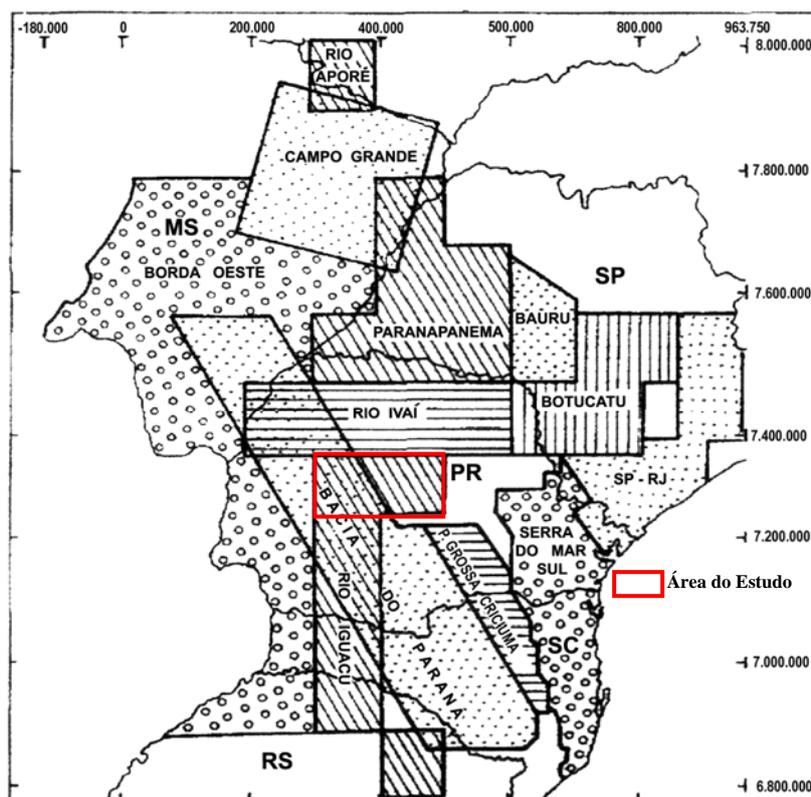


Figura 15 - Mapa índice dos levantamentos aeromagnetométricos da Bacia do Paraná no Brasil.

Fonte: Astolfi *et al.* (1991)

Métodos automáticos são corriqueiramente aplicados a dados de campos potenciais para mapeamento de contatos geológicos e falhas. Em geral, a interpretação qualitativa de dados aeromagnéticos é baseada na determinação da máxima amplitude de uma função, como por exemplo, os gradientes horizontais e vertical e o sinal analítico.

Os métodos utilizados, em geral, foram àqueles aplicados por Portela Filho (2003) e Bettú (2004), iniciando-se através de análise crítica dos dados, pré-processamento com geração de malhas regulares (500x500 m) pelo método da curvatura mínima (Briggs 1974) e eliminação de artefatos (ruídos), ao longo das linhas de vôo, através da técnica de micronivelamento (Geosoft 2001, Bettú e Ferreira 2003, Portela Filho 2003, Bettú 2004, Ferreira *et al.* 2004, 2005).

A partir dos dados pré-processados foi aplicado o procedimento de continuação ascendente, considerado um filtro de “limpeza” e freqüentemente utilizado para remover ou minimizar sinais de fontes rasas e ruídos. Este filtro simula a aquisição de dados do campo magnético a níveis superiores ao original.

Foram então aplicados diferentes métodos de realce de anomalias magnéticas ao banco de dados continuado à 2000 e 5000 metros, os quais são consagrados na literatura,

além de novas técnicas de processamento em desenvolvimento por Ferreira e Silva (2006), também empregadas nesta pesquisa. No capítulo 5 são listados e comentados os vários métodos utilizados na área de estudo, sendo apresentados apenas os mapas correspondentes aos temas que obtiveram resultados significativos para a área:

Com base nos produtos derivados dos vários métodos de realce aplicados, foram selecionados os mais representativos para servir de base para a concepção do arcabouço estrutural-magnético. Os resultados e interpretações dos métodos selecionados encontram-se descritos nos capítulos subsequentes.

Para cada um dos mapas gerados foram interpretados alinhamentos magnéticos de grande e pequena ordem. Os lineamentos maiores foram selecionados para compor o arcabouço comum, quando correlacionados com os dados de superfície. Já os menores foram interpretados no programa LinAnalist (Freitas, 2005) e posteriormente comparados aos lineamentos extraídos do Modelo Digital de Elevação SRTM.

4.5 DADOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROQUÍMICOS

O número de poços perfurados e completados no SASG no estado do Paraná, seguramente, ultrapassa as 4.000 unidades (Buchmann Filho 2002). Entretanto, os dados hidroquímicos carecem de criteriosa análise de consistência para serem manipulados, sobretudo quando se intenta calcular o balanço iônico.

Durante esta pesquisa notou-se a necessidade de aprimorar os bancos de dados hidrogeológicos do estado do Paraná, o que vem sendo realizado pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e de Saneamento Ambiental (Suderhsa) e pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Para este trabalho, a coleta de dados junto à Sanepar foi realizada através do resgate das análises químicas em arquivos analógicos, os quais foram posteriormente transferidos para meio digital. Os dados da Suderhsa foram obtidos diretamente do banco de dados digital da empresa.

A pesquisa nos bancos de dados da Suderhsa (48 poços) e da Sanepar (97 poços), aliada aos dados fornecidos por Buchmann Filho (2002), 40 poços, resultou num arquivo com 185 poços. O mapa com a localização geográfica destes poços pode ser visualizado no Capítulo 6 - Caracterização Hidrogeológica-Hidroquímica.

Para os dados hidrogeológicos (profundidade das perfurações, potenciometria, vazão, capacidade específica) foi realizada uma análise crítica e atualização do banco de dados, geração de malhas regulares pelo método da curvatura mínima (Briggs 1974) e de

mapas das variáveis mencionadas anteriormente, com o objetivo de avaliar suas distribuições espaciais (Buchmann Filho 2002; Bettú e Ferreira 2003, Portela Filho 2003, Portela Filho *et al.* 2005, Bettú 2004, Ferreira *et al.* 2005);

Para os dados hidroquímicos (potencial hidrogeniônico – pH; sólidos totais dissolvidos – STD; cátions – $\text{Na}^{2+} + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} - e ânions – Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-}), foi realizada também uma análise crítica e atualização do banco de dados seguida do cálculo do balanço iônico (erros menores que 11%), já preliminarmente tratado por Buchmann Filho (2002) e Bittencourt *et al.* (2003); geração de malhas regulares pelo método já mencionado e de mapas do pH e dos STD, além de diagramas de Piper e mapas de isovalores dos cátions e dos ânions, com o mesmo objetivo de avaliar suas distribuições espaciais (Buchmann Filho 2002; Portela Filho 2003, Portela Filho *et al.* 2005, Bettú e Ferreira 2003, Bettú 2004, Ferreira *et al.* 2005).

5 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL-MAGNÉTICA

Neste capítulo serão apresentados todos os dados, processamentos e interpretações que foram executados para a concepção do arcabouço estrutural-magnético da área. O estudo para a definição deste arcabouço compreende análises estruturais de superfície e subsuperfície.

As direções estruturais de superfície foram delineadas com base em estudos anteriores que descrevem as grandes falhas na região e confirmadas através dos dados coletados em campo aliados à interpretação e integração de lineamentos extraídos das imagens de satélite e do Modelo Digital de Elevação.

As feições de subsuperfície foram obtidas através do traçado dos lineamentos sobre mapas resultantes dos diversos processamentos geofísicos executados sobre os dados do levantamento aeromagnético.

5.1 ANÁLISE ESTRUTURAL DE SUPERFÍCIE

A análise estrutural realizada neste trabalho teve início com a compilação dos grandes lineamentos de Soares *et al.* (1982), Zalán *et al.* (1987,1990) e Artur (1998), de acordo com a Figura 10, o qual serviu de base para delinear o arcabouço estrutural de superfície.

Foram identificadas de acordo com os autores supracitados, as principais falhas e/ou zonas de falhas de direção NW como: Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão, Falha do Rio Alonzo e Lineamento do Rio Piquiri (Zalán *et al.* 1987, 1990) e Alinhamento Médio Piquiri (PQ2), Alinhamento Médio Ivaí (MI2 e MI3) e Alinhamento Goixim (GO2) (Soares *et al.* 1982); e para a direção NE: Falha de Guaxupé e Falha de Jacutinga (Zalán *et al.* 1987, 1990), e direções Pitanga (PT3 e PT4) e Paraná (PR1 e PR2) (Soares *et al.* 1982).

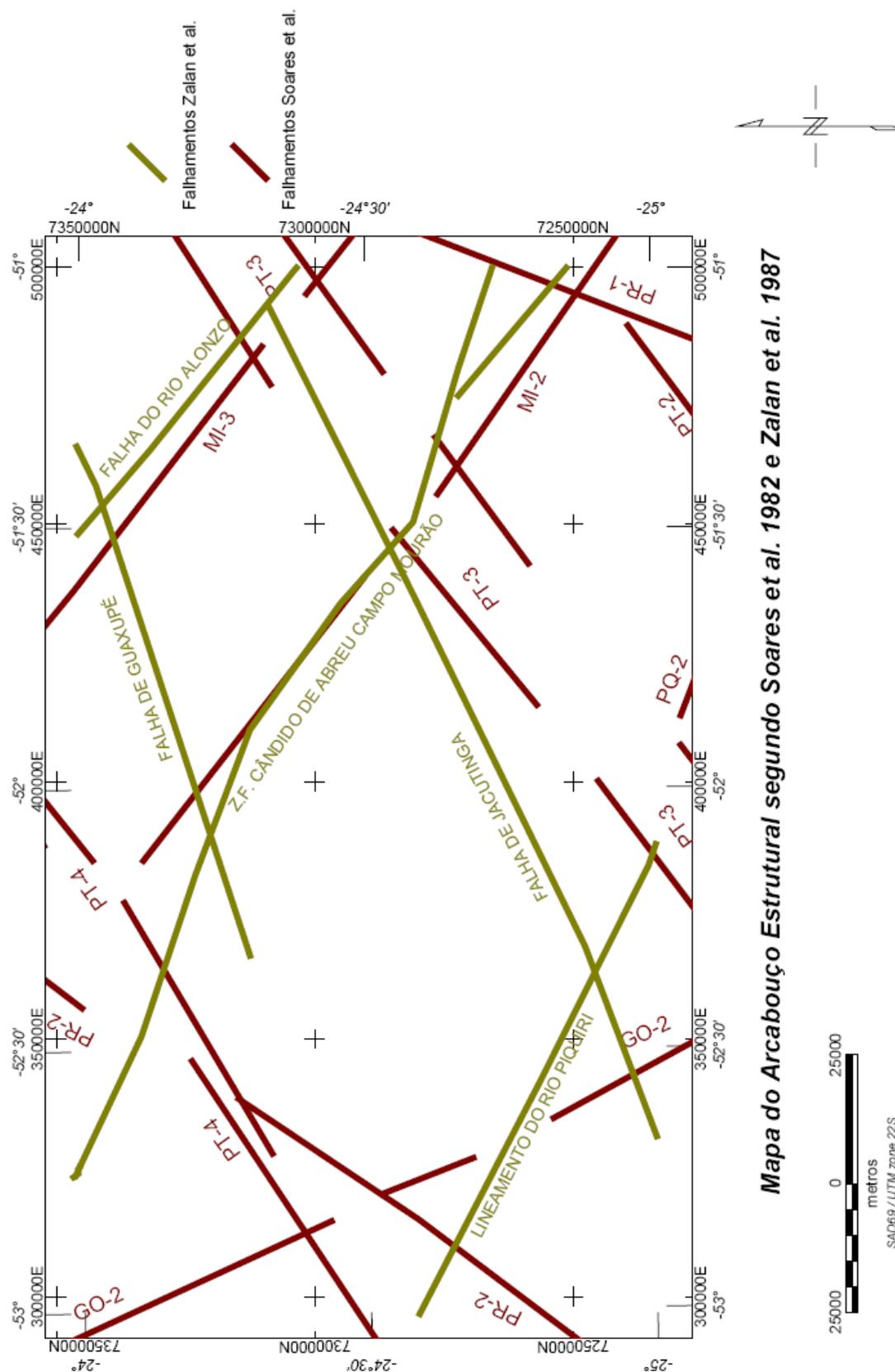


Figura 16 - Mapa do arcabouço estrutural da área de estudo, indicando os lineamentos definidos por Soares *et al.* (1982) e Zalan *et al.* (1987).

5.1.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Conforme descrito no Capítulo 4 - Materiais e Métodos, o Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado foi o SRTM90 fornecido pela NASA (Figura 17).

As principais feições identificadas no MDE estão relacionadas às diferentes litologias (Figura 9), à rede de drenagem (Figura 23) e as estruturas (Figura 16) que condicionam a área. A diferença composicional destas rochas pode ser evidenciada na porção leste pelas rochas sedimentares paleozóicas, na porção noroeste pelas rochas do Grupo Caiuá e no restante da área pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral. As feições correspondentes as estruturas e rede de drenagem confirmam a existência dos principais lineamentos definidos por Soares *et al.* (1982) e Zalán *et al.* (1987). É possível identificar ainda um baixo estrutural na região central da área, bordejado por rochas efusivas intermediárias e ácidas também da Formação Serra Geral. O mapa hipsométrico também evidencia esta estrutura circular na região central da área.

A partir deste modelo, foram traçadas feições lineares, em duas escalas adequadas (denominadas maior e menor), para quatro direções preferenciais (NS, NE, NW e EW), obtendo-se quatro mapas de lineamentos para as respectivas direções. Estes mapas foram fundidos em um único (figuras 18 e 19) para posterior análise estatística pelo *software* LinAnalyst, desenvolvido recentemente por Freitas (2005).

Durante o traçado procurou-se não duplicar os elementos, ou seja, quando feições lineares positivas e negativas são contíguas e com a mesma direção, admitiu-se apenas um dos traços, que neste caso foi o negativo. Também procurou-se manter as escalas de lineamentos, 1:250.000 e 1:400.000 para o traçado, uma vez que os grandes alinhamentos estruturais regionais foram baseados em dados bibliográficos descritos no item anterior. Cabe salientar que a escala 1:400.000 mostrou-se mais adequada na interpretação das estruturas regionais enquanto que a escala 1:250.000 foi utilizada nas interpretações estatísticas.

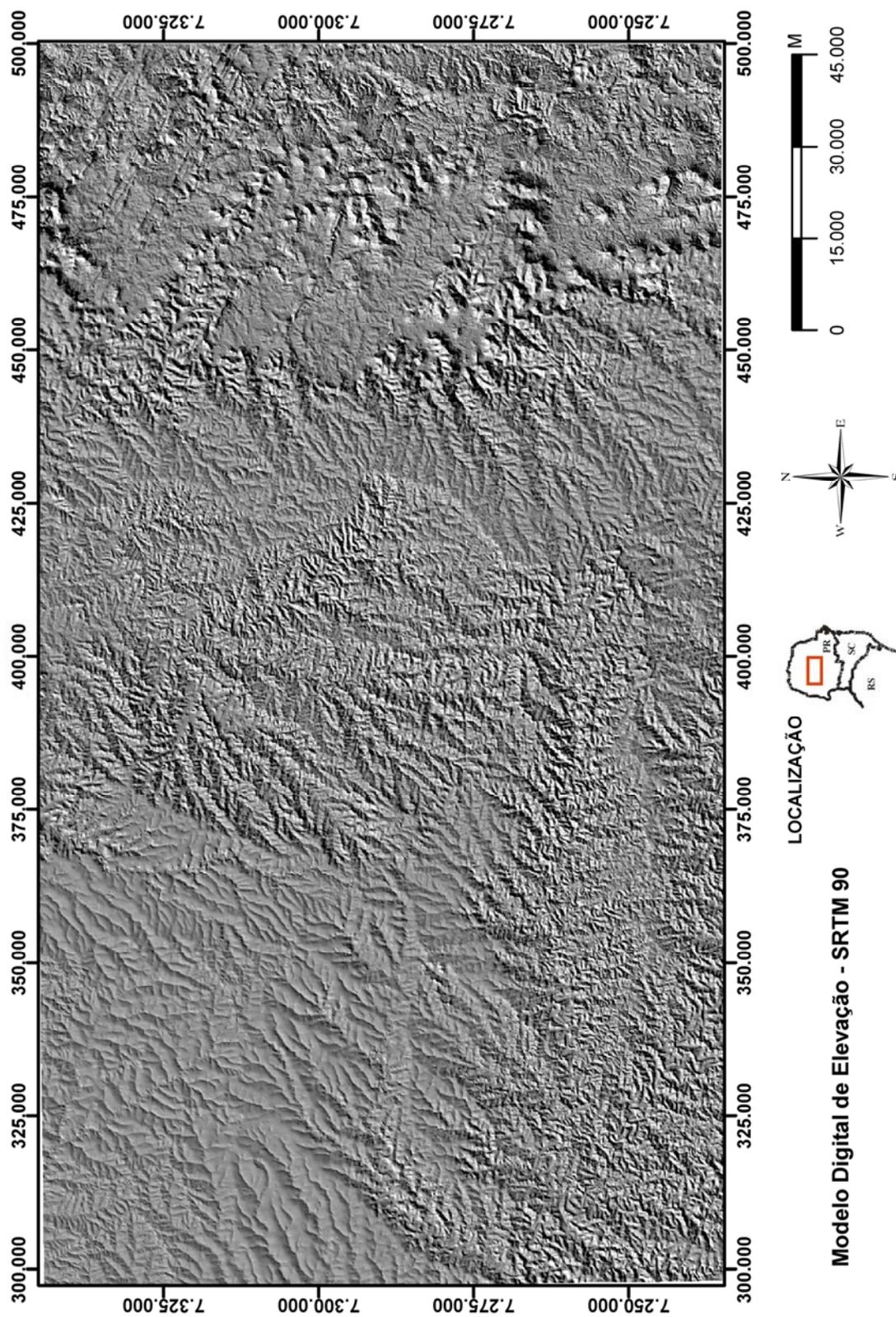


Figura 17 - Modelo Digital de Elevação (MDE).

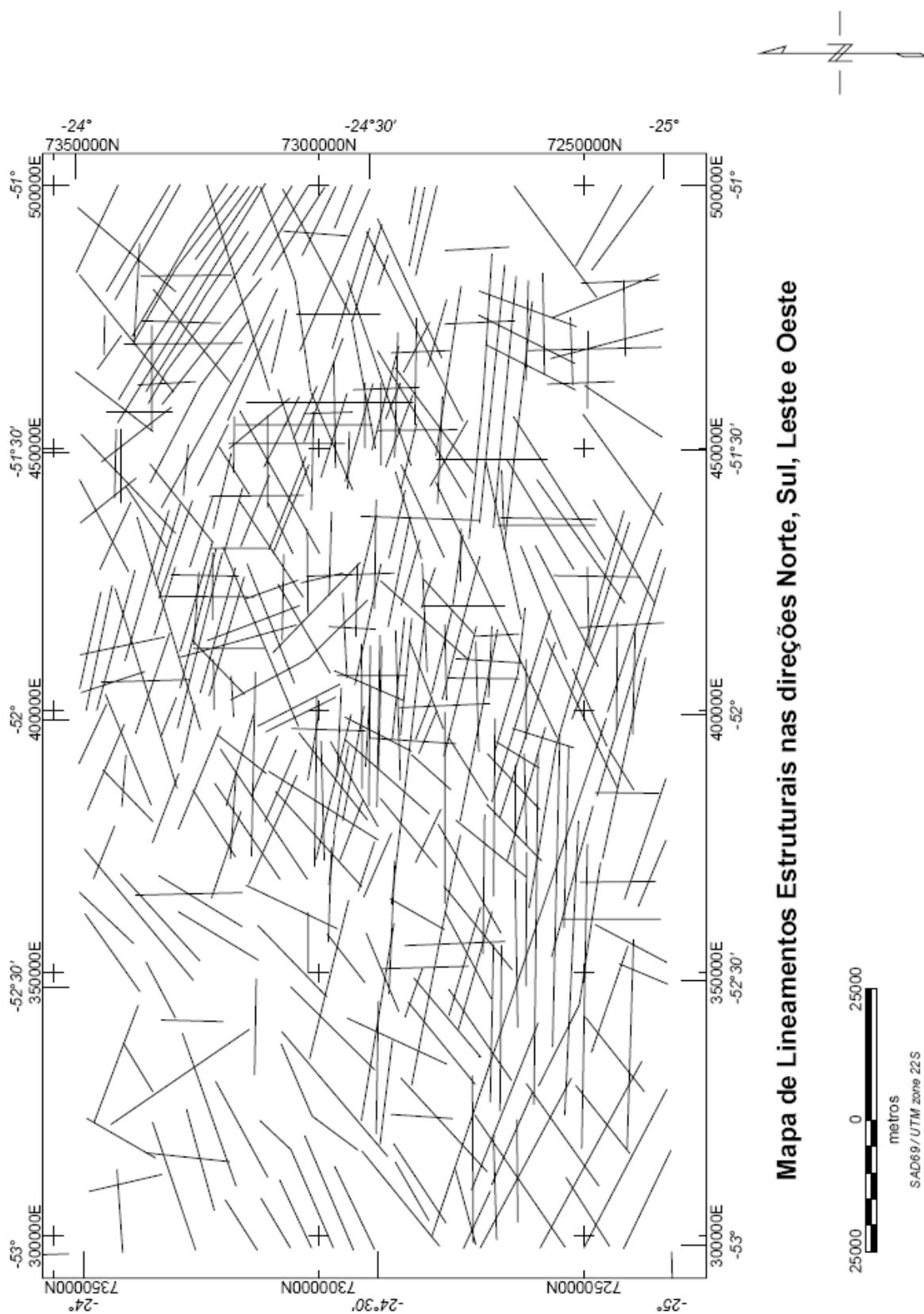


Figura 18 - Lineamentos estruturais maiores obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE).

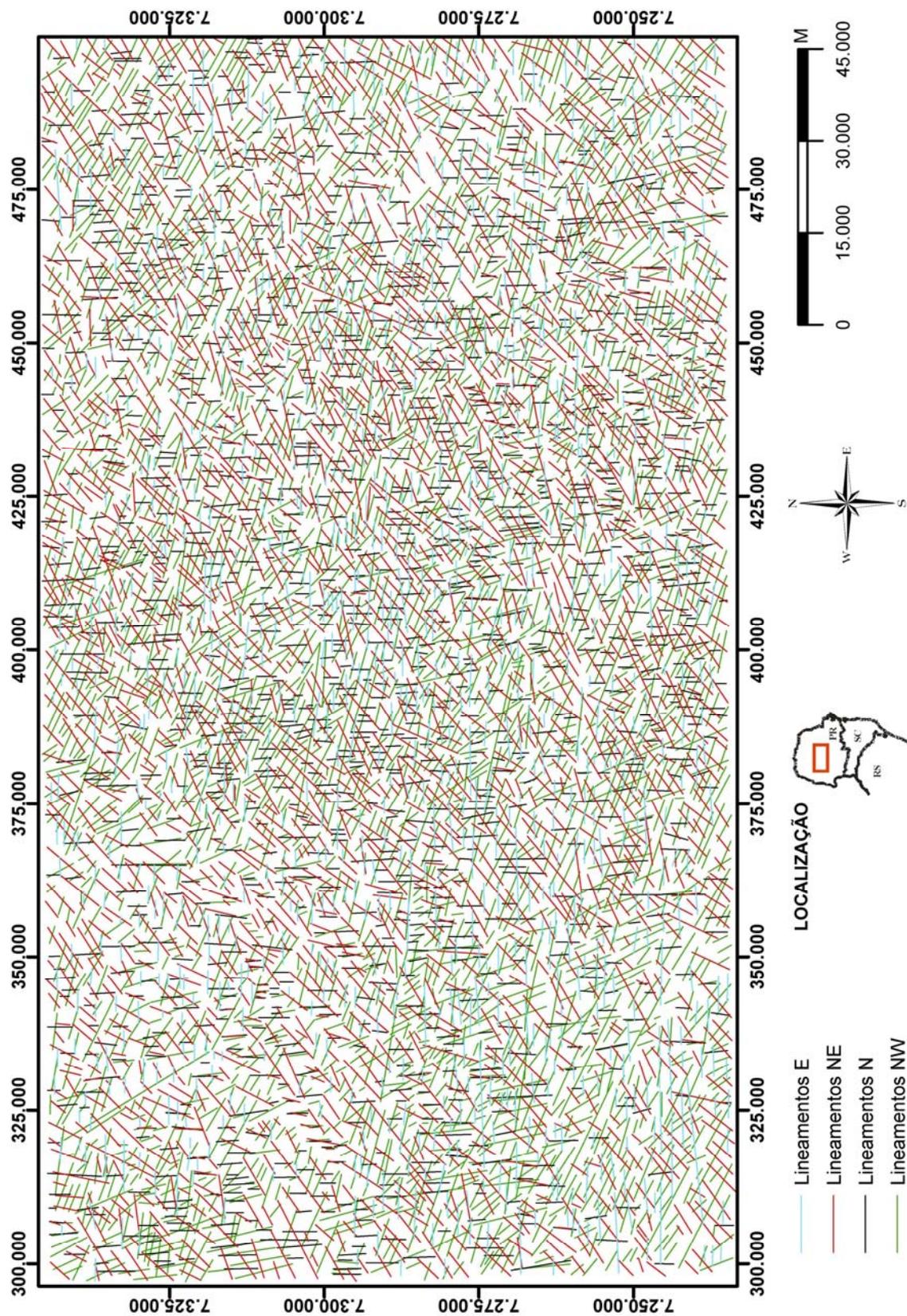


Figura 19 - Lineamentos estruturais menores obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE).

Por meio da interpretação no programa LinAnalyst, a Figura 20 mostra as principais direções de lineamentos em termos de frequência e comprimento. Nota-se uma direção NS preferencial, principalmente na porção leste da área, próxima ao rio Ivaí. Porém, tal direção não foi contemplada na interpretação geofísica pelo fato de ser paralela às linhas de vôo, além do processo de micronivelamento naquela direção. Entretanto trata-se de direção estrutural importante na evolução tectônica da Bacia do Paraná, em particular, e da Placa Sul-americana (Rostirolla *et al.* 2005), em geral, a qual também foi registrada nos trabalhos de Portela Filho (2003) e Bettú (2004). A direção NW também é proeminente, o que já foi comprovado pelas grandes falhas e zonas de falhas que intersectam a área. Por outro lado, a direção NE, também associada a falhamentos, aparece com menor intensidade. Ainda, a direção EW, característica da bacia, porém menos estudada, é perceptível nos diagramas da Figura 20. Foi possível definir nesta pesquisa o Alinhamento do Rio Cantú (EW), próximo ao rio homônimo.

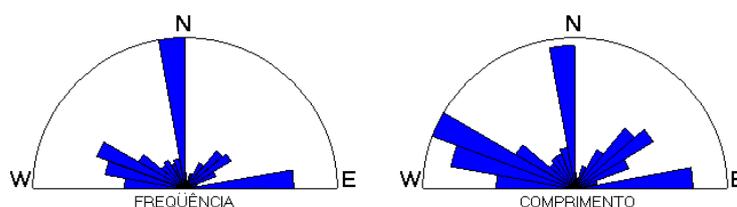


Figura 20 - Diagramas de roseta (frequência e comprimento) dos lineamentos estruturais

Outra análise de lineamentos foi realizada por intermédio da segmentação da área estudada em células regulares, com inserção em cada uma delas de um diagrama de roseta. O procedimento é executado automaticamente através do programa LinAnalyst, em seu módulo mapa. A região foi dividida, na extensão leste-oeste, em nove compartimentos, e na extensão norte-sul em cinco compartimentos, perfazendo um total de 45 células de mesmo tamanho. Os diagramas de roseta foram elaborados tanto para o comprimento acumulado como para a frequência acumulada (Figura 21).

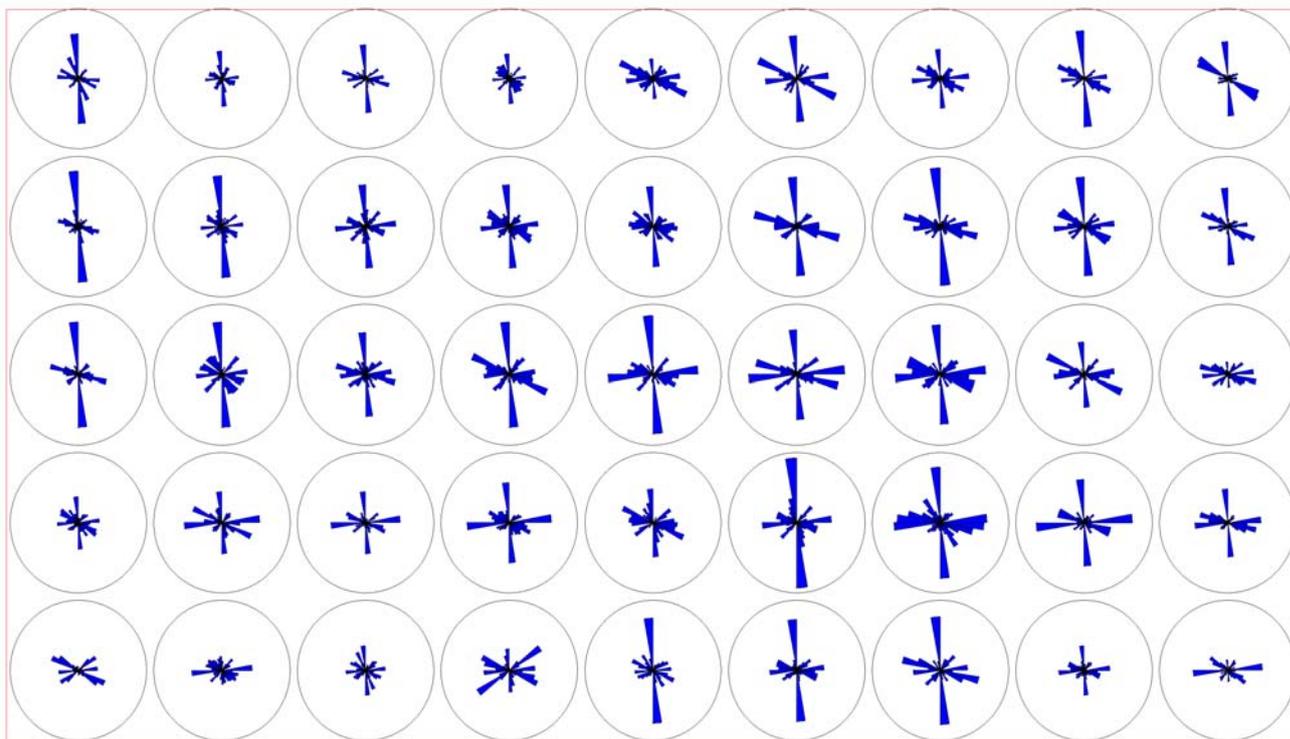
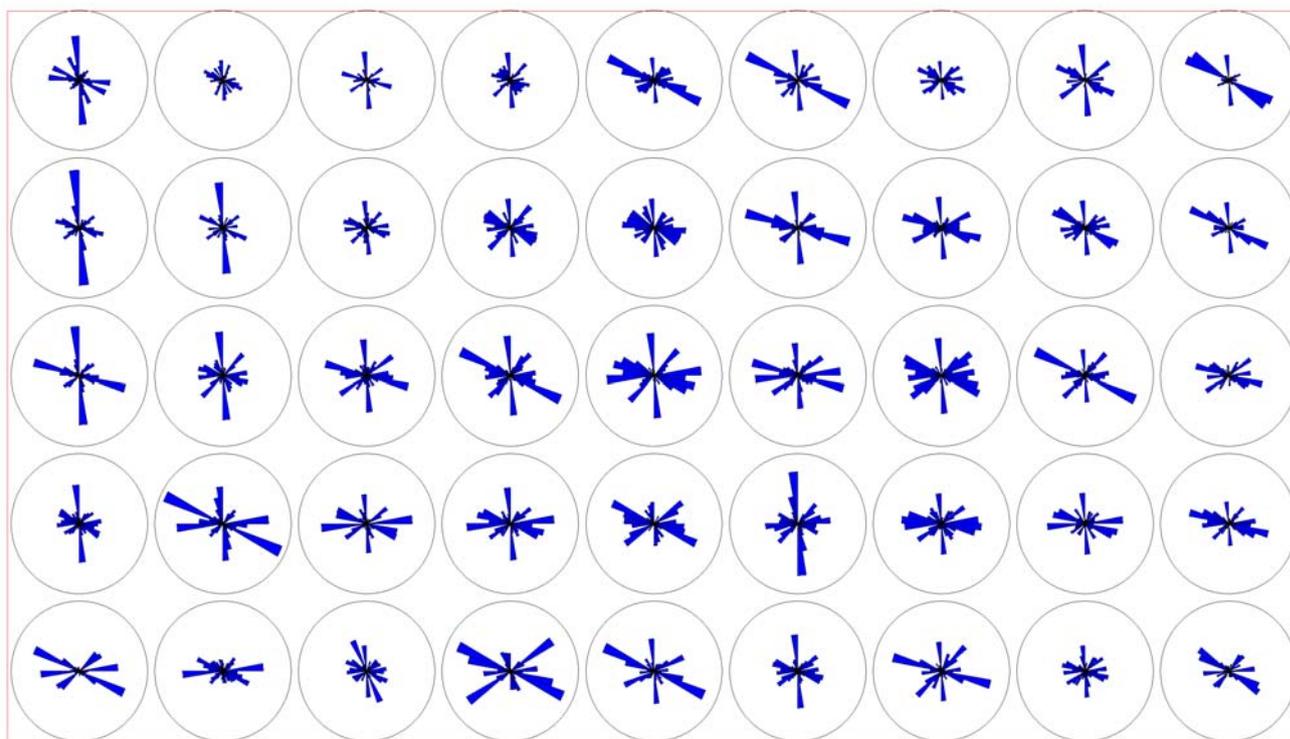
SRTM FREQUÊNCIA**SRTM COMPRIMENTO**

Figura 21 - Mapas de roseta de frequência e comprimento acumulados para os lineamentos obtidos a partir do MDE. As pétalas da roseta estão em classes de 10°.

Os resultados deste processamento foram considerados satisfatórios, quando comparados às direções dos lineamentos indicadas no arcabouço estrutural da Figura 16. Assim, o Lineamento do Rio Piquiri, porção SW da área, é bem representado pelos diagramas de roseta de comprimento; o *trend* de falhas relacionado ao Alinhamento do Rio Alonzo, porção NE da área, também pode ser visualizado nas respostas dos mencionados diagramas de roseta de frequência e comprimento naquela porção. Ainda tendências NS e EW são registradas em quase todos os diagramas, podendo ser relacionadas a eventos tectônicos recorrentes e de diversas naturezas da Bacia do Paraná.

5.1.2 IMAGENS DE SATÉLITE

O sensor orbital Landsat7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) obtém cenas multi-espectrais de cerca de 185 km², divididas em 09 bandas, sendo duas destas termais. As bandas do espectro visível e do infravermelho (bandas 1 a 5 e banda 7), apresentam resolução espacial de 30 metros. As bandas do infravermelho termal (6h e 6l – alto e baixo ganho) têm resolução de 60 metros, enquanto a banda pancromática (banda 8) apresenta 15 metros de resolução espacial.

Para a área estudada foram utilizadas, parcialmente, duas cenas distintas deste sensor, a saber: 222/77 e 223/77 com combinação RGB 543. O mosaico destas cenas pode ser observado na Figura 22.

Embora não tenham sido interpretadas em detalhe, as imagens de satélite auxiliaram principalmente o traçado dos lineamentos que estão condicionados às estruturas regionais (*e.g.* lineamentos NW, NE e EW da Figura 20) e no reconhecimento da geomorfologia, como a configuração da drenagem e do relevo.

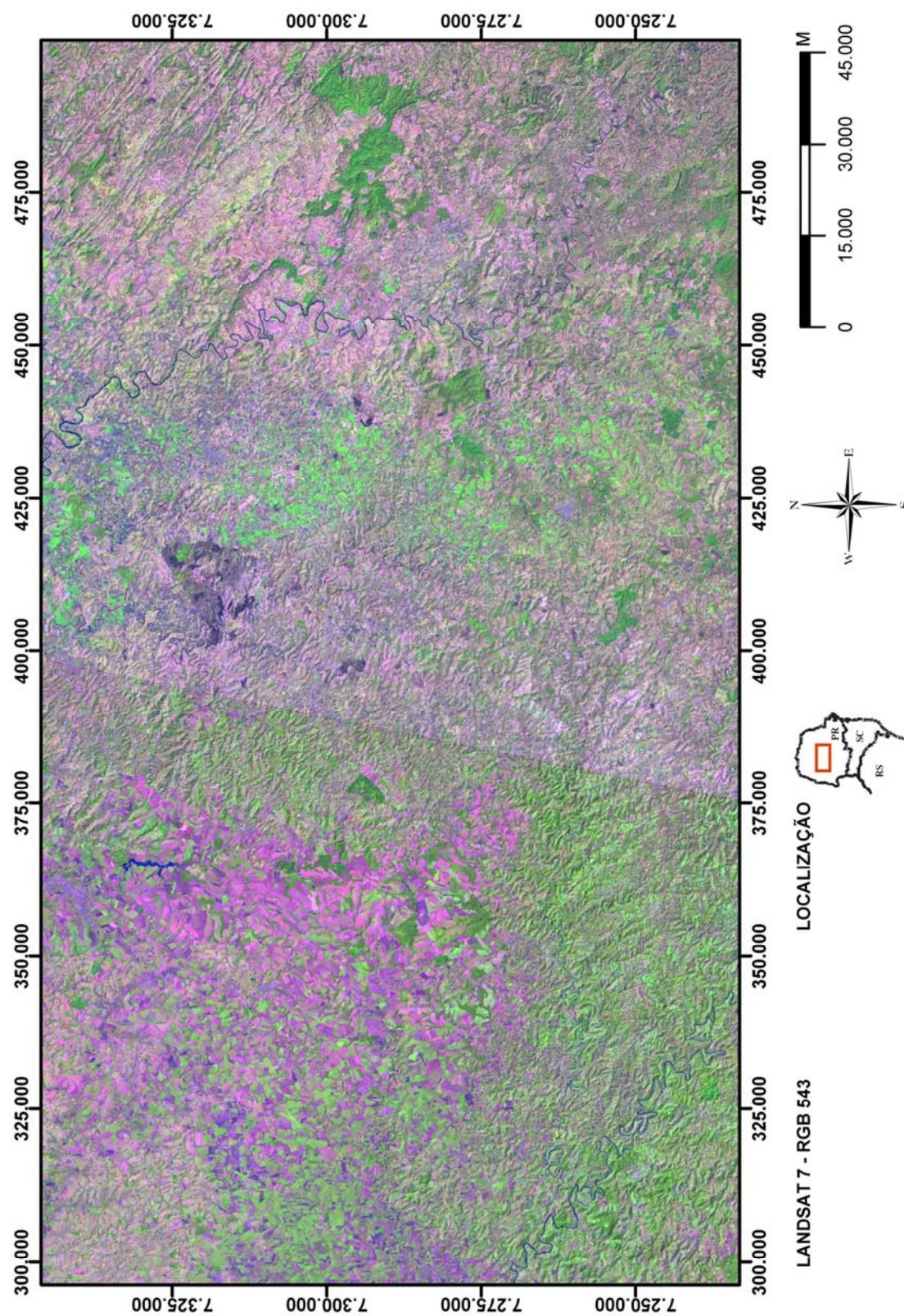


Figura 22 - Imagens Landsat7 ETM+ (composição R5G4B3) da área de estudo.

5.1.3 REDE DE DRENAGEM

As principais drenagens da área, como os rios Alonzo, Ivaí e Piquiri, são preferencialmente condicionadas por grandes falhas na direção NW-SE, já descritas na literatura. Já uma direção EW, aqui definida, está relacionada ao curso do rio Cantú. Na direção preferencial NS destaca-se o Rio Ivaí.

Os estudos relacionados às drenagens contemplaram a análise, a integração e o confronto de tais direções com os lineamentos extraídos do MDE e das imagens de satélite, com o intuito de auxiliar a composição do arcabouço estrutural de superfície. Nota-se um padrão de drenagem intensamente relacionado às grandes falhas e zonas de falhas que afetam a área.

Os litotipos aflorantes na região também condicionam as drenagens, como pode ser visto na Figura 23, a qual exhibe a trama hidrográfica em correspondência à geologia, evidenciando três padrões respectivamente relacionados ao Grupo Caiuá (porção NW), Formação Serra Geral (porção central) e rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná (porção NE). Em geral, as drenagens exibem um padrão dendrítico sobre os basaltos e paralelo/treliça sobre os sedimentos.

Por fim observa-se que alguns divisores de águas podem ser associados a um baixo estrutural, em formato circular, contíguo a ocorrência das rochas efusivas ácidas, localizados na porção central da área.

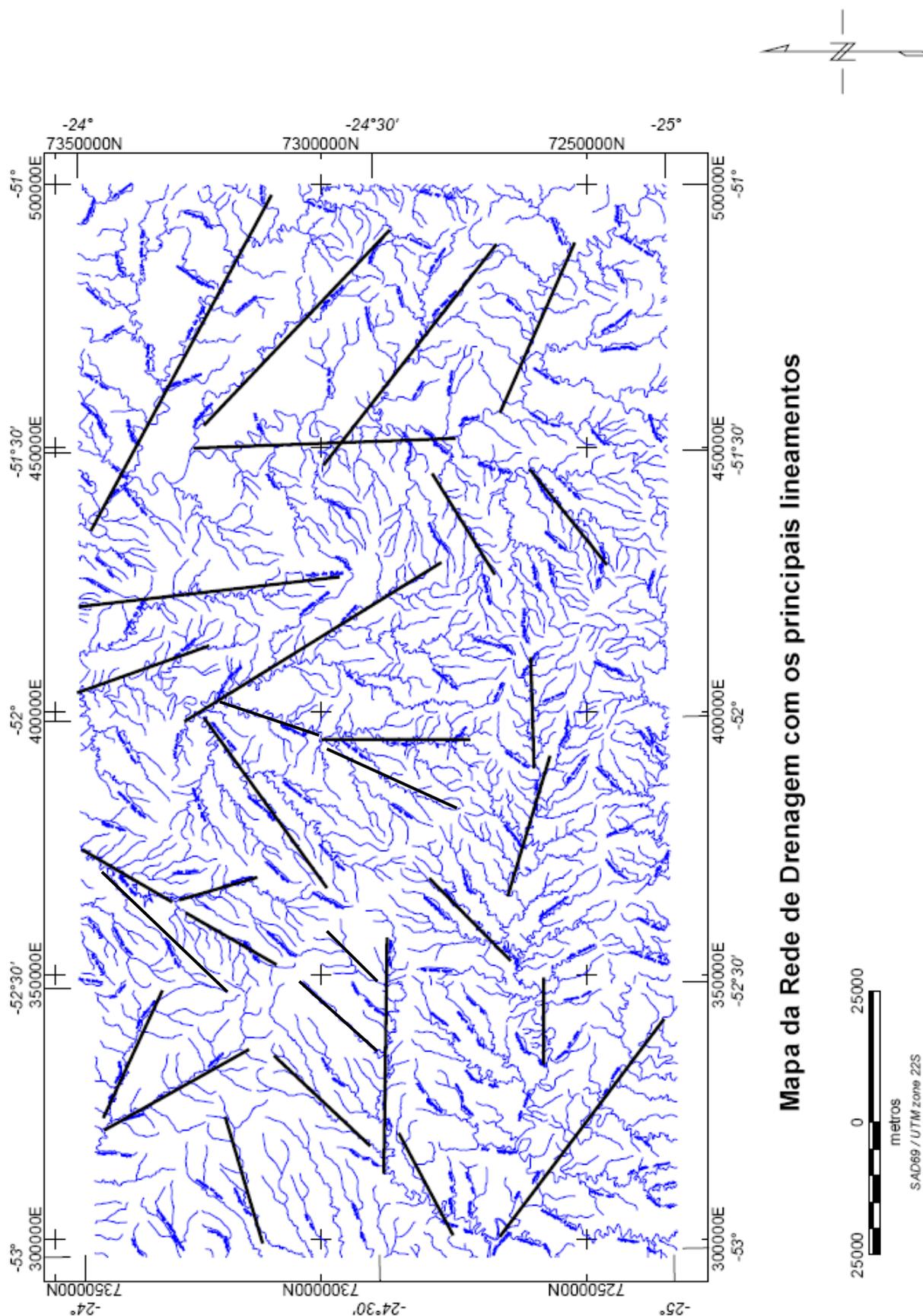


Figura 23 – Rede de drenagem da área de estudo com o traçado dos principais lineamentos.

5.1.4 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Foram desenvolvidos trabalhos de campo para reconhecimento das rochas aflorantes na área de estudo e confirmação dos grandes alinhamentos estruturais descritos na literatura. Por meio da aquisição de atitudes estruturais para posterior análise em diagramas de roseta, pode-se verificar que a área, de um modo geral, apresenta um padrão de fraturamento muito heterogêneo que, embora controlado pelos grandes falhamentos, reflete uma intensa atuação de forças em direções diversas. Trata-se de uma análise simplificada pois a etapa de campo foi curta e visou também o reconhecimento da área em diferentes aspectos além da análise estrutural propriamente dita.

Os dados de campo são aqui reportados através de diagramas de roseta inseridos na Figura 24 e fotografias várias na Figura 25, além de planilhas em anexo.

Os dados dos pontos A2, A3, A5, A6, A11 e A12, comprovam uma tendência direcional NW-SE coincidente com a Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão. Ressalta-se, entretanto, uma direção NE-SW relacionada à Falha de Jacutinga nos pontos A3 e A6. Os pontos A7, A8 e A9 apresentam uma tendência preferencial de direção fortemente influenciada pelas falhas do Rio Alonzo (NW) e Guaxupé (NE). O ponto A4 mostra uma direção EW ainda não relacionada a grandes falhamentos, entretanto, neste trabalho, é proposto o Alinhamento do Rio Cantú naquela direção, paralelo ao rio homônimo, caracterizado também pelas medidas de campo analisadas nos respectivos diagramas de roseta. Os pontos A10 e A15 mostram correspondência às direções Pitanga (PT-4), Paraná (PR-2) e Goioxim (GO-2), descritas por Soares *et al.* (1982). Entretanto, as duas últimas, em torno de NS, não foram contempladas na interpretação magnética em função, como já referido, do paralelismo às linhas de vôo e ao micronivelamento. O ponto A13 também se relaciona aos alinhamentos de direções próximas de NS, mesmo que esteja na zona de influência do Lineamento do Rio Piquiri (NW-SE). Neste sentido, as medidas de campo não evidenciem com tanta clareza estas últimas direções preferenciais.

As rochas observadas nestes afloramentos são todas de composição basáltica, apenas no ponto A11, nas proximidades do Município de Iretama, (fotografia 14), foram encontradas rochas de composição intermediária – brechas, as quais podem ser associadas a uma feição estrutural circular, no centro da área, que abriga rochas de semelhante composição em suas bordas.

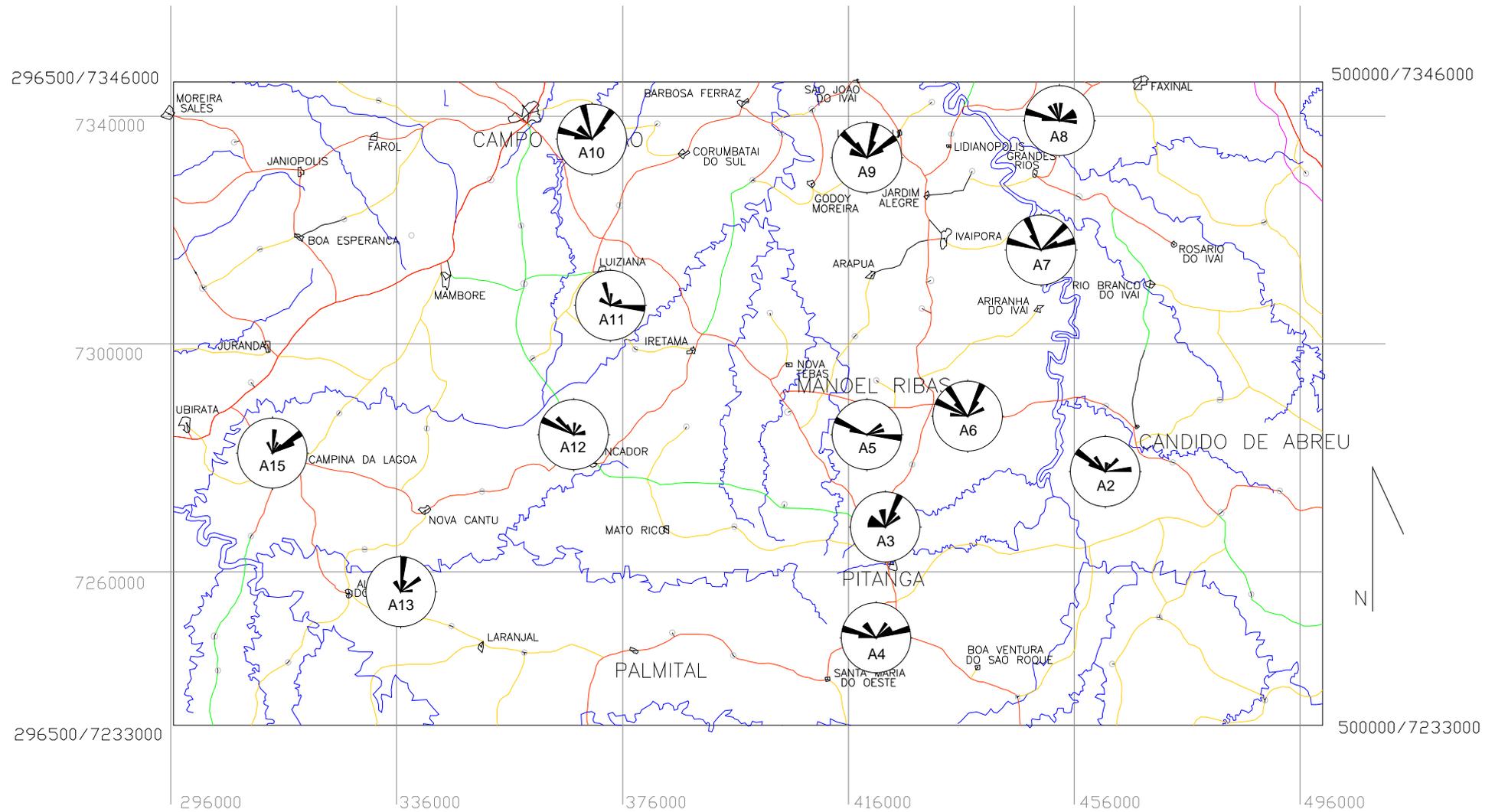


Figura 24 - Mapa de pontos de campo e suas respectivas rosetas, indicando as principais rodovias, municípios e drenagens.



Foto 5: Vista de pedreira de basalto inativa. Corte da lavra EW. Ponto A2



Foto 6: Pedreira de basalto abandonada no município de Pitanga. Corte da lavra EW. Ponto A3



Foto 7: Antiga frente da pedreira de basalto com bancadas. Ponto A4



Foto 08: Frente ativa da pedreira de basalto. Ponto A4



Foto 9: Lavra de basalto abandonada. Corte da lavra NW/SE. Ponto A5



Foto 10: Frente de lavra Comercial Ivaiporã. Ponto A7

Figura 25 – Fotografias das pedreiras de basalto visitadas durante a etapa de campo.



Foto 11: Pedreira Estrela do Ivaí. Ponto A9

Foto 12: Pedreira Campus Mourão. Vista do pátio.
Ponto A10Foto 13: Pedreira Luca. Material brechado. Ponto
A11

Foto 14: Detalhe do material brechado. Ponto A11

Foto 15: Frente de lavra abandonada da
Prefeitura de Roncador. Local do bicão. Ponto
A12Foto 16: Frente de lavra abandonada da
Prefeitura de Altamira do Paraná. Ponto A13

Figura 25 – Fotografias das pedreiras de basalto visitadas durante etapa de campo (continuação).

5.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DE SUBSUPERFÍCIE

A análise estrutural de subsuperfície consistiu no processamento e interpretação dos dados aeromagnéticos do Projeto Rio Iguaçu.

Os dados aeromagnéticos foram cedidos pela Petrobras (1981) já corrigidos dos erros de posicionamento, nivelamento das linhas, deriva de vôo e remoção do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), para o período do levantamento, resultando no denominado mapa magnético residual, sobre o qual foram realizadas as diversas etapas de processamento.

5.2.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

Nesta etapa, o banco de dados, em formato de arquivo *xyz*, foi importado para o *software* Oasis Montaj, onde foi selecionada e recortada a área de interesse para o estudo. Em seguida foram realizados testes visuais para avaliar suas características e iniciar o procedimento de construção de malhas regulares e de micronivelamento, com o intuito de eliminar os artefatos e anomalias espúrias ao longo das linhas de vôo, as quais podem ser observadas no mapa de Linhas de Vôo da Figura 26.

5.2.1.1 GERAÇÃO DAS MALHAS REGULARES

Os dados magnéticos residuais (já subtraídos do IGRF) foram processados a partir do formato digital *xyz* (ASC II), o qual organiza as informações hierarquicamente, primeiro por linha de vôo, depois por ponto de medição (1 medida para cada 56 metros ao longo das linhas de vôo). A partir deste formato os valores foram interpolados através do método da curvatura mínima (Briggs, 1974), para a geração de uma malha regular, com $\frac{1}{4}$ do espaçamento nominal entre as linhas de vôo, ou seja, células de 500 x 500 metros, resultando no mapa magnético residual da Figura 27, sombreado na direção NE-SW.

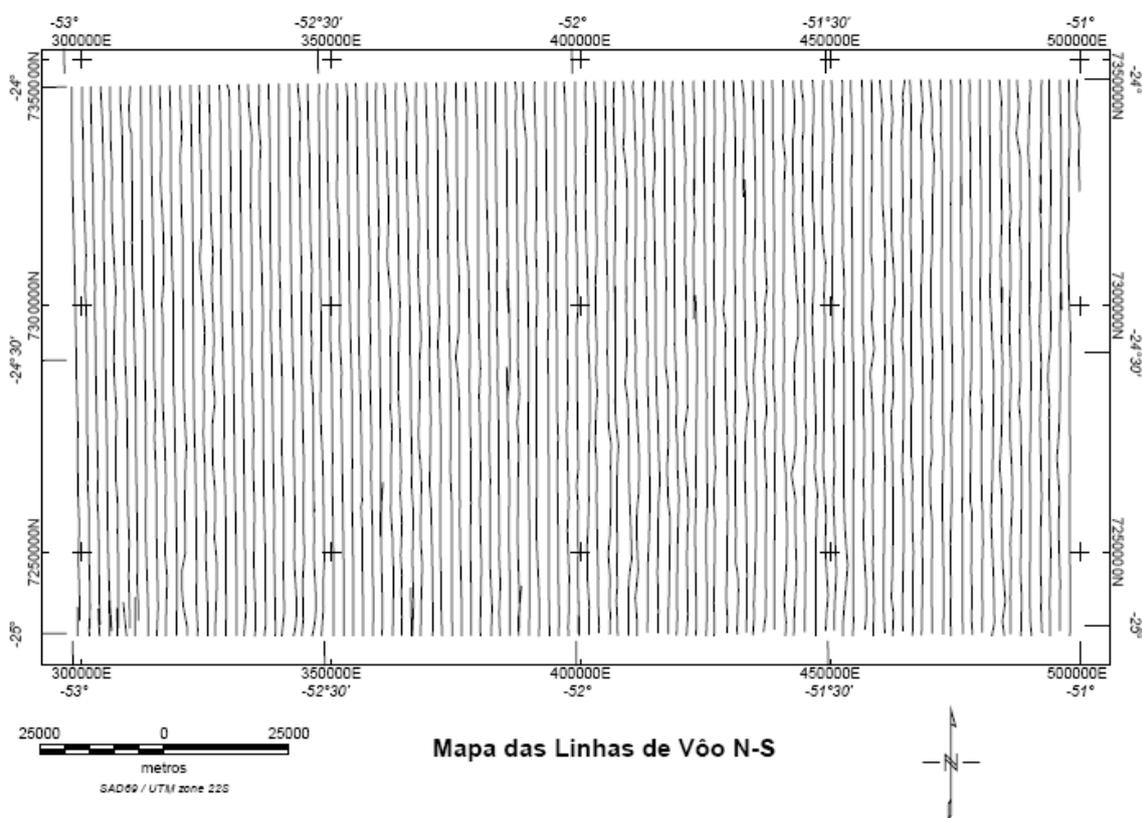


Figura 26 - Mapa das linhas de vôo N-S.

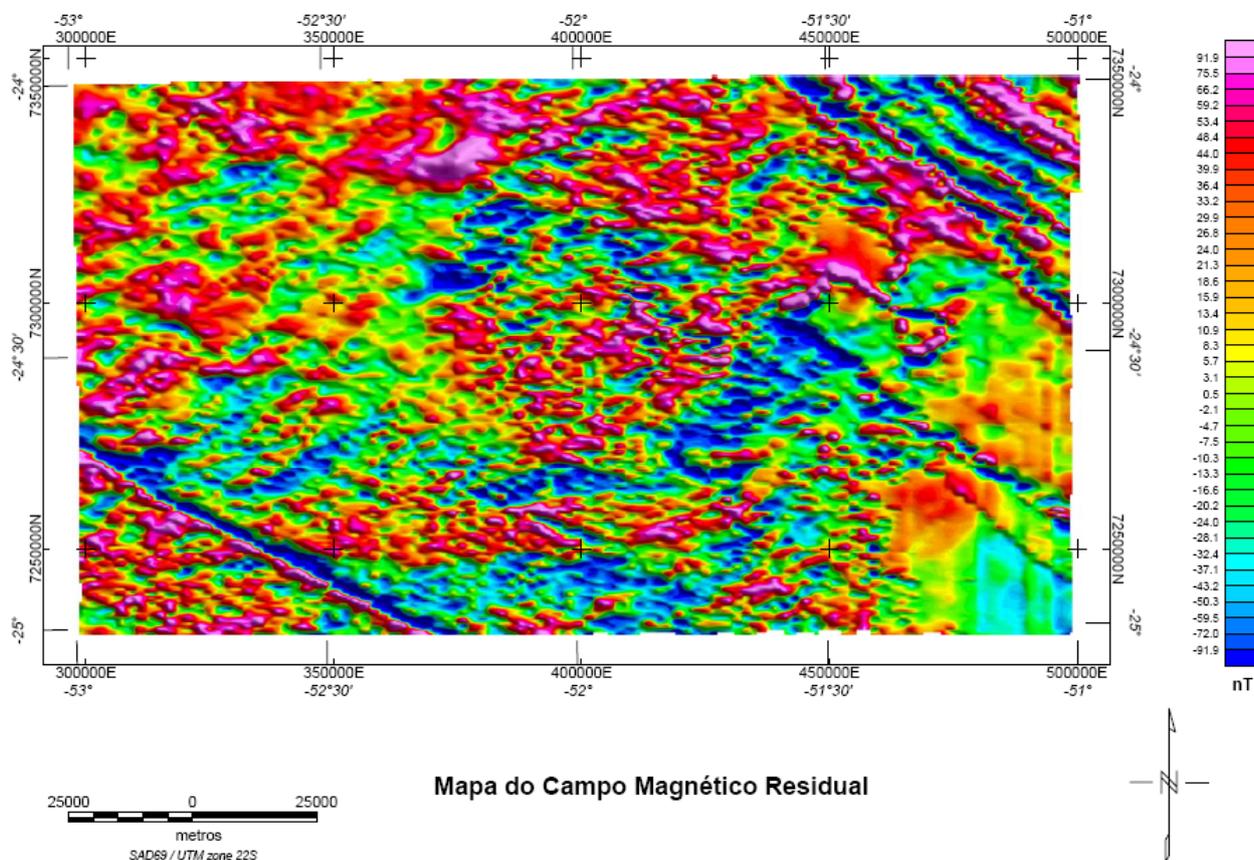


Figura 27 - Mapa do campo magnético residual.

5.2.1.2 MICRONIVELAMENTO

O termo micronivelamento se refere à remoção de quaisquer erros residuais que persistam após as práticas normais de nivelamento. Tais erros residuais são representados usualmente como artefatos de altas frequências paralelos às linhas do levantamento e podem ser amplificados durante o processamento de imagens e na aplicação de técnicas de realce.

Uma série de erros de nivelamento é representada no mapa magnético residual da Figura 27, sobretudo em sua porção sudeste. Para correção destes erros foi aplicada a técnica de micronivelamento implementada por Geosoft (2003), a qual remove qualquer componente de baixa amplitude, considerada ruído.

Por meio deste método de micronivelamento, inicialmente é gerado um canal de correção, que é adicionado ao banco de dados. Esta correção é então subtraída dos dados originais visando a obtenção de uma malha final micronivelada. A técnica de micronivelamento utilizada (Geosoft 2003) é considerada satisfatória, em relação a outros métodos, como o da decorrução também testado, por melhor distinguir os ruídos do sinal geológico nas linhas de vôo, podendo, portanto, removê-los sem causar uma perda acentuada de resolução dos dados.

A técnica de micronivelamento empregada assume que o *grid* gerado é produto da geologia, do campo regional e de erros de nivelamento. Estas anomalias espúrias são separadas após vários estágios de filtragem passa - baixa durante o processo de gridagem, e depois subtraídos do dado original.

O procedimento computacional consiste em, após a leitura da malha existente, aplicar um filtro passa alta direcional perpendicular à direção das linhas de vôo para produzir uma malha de decorrução de ruídos. Esta malha é então extraída da base de dados como um novo canal. Este canal contém a linha nível de desvio dos dados, mas também contém alguns componentes de alta frequência do sinal geológico. Dado este fato, aplica-se um limite de amplitude e um filtro passa - baixa ao canal de ruído para remover este sinal geológico residual, permanecendo apenas a linha nível de desvio, a qual é subtraída dos dados originais para produzir o canal final de saída micronivelado. O mapa magnético residual desta forma micronivelado é apresentado na Figura 28.

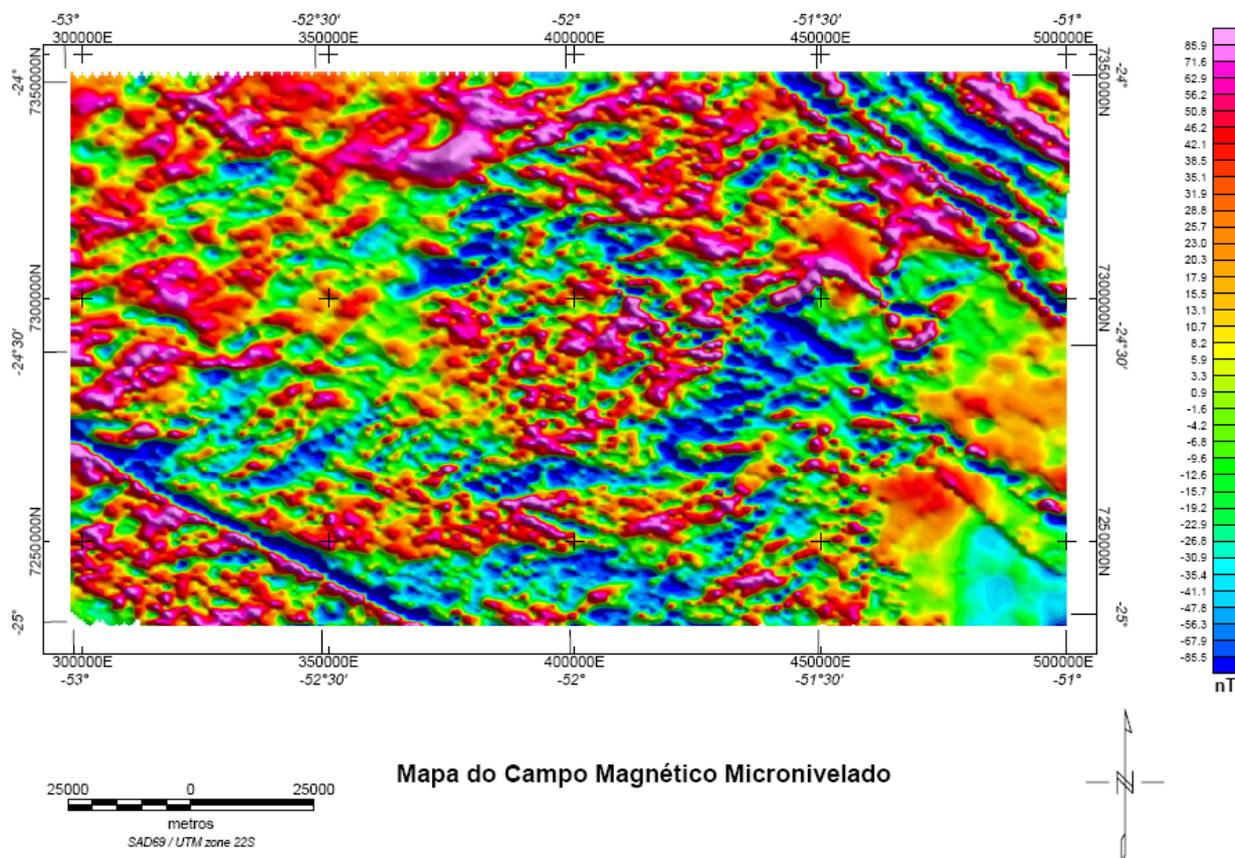


Figura 28 - Mapa do campo magnético residual micronivelado.

5.2.2 PROCESSAMENTO

Neste capítulo serão apresentadas as técnicas de processamento adotadas, bem como os produtos gerados que obtiveram melhores resultados. Os mapas produzidos no pacote Oasis Montaj™ 6.3 foram pseudoiluminados na direção N45E, com a finalidade de melhorar a apresentação e realçar as estruturas de interesse e, em cada um destes mapas, foram interpretados alinhamentos magnéticos de grande e pequena ordem.

5.2.2.1 INTEGRAL VERTICAL (INTG) – SILVA (1996). UNIDADE = nT.M;

É, essencialmente, um filtro de realce das fontes profundas.

5.2.2.2 GRADIENTE VERTICAL (dT/DZ) – EVJEN (1936). UNIDADE = nT/M;

A primeira derivada vertical ou gradiente vertical é fisicamente equivalente a medição simultânea do campo magnético em dois pontos dispostos verticalmente e separados por uma distância qualquer. O resultado é obtido pela diferença das medidas nos

mencionados pontos, dividido pela separação entre eles. Portanto, tal filtro realça as altas frequências, em detrimento das baixas, eliminando os efeitos regionais, de longos comprimentos de onda, derivados de fontes profundas.

5.2.2.3 GRADIENTES HORIZONTAIS (DT/DX; DT/DY) – CORDELL & GRAUCH (1985).

UNIDADE = NT/M;

Estes filtros possuem funções semelhantes ao anterior, sendo, entretanto, aplicados nas direções horizontais x e y.

5.2.2.4 CONTINUAÇÕES ASCENDENTES

Como sabido, o procedimento de continuação ascendente simula a aquisição dos dados do campo magnético em níveis superiores ao original (mais afastados das fontes), removendo, ou pelo menos minimizando, os sinais de fontes rasas e ruídos.

A continuação ascendente é considerada um filtro de “limpeza”, por não produzir quase nenhum efeito de borda. Frequentemente é utilizado para remover ou minimizar sinais de fontes rasas e ruídos. Efetivamente, corresponde a uma suavização e é bastante empregado para comparar dados magnéticos tomados a diferentes altitudes.

Gunn (1975) propôs uma representação espectral geral para campos potenciais, cuja expressão é:

$$M_f(u,v,o) = 2\pi \cdot D_1(u,v) \cdot D_2(u,v) \cdot I(u,v) \cdot m_s(u,v,h) \cdot H(u,v,h)$$

onde:

2π é um fator escalar,

D_1 é um fator para a direção da magnetização,

D_2 é um fator para a direção de medida,

m_s é um equivalente ao fator de estrato (incorpora a forma dos corpos fonte de anomalias),

I é um fator de distinção entre campos magnéticos e gravimétricos e,

$H = e^{-h(u^2 + v^2)^{1/2}}$ é um fator da profundidade.

O importante nesta equação é que, no domínio da frequência, a intensidade magnética é definida por simples multiplicações dos fatores relacionados à profundidade das fontes, formato dos corpos, direção da magnetização e latitude magnética. Por

exemplo, a multiplicação do espectro de um campo por um fator $H = e^{-h(u^2 + v^2)^{1/2}}$ transforma-o em um espectro de um campo medido a uma distância h acima do plano de observação original. Através da transformada inversa de Fourier, os dados no domínio da frequência retornam ao domínio do espaço, possibilitando visualizar os resultados obtidos.

Inicialmente o mapa magnético residual da área foi submetido a continuações ascendentes, para simular os resultados decorrentes nas alturas de 1000, 2000, 3000, 4000 e 5000 metros. Foram escolhidos como os mais representativos, aqueles mapas derivados das continuações para 2000 e 5000 metros, os quais são exibidos, respectivamente, nas Figuras 29 e 30, onde observa-se a eliminação de grande parte dos sinais de alta frequência espacial do mapa residual original micronivelado da Figura 28 (500 m de altura), realçando as fontes anômalas profundas (maiores comprimentos de onda).

Importante resposta obtida para os mapas continuados foi a presença de uma feição anômala circular, no centro da área, que pode ser relacionada a ocorrência de rochas com diferenças composicionais dentro dos basaltos da Formação Serra Geral.

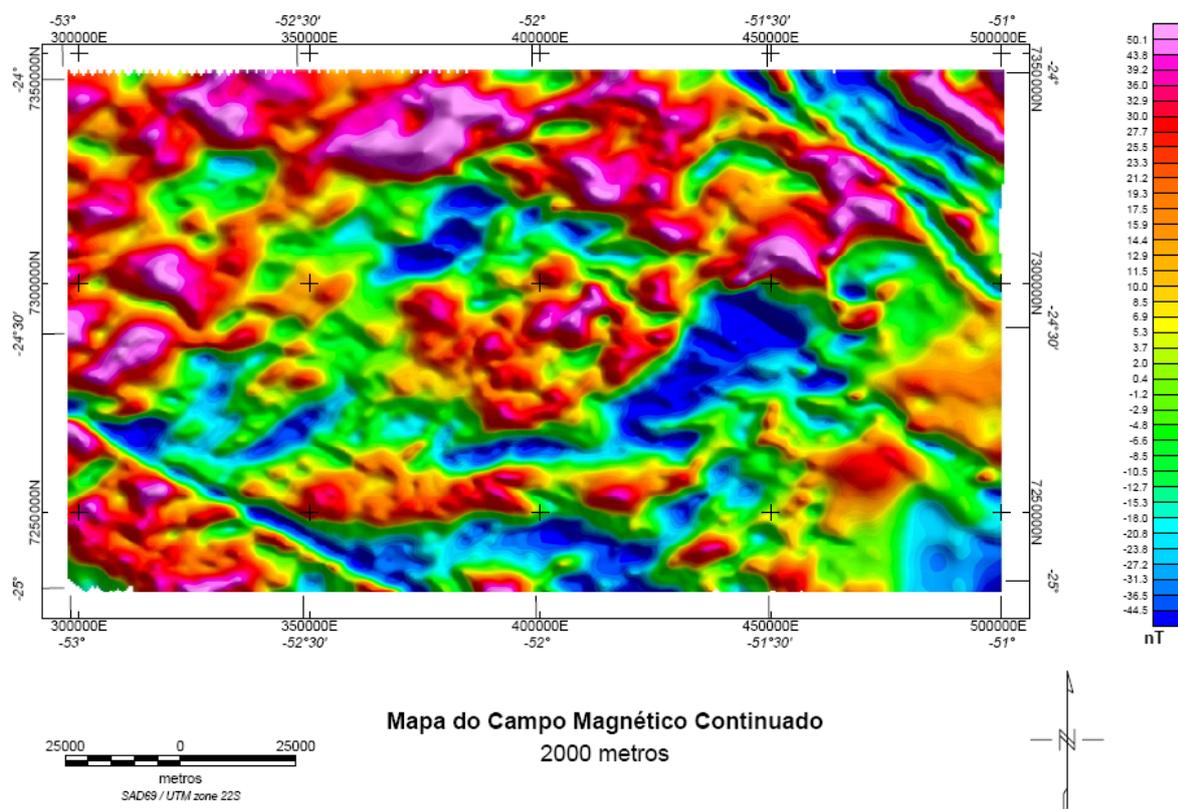


Figura 29 - Mapa magnético residual continuado para 2000 metros.

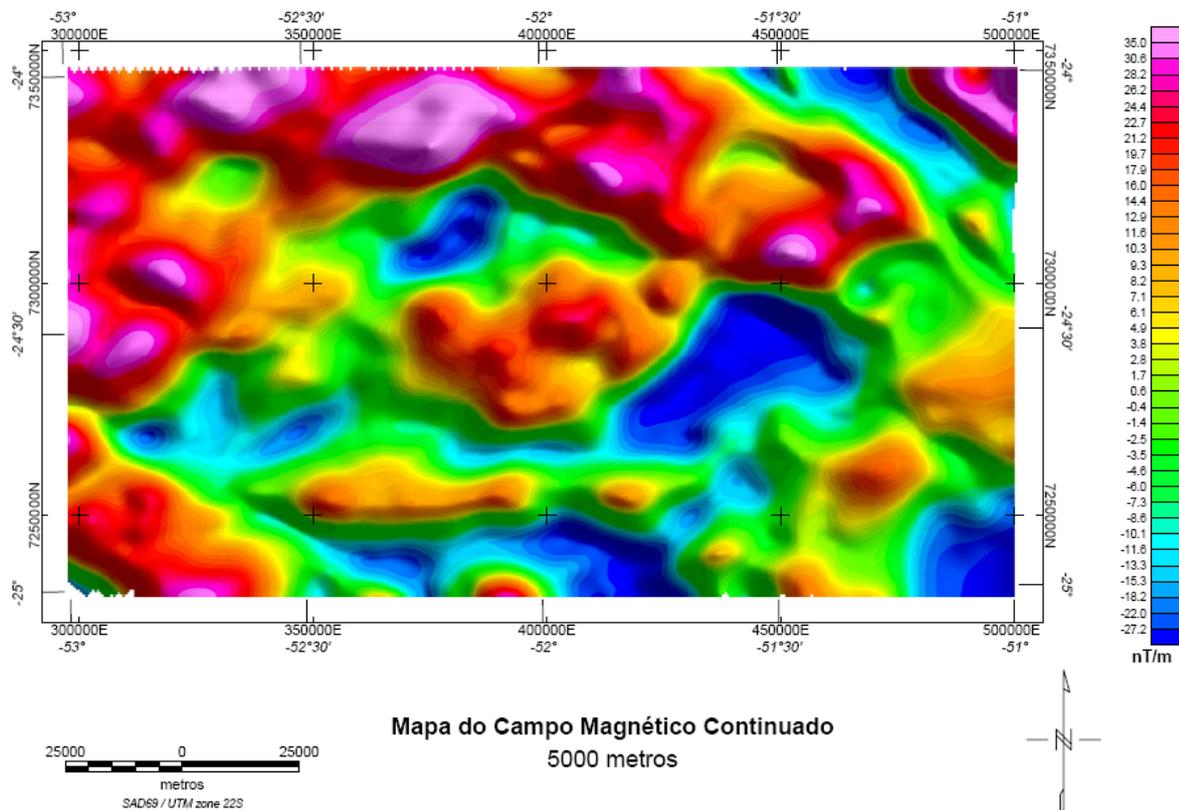


Figura 30 - Mapa magnético residual continuado para 5000 metros.

5.2.2.5 GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL (THDR) – CORDELL & GRAUCH (1985).

O cálculo das derivadas horizontais do campo magnético permite uma análise da geometria da superfície da malha regular, indicando mudanças abruptas no declive do campo magnético, que podem ser ocasionadas por um salto no valor médio ou pela presença de um pico nos dados. São baseados nos resultados da declividade (1ª derivada) ou na taxa da mudança do gradiente (2ª derivada). Permitem, através da malha resultante, identificar mudanças abruptas no campo magnético, obtendo-se bons resultados na cartografia geológica.

O gradiente horizontal total de ordem zero é o vetor resultante das combinações das primeiras derivadas horizontais nas direções x e y, dado pela equação abaixo:

$$\text{THDR}(x,y) = [(dT/dx)^2 + (dT/dy)^2]^{1/2} \text{ Unidade} = \text{nT/m};$$

onde: dT/dx e dT/dy correspondem às derivadas horizontais da anomalia T do campo magnético.

Este processo envolve uma transformação de fase e um realce das altas frequências. A transformação de fase ressalta os picos das anomalias, localizados aproximadamente sobre as bordas de corpos espessos, e o realce da alta frequência proporciona um estreitamento destes picos para aumentar a definição das bordas dos corpos (Milligan e Gunn 1997).

O gradiente horizontal total, em geral, é utilizado para realçar os limites dos corpos e estruturas causadoras das principais anomalias, além de funcionar como um método de separação regional-residual. O detalhamento das estruturas é maior quando se aplicam derivadas de ordens maiores, porém são realçados também os ruídos.

Devido a área de estudo apresentar uma trama complexa de falhas e fraturas, nesta análise foi utilizada apenas uma ordem de derivação, correspondendo às primeiras derivadas horizontais do campo magnético. O procedimento do gradiente horizontal total de ordem zero foi aplicado aos dados continuados e a partir da malha da integral vertical. Os mapas subseqüentes mostram os resultados destas filtragens e a interpretação dos lineamentos.

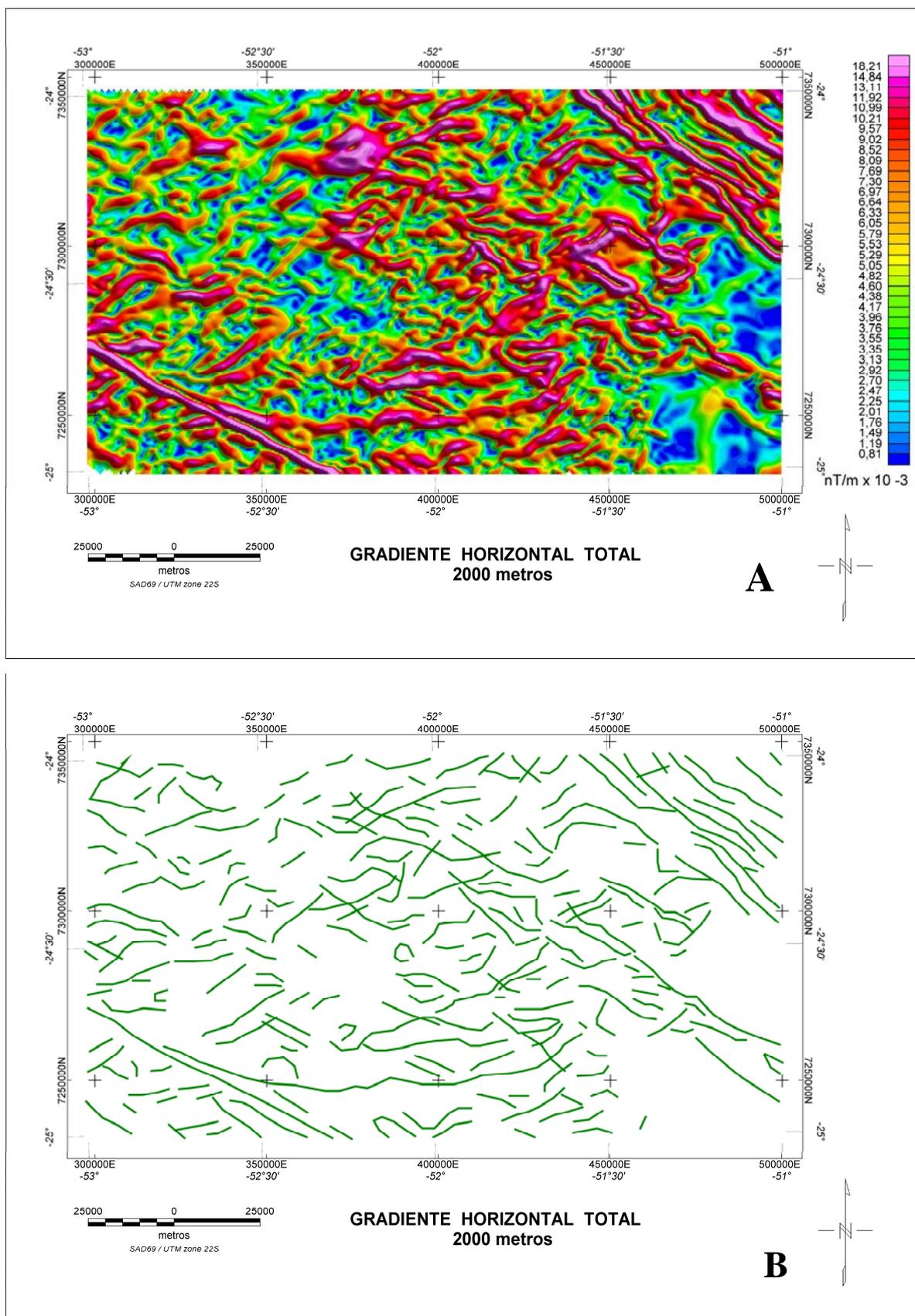


Figura 31 - Mapa do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

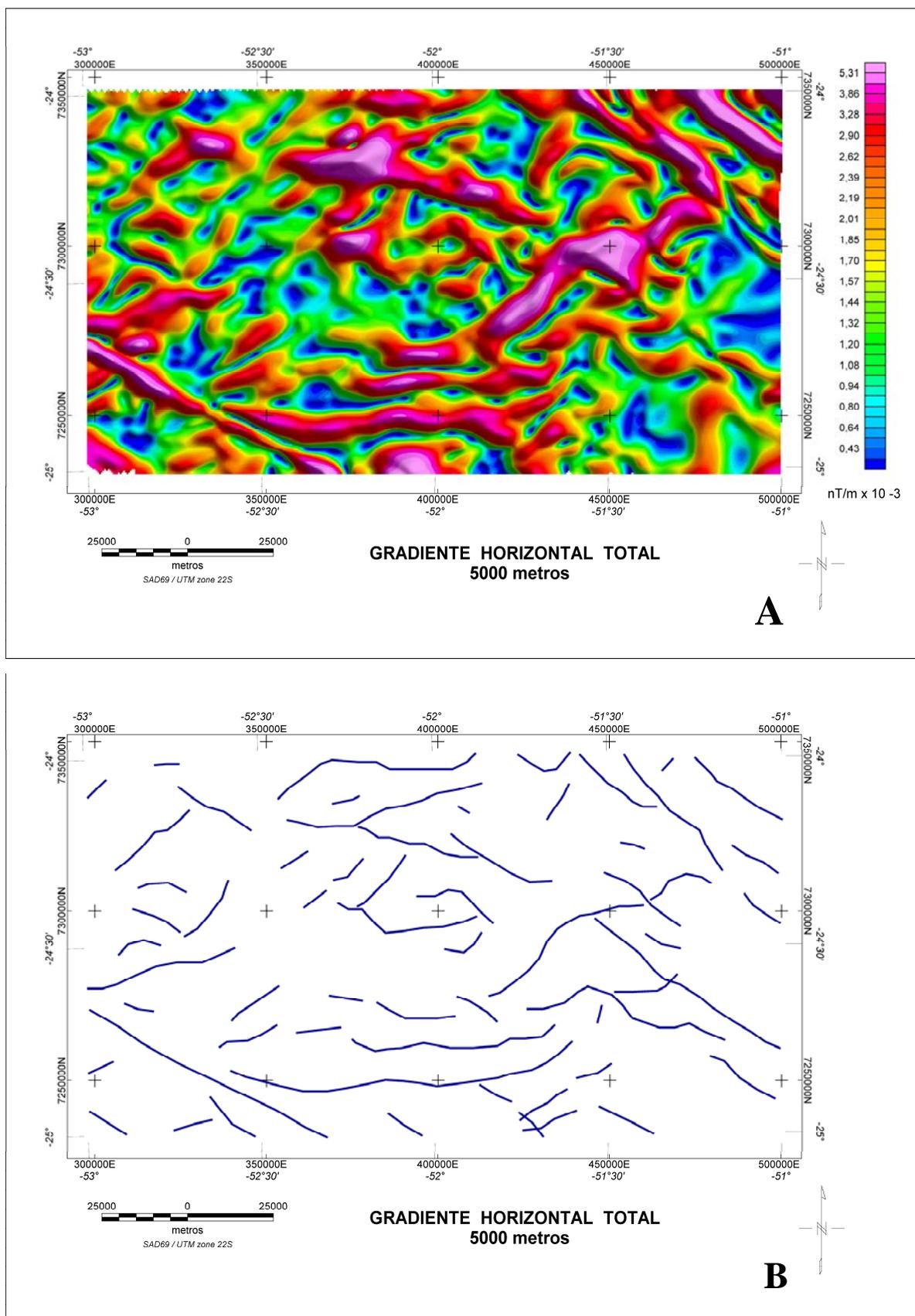


Figura 32 - Mapa do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

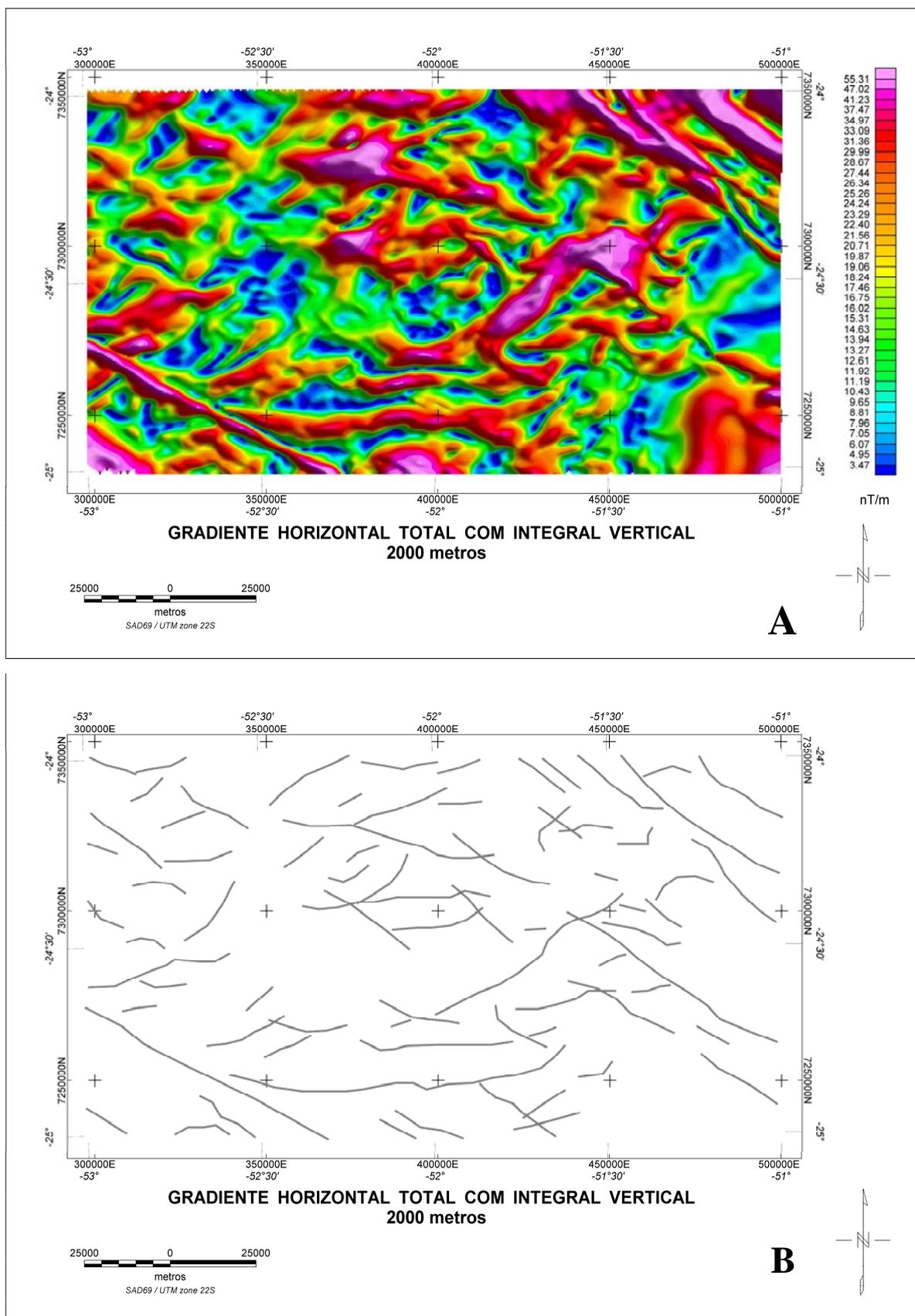


Figura 33 - Mapa do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

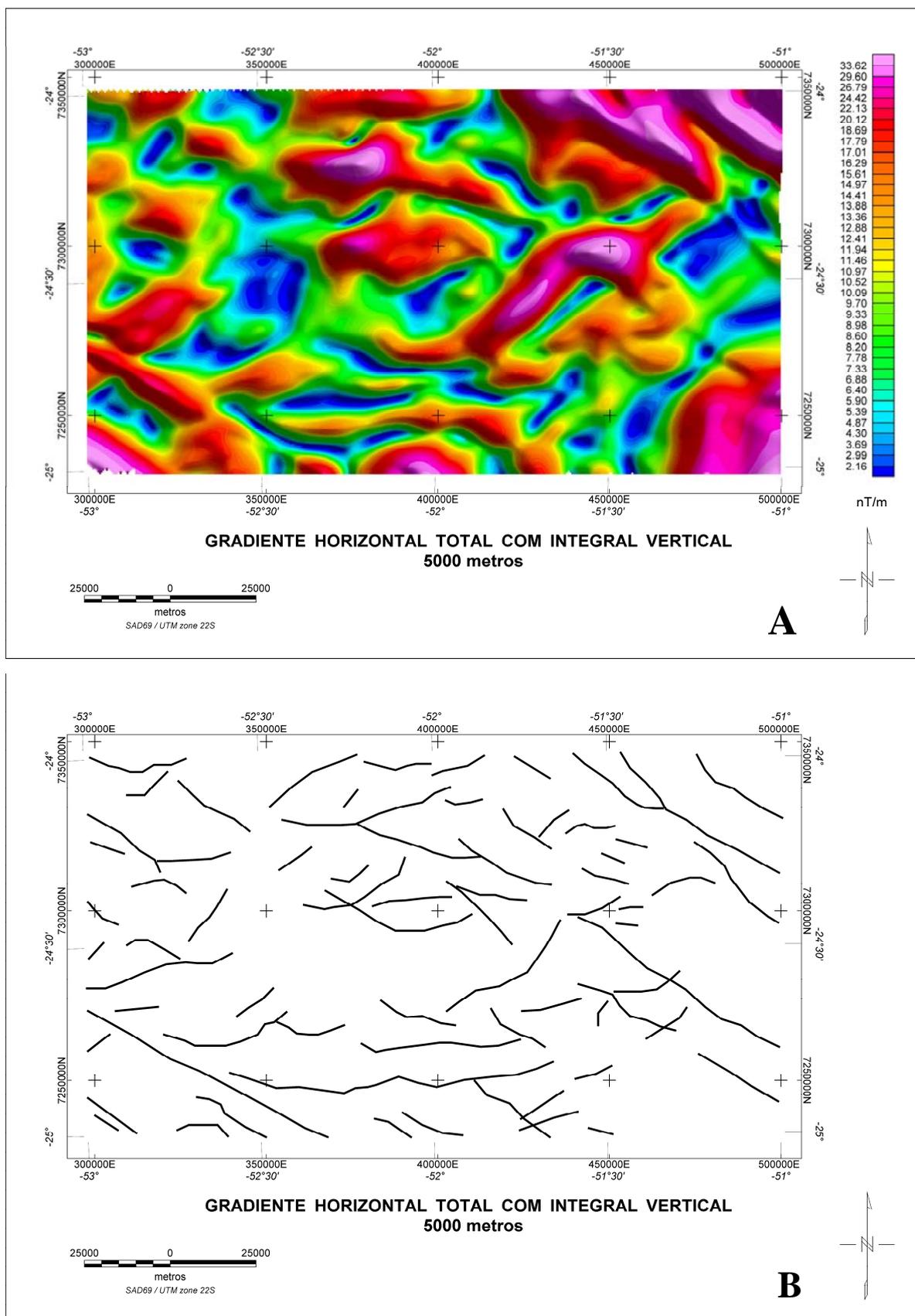


Figura 34 - Mapa do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

5.2.2.6 AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO (AS) - NABIGHIAN (1972); ROEST ET AL. (1992).

A amplitude do sinal analítico (ASA) é uma função relacionada às derivadas nas direções x , y e z do campo magnético. Embora não seja um parâmetro medido, a ASA é extensivamente aplicada na interpretação magnética, pois foi até recentemente considerada como completamente independente da direção de magnetização e da direção do campo da Terra (e.g. Gunn 1997). Isto significa que todos os corpos com a mesma geometria e contraste de susceptibilidade têm a mesma amplitude do sinal analítico em qualquer latitude da Terra. De acordo com Gunn (1997), os picos da ASA são simétricos e ocorrem diretamente sobre as bordas de corpos largos e diretamente sobre o centro de corpos estreitos. Ainda, as meias-larguras destes picos podem ser relacionadas com a profundidade de contatos magnéticos verticais. Entretanto, Li (2006) mostrou que a ASA só é completamente independente da magnetização quando se assume que o campo magnético é medido ao longo do eixo x e a uma altura constante z de uma fonte 2D alinhada paralelamente ao eixo y . Li (2006), além de elencar alguns exemplos da literatura (MacLeod *et al.* 1993; Qin 1994; Blakley 1995; Milligan e Gunn 1997) relacionados à equívocos baseados na premissa anterior, indica os procedimentos corretos de interpretação da ASA e mostra sua aplicação a partir de fontes 3D no delineamento das bordas de corpos magnéticos. Tal autor conclui que a ASA, ao contrário dos conceitos correntes até então, depende da profundidade, extensão e mergulho da fonte, da direção de magnetização e da direção do campo magnético da Terra.

O sinal analítico corresponde a uma ampla gama de métodos automáticos ou semi-automáticos, baseado no uso de gradientes (derivadas) verticais e horizontais de anomalias de campos potenciais. A noção de sinal analítico foi definida inicialmente como um “campo complexo derivado de um campo potencial” (Nabighian, 1972). Este método não requer um conhecimento prévio da direção de magnetização e não necessita do processamento de redução ao pólo (Hsu *et al.*, 1998).

Para estruturas 2-D, o método assume que a fonte apresenta magnetização uniforme e pode ser representada por seções transversais de polígonos, onde estas estruturas podem também ser consideradas como a superposição de um número finito de contatos magnéticos.

A função amplitude do sinal analítico, ou seu valor absoluto, pode ser expressa por um vetor adição de duas componentes reais nas direções x e y e uma componente imaginária na direção z, conforme a equação:

$$ASA(x,y) = [(dT/dx)^2 + (dT/dy)^2 + (dT/dz)^2]^{1/2}, \text{ Unidade} = \text{nT/m};$$

onde T é a anomalia do campo potencial, dT/dz é a primeira derivada vertical, dT/dx e dT/dy são as primeiras derivadas horizontais nas direções x e y, respectivamente.

A amplitude do sinal analítico é uma função simétrica em formato de sino (*bell shaped*), com seu máximo situado exatamente sobre o topo de cada contato e sua largura relacionada diretamente com a profundidade do corpo. Como isto é verdade para qualquer ordem de derivadas do sinal (Nabighian, 1974), estas propriedades podem ser utilizadas para localizar os contatos magnéticos e suas profundidades. Tais características invariáveis são vantajosas na interpretação magnética, especialmente quando a contribuição da magnetização induzida ou remanescente não pode ser distinguida (Roest *et al.*, 1992; Hsu *et al.*, 1996).

Com o processamento de derivadas da amplitude do sinal analítico, ao invés da amplitude do sinal original, obtém-se uma separação mais eficiente das anomalias causadas por estruturas que estejam muito próximas entre si (Debeglia e Corpel, 1997). As amplitudes de enésima ordem de derivação podem ser expressas igualmente em termos da derivada vertical ou da horizontal.

Salem *et al.* (2002) e Agarwal e Shaw (1996) já haviam demonstrado que a forma da amplitude do sinal analítico sobre fontes dipolares são dependentes da direção de magnetização. Haney *et al.* (2003), do mesmo modo, mostraram para casos 3D em geral, que a amplitude do sinal analítico não é a mesma em todas as direções, como sugerido por Roest *et al.* (1992). Como resultado, a amplitude do sinal analítico 3D não é independente da inclinação e da declinação da magnetização dos corpos nem da intensidade do campo magnético da Terra.

As figuras a seguir mostram os resultados dos processamentos do sinal analítico e da integral vertical com base nas continuações para 2000 e 5000 metros, assim como suas respectivas interpretações.

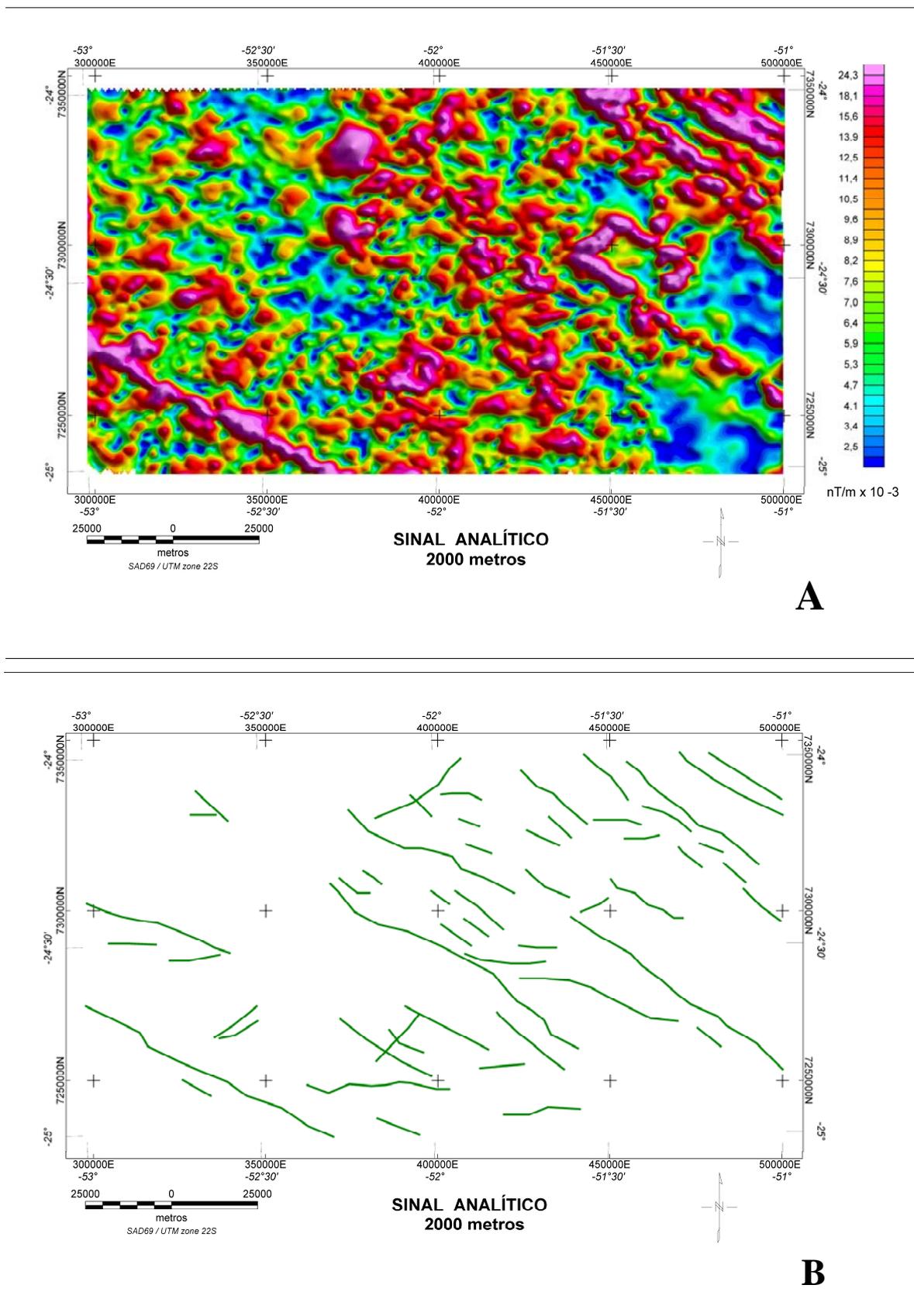


Figura 35 - Mapa do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 2000 m (A) e sua respectiva interpretação (B).

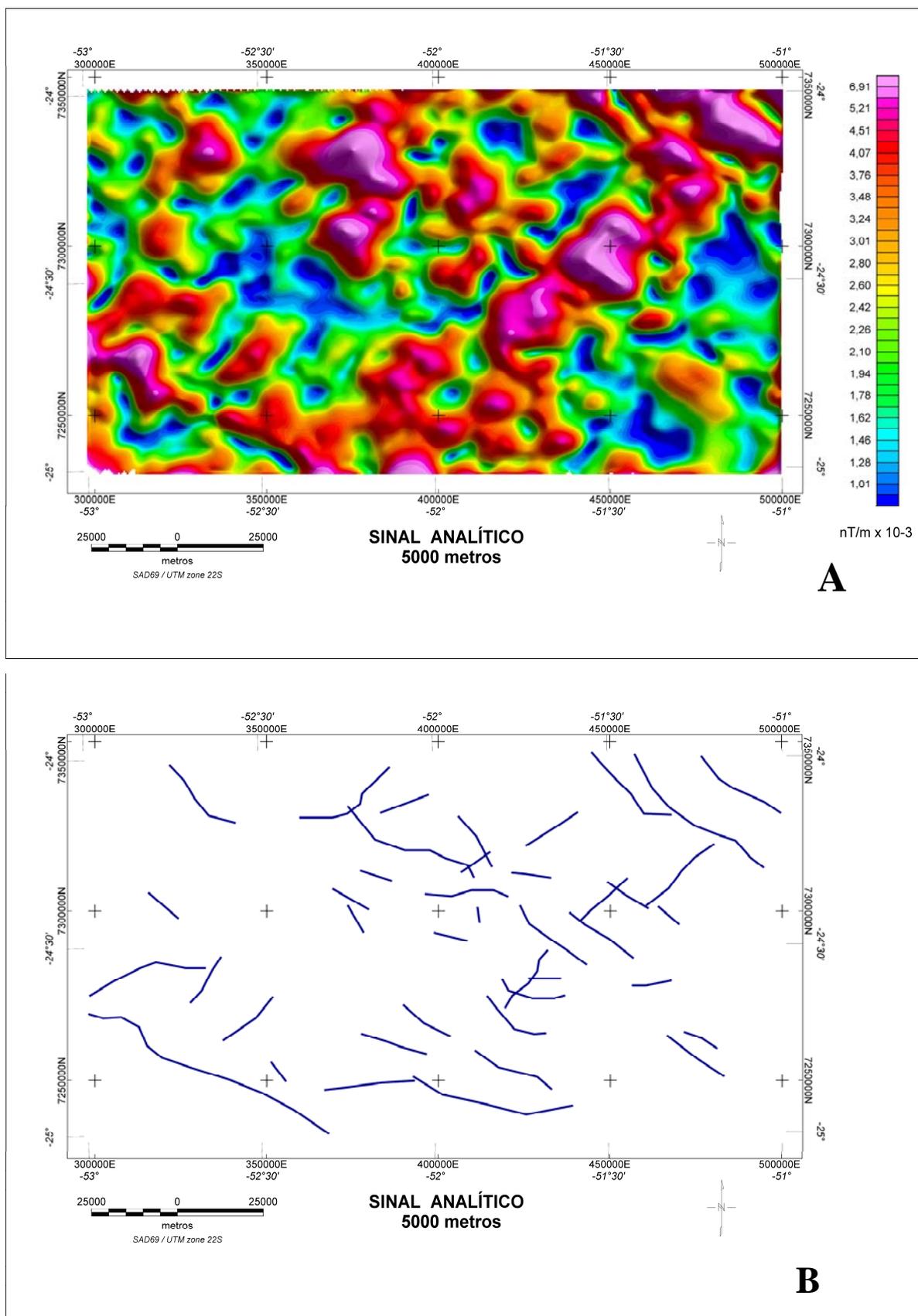


Figura 36 – Mapa do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

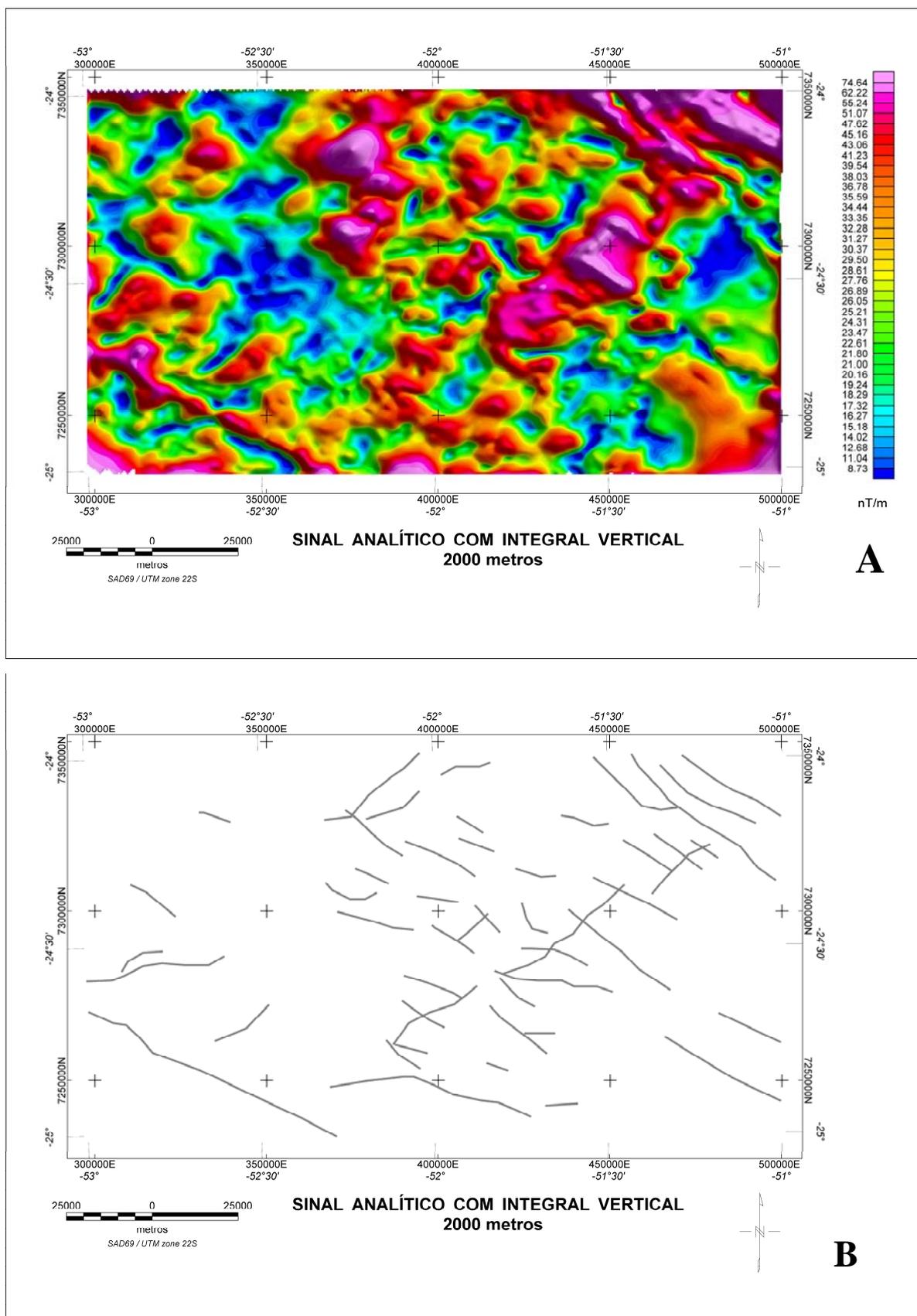


Figura 37 - Mapa do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 m (A) e sua respectiva interpretação (B).

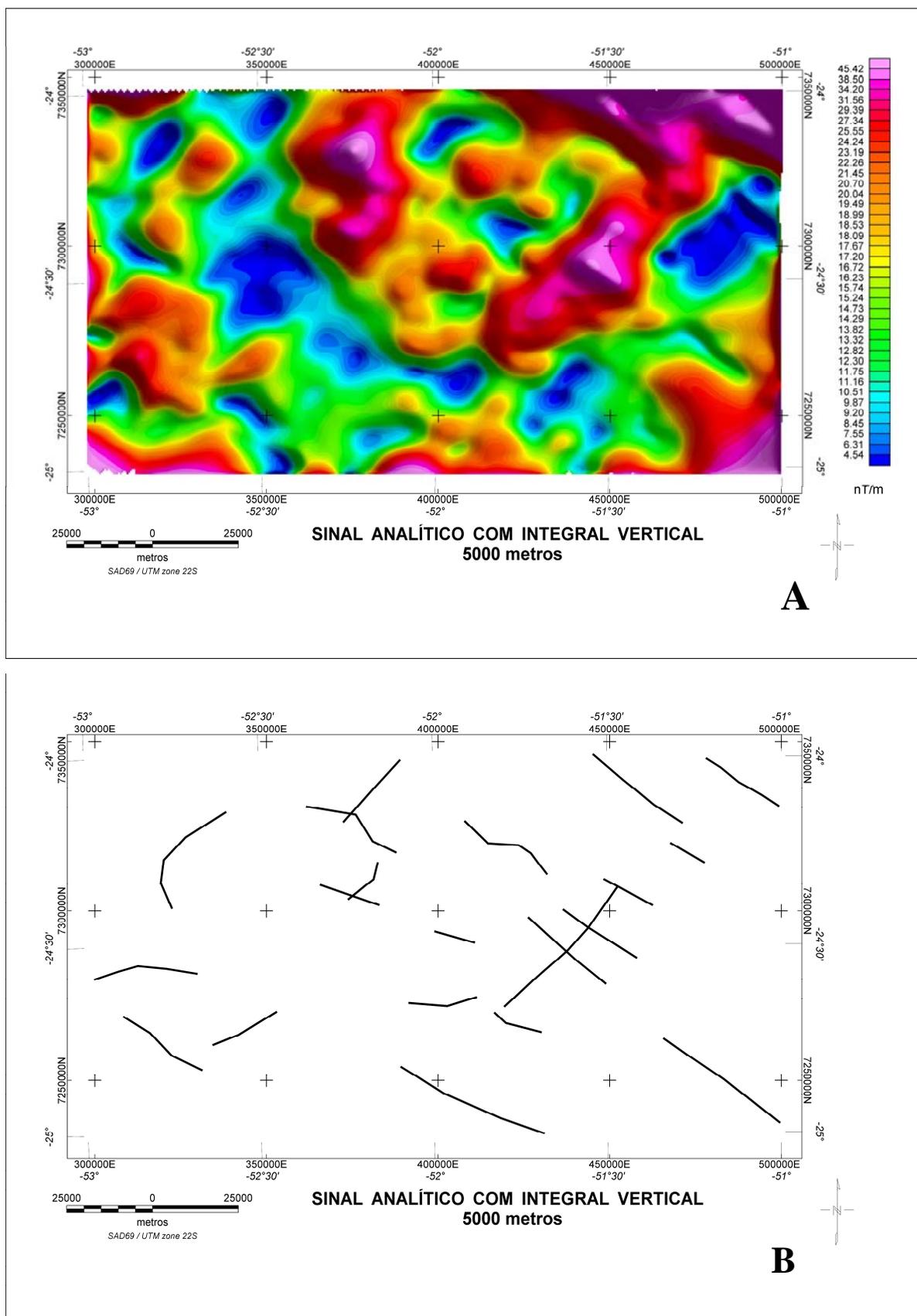


Figura 38 - Mapa do sinal analítico do a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 m (A) e sua respectiva interpretação (B).

5.2.2.7 FASE OU INCLINAÇÃO DO SINAL ANALÍTICO (TDR) – MILLER & SINGH (1994 A,B).

A fase ou inclinação do sinal analítico de ordem zero é definida pelo ângulo formado entre os vetores imaginário e real do sinal analítico de mesma ordem, representando o quociente da primeira derivada vertical pelo gradiente horizontal total, e pode ser expressa por:

$$\text{TDR} = (dT/dz)/[(dT/dx)^2 + (dT/dy)^2]^{1/2} \text{ Unidade} = \text{radiano (rad)};$$

Este filtro pode ser utilizado para detectar fontes de anomalias de campos potenciais e para prover informações sobre suas extensões horizontais. O ângulo de inclinação pode ser facilmente determinado a partir das duas derivadas horizontais e da derivada vertical. Ele tem a propriedade de ser positivo acima da fonte, cruzar o zero próximo das bordas e ser negativo fora da fonte. O ângulo de inclinação tem um atributo adicional, único dentre os vários métodos detectores de bordas, de responder igualmente bem para fontes rasas e profundas. Por esta razão é capaz de perceber a presença de fontes sutis profundas as quais são freqüentemente mascaradas pela profusão das respostas das fontes mais rasas, sobretudo em áreas fortemente magnetizadas.

Thurston e Smith (1997) demonstraram, a partir da teoria proposta por Nabighian (1984), que a fase do sinal analítico permite realizar estimativas sobre o mergulho e o contraste de susceptibilidade magnética das fontes causadoras de anomalias.

A aplicação da fase do sinal analítico é bastante útil, uma vez que a amplitude deste sinal pode sofrer alterações no interior de uma mesma estrutura, porém sua fase permanece constante. A comparação entre a amplitude e a fase do sinal analítico torna mais segura a interpretação de continuidade das estruturas. A interpretação isolada da fase do sinal analítico encerra muita ambigüidade, uma vez que o processamento não distingue os sinais derivados das estruturas geológicas dos ruídos, resultando em uma série de artefatos espúrios dispersos no contexto das anomalias reais.

Os mapas da fase do sinal analítico para as continuações a 2000 e 5000 metros são exibidos, respectivamente, nas figuras a seguir, bem como as interpretações dos respectivos lineamentos.

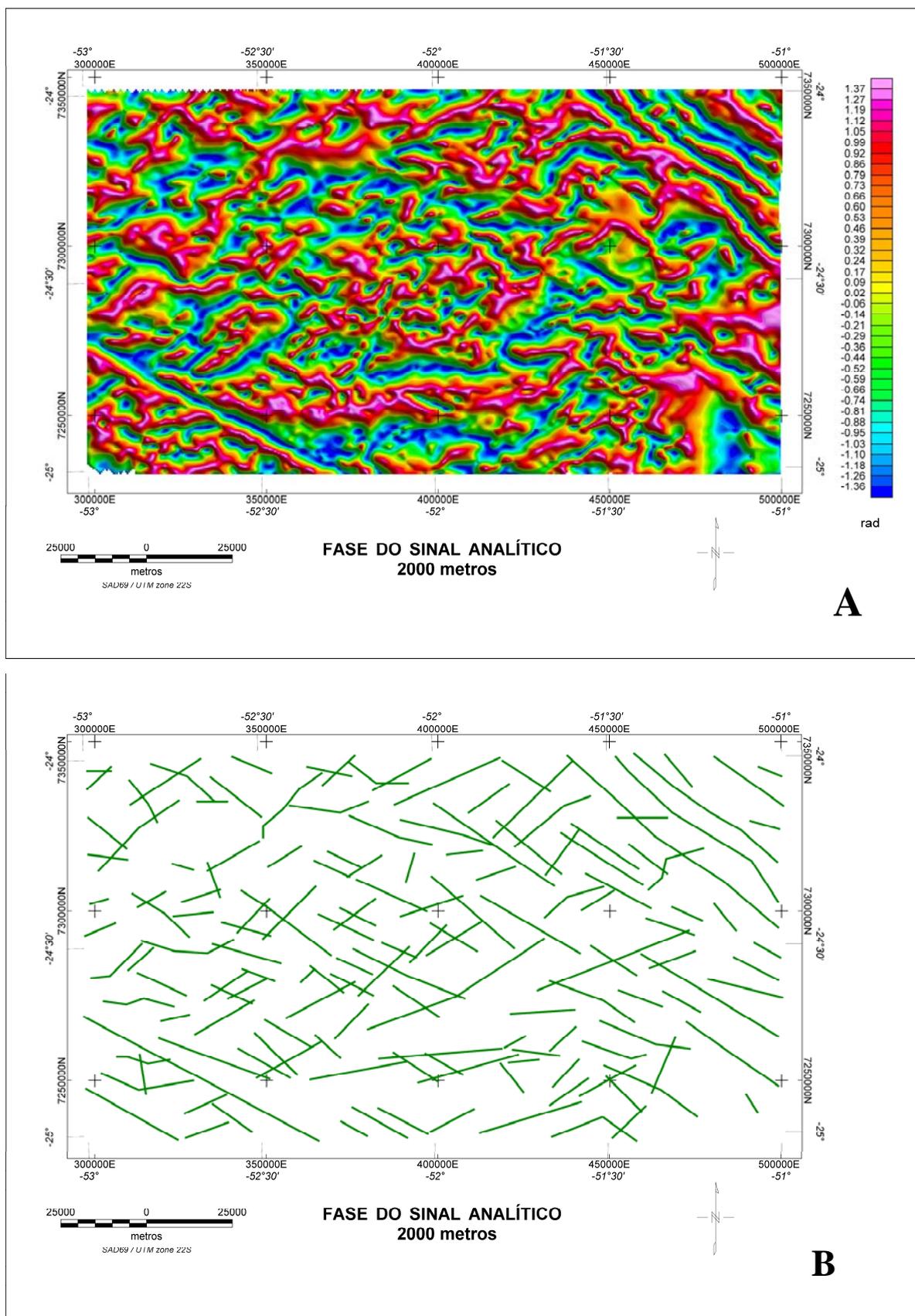


Figura 39 - Mapa da fase do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

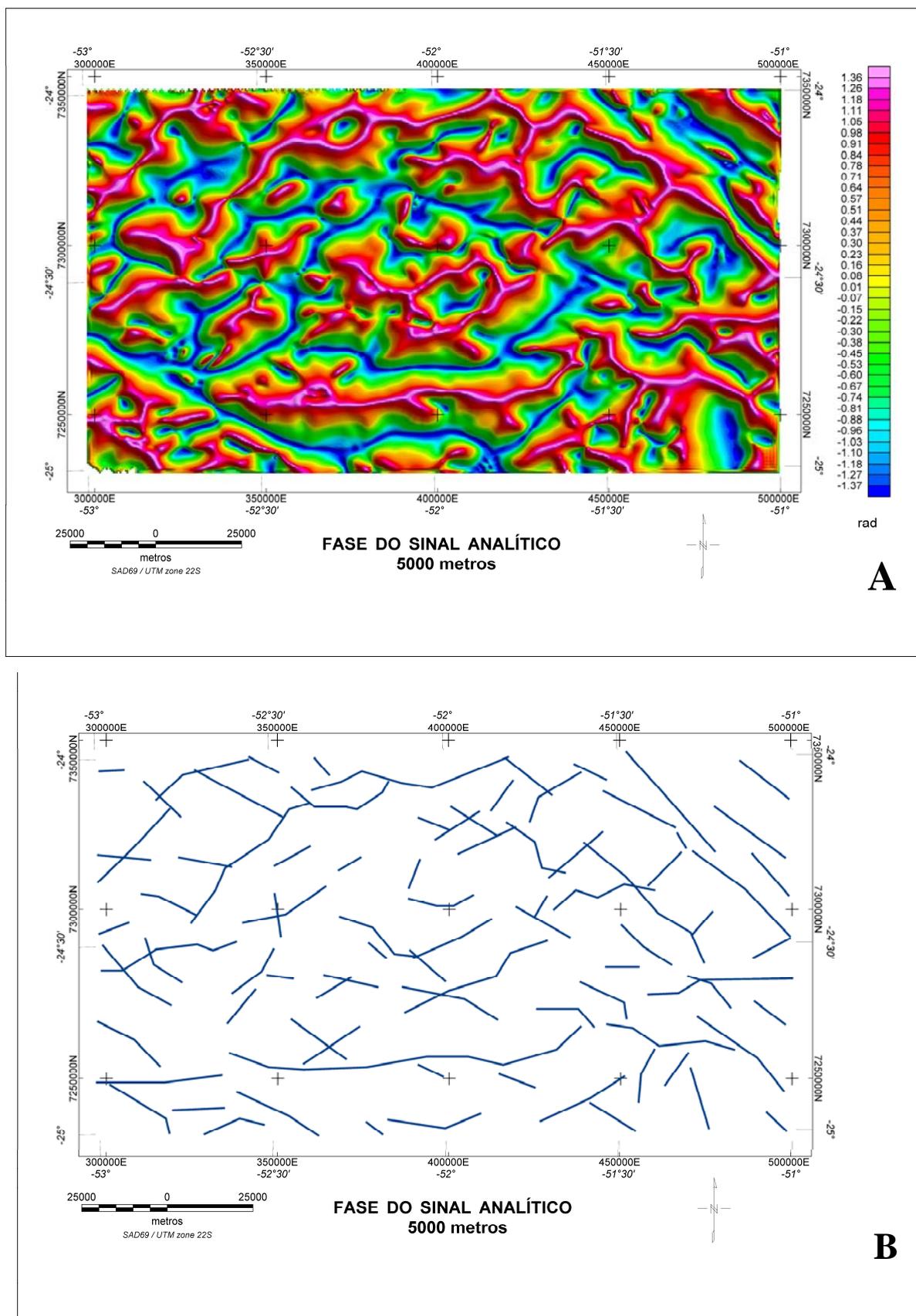


Figura 40 - Mapa da fase do sinal analítico do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

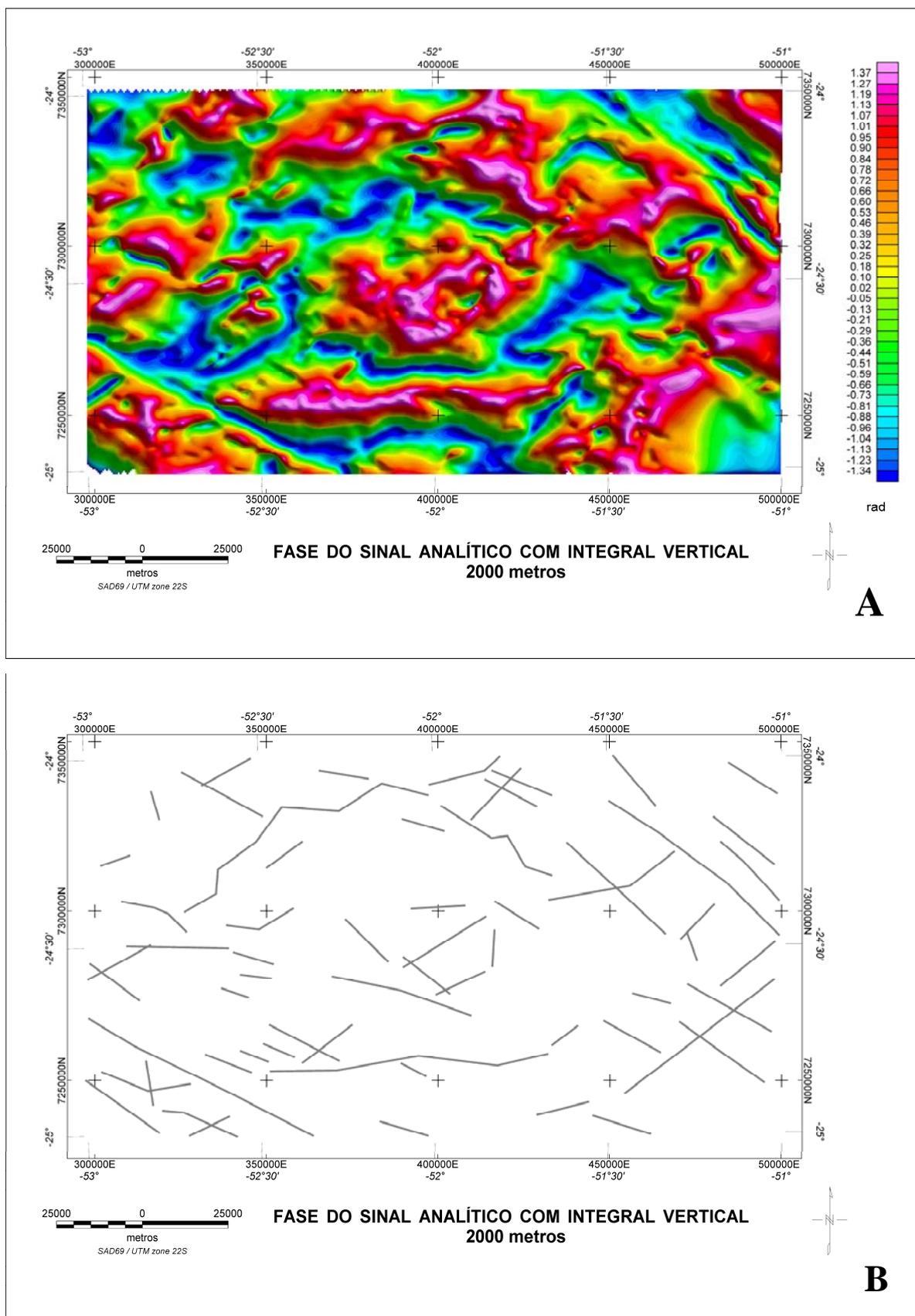


Figura 41 - Mapa da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

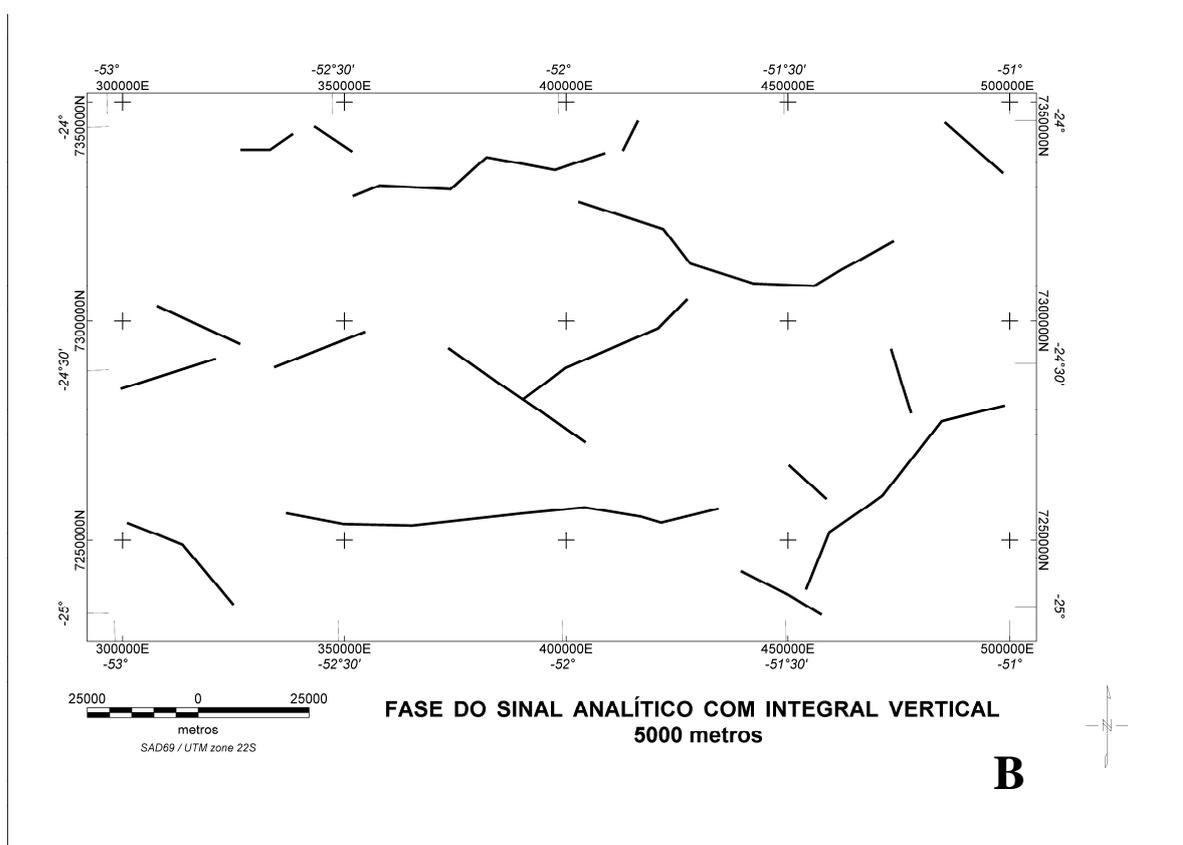
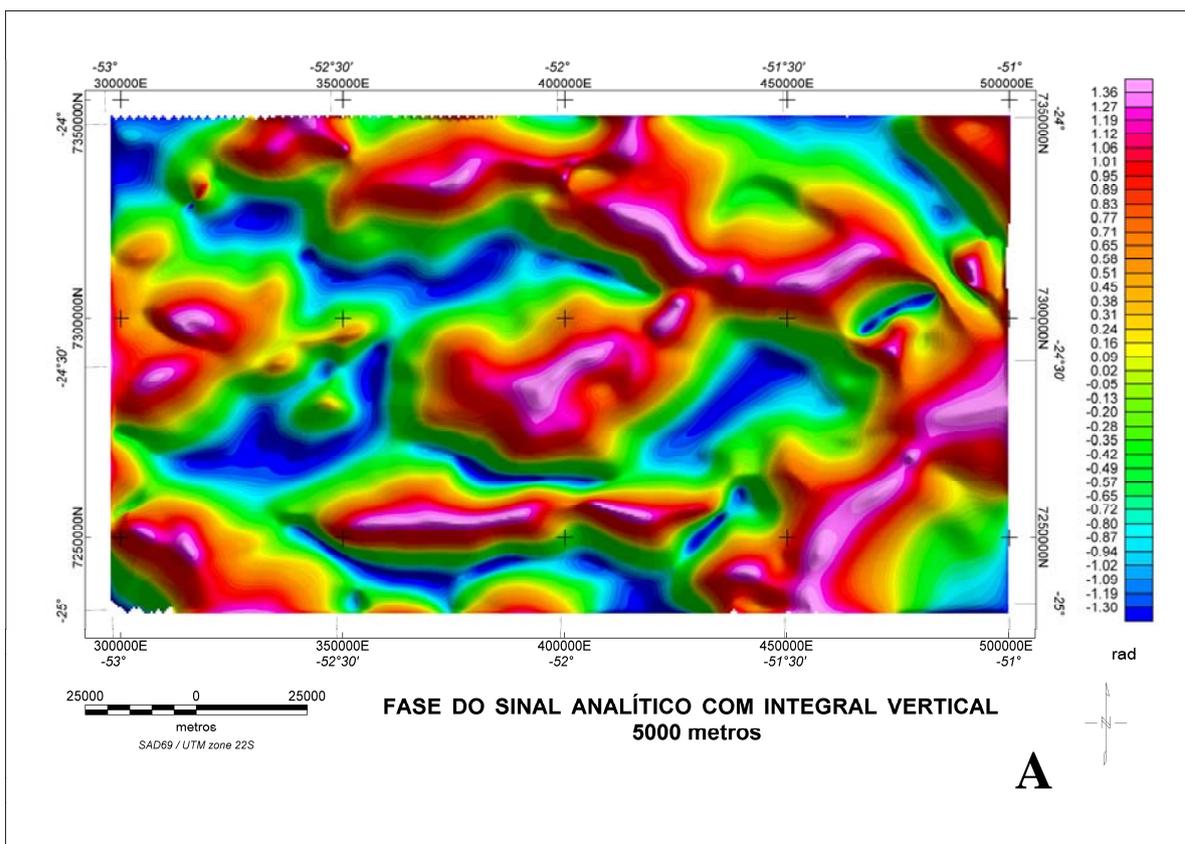


Figura 42 - Mapa da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

5.2.2.8 GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL DA FASE DO SINAL ANALÍTICO (THDR_TDR) – VERDUZCO ET AL. (2004).

A aplicação do gradiente horizontal total aos dados da fase do sinal analítico é altamente recomendada para mapear estruturas rasas do embasamento e alvos de exploração mineral, realçando feições não claramente identificadas pelos métodos anteriores. Uma das vantagens do método, segundo os autores, é que o gradiente horizontal total da fase do sinal analítico é independente da direção de magnetização, e que os resultados denotam uma melhor resolução da função no centro e sobre os limites dos corpos. Outra vantagem desse processo é ser independente da amplitude das anomalias.

De acordo com Verduzco *et al.* (2004) a combinação da fase do sinal analítico e suas derivadas horizontais, são altamente recomendadas para mapear estruturas rasas do embasamento e alvos de exploração mineral, de acordo com a expressão abaixo:

$$\text{THDR_TDR} = [(\text{dTDR}/\text{dx})^2 + (\text{dTDR}/\text{dy})^2]^{1/2}. \text{ Unidade} = \text{nT/m};$$

Ainda em seu trabalho, Verduzco *et al.* (2004) assinalam que o sinal analítico é invariável para todas as inclinações, o que não ocorre com as derivadas convencionais. Também, a fase do sinal analítico varia marcadamente com a inclinação dentro de uma gama de amplitude entre $\pm \pi$. Para inclinações entre 0° e 90° , o cruzamento no nível de base (zero) é próximo das bordas das estruturas dos modelos. E, por fim, o gradiente horizontal total da fase do sinal analítico é independente da inclinação, similar ao sinal analítico. A diferença entre estas derivadas é que o formato é mais agudo e gera uma definição máxima no centro e sobre os limites dos corpos, os quais preservam feições arqueadas antes de convergirem em um único pico como mostrado no modelo de dique daqueles autores. A seguir são mostrados os mapas correspondentes a este método de realce e as interpretações.

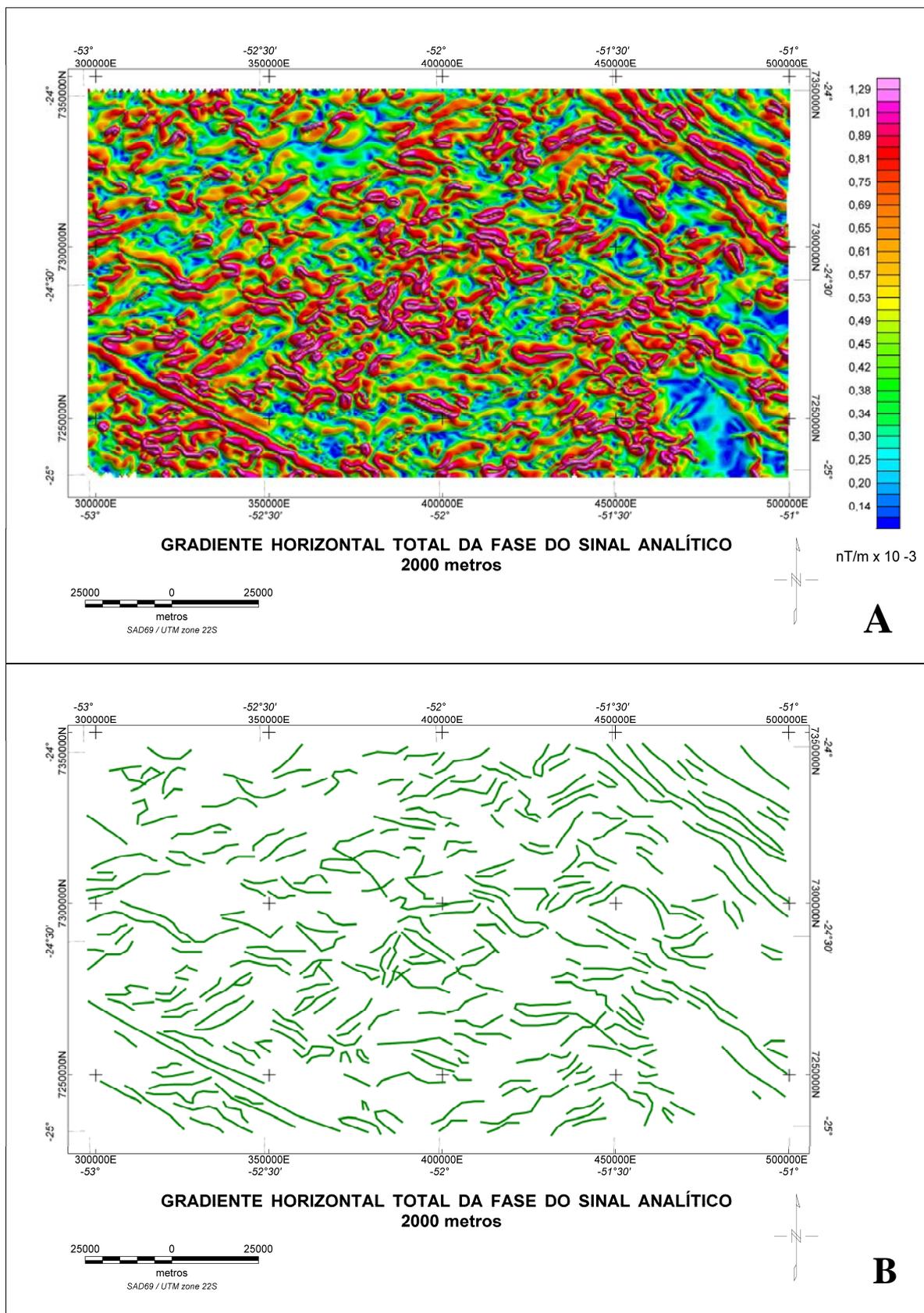


Figura 43 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

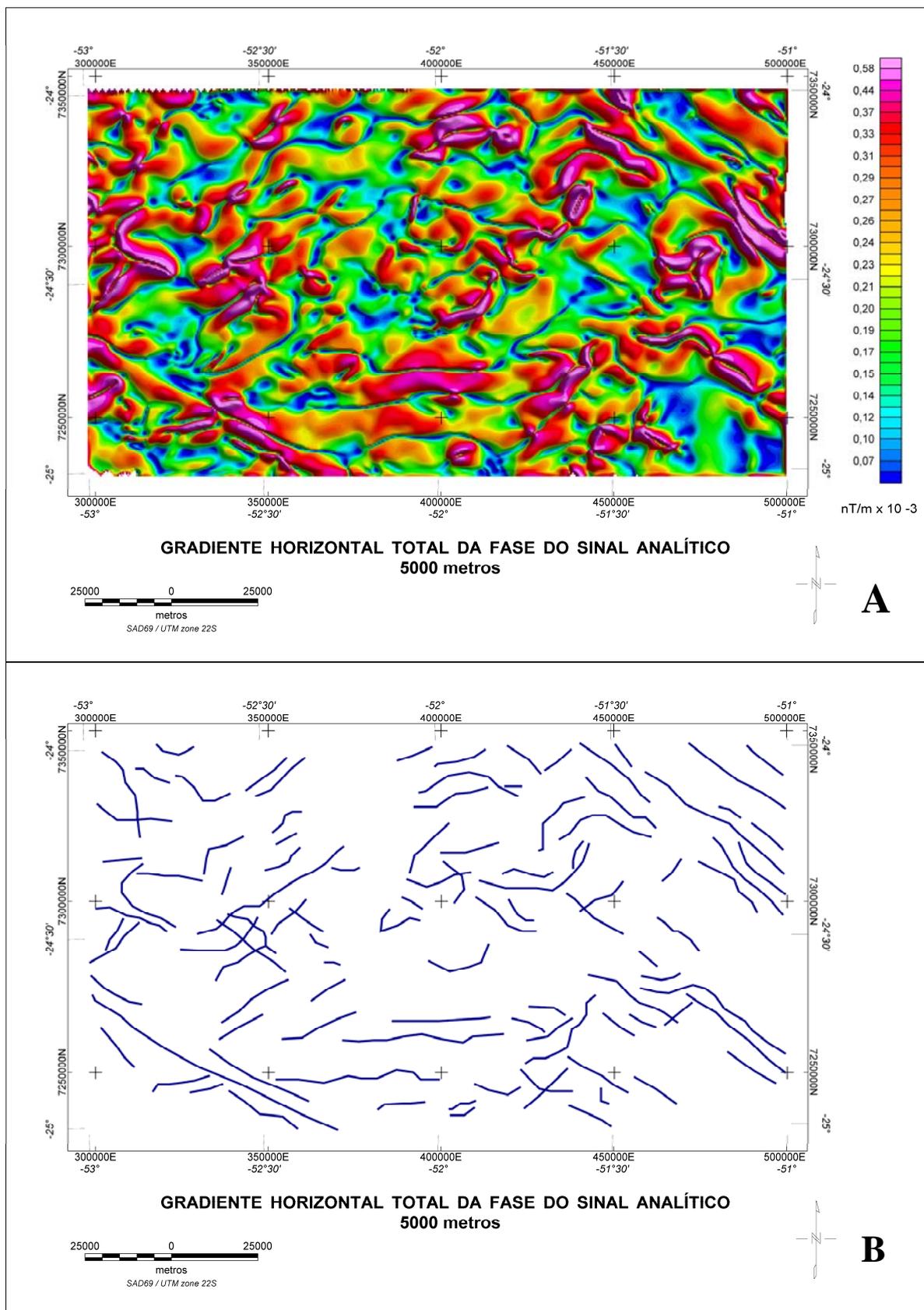


Figura 44 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

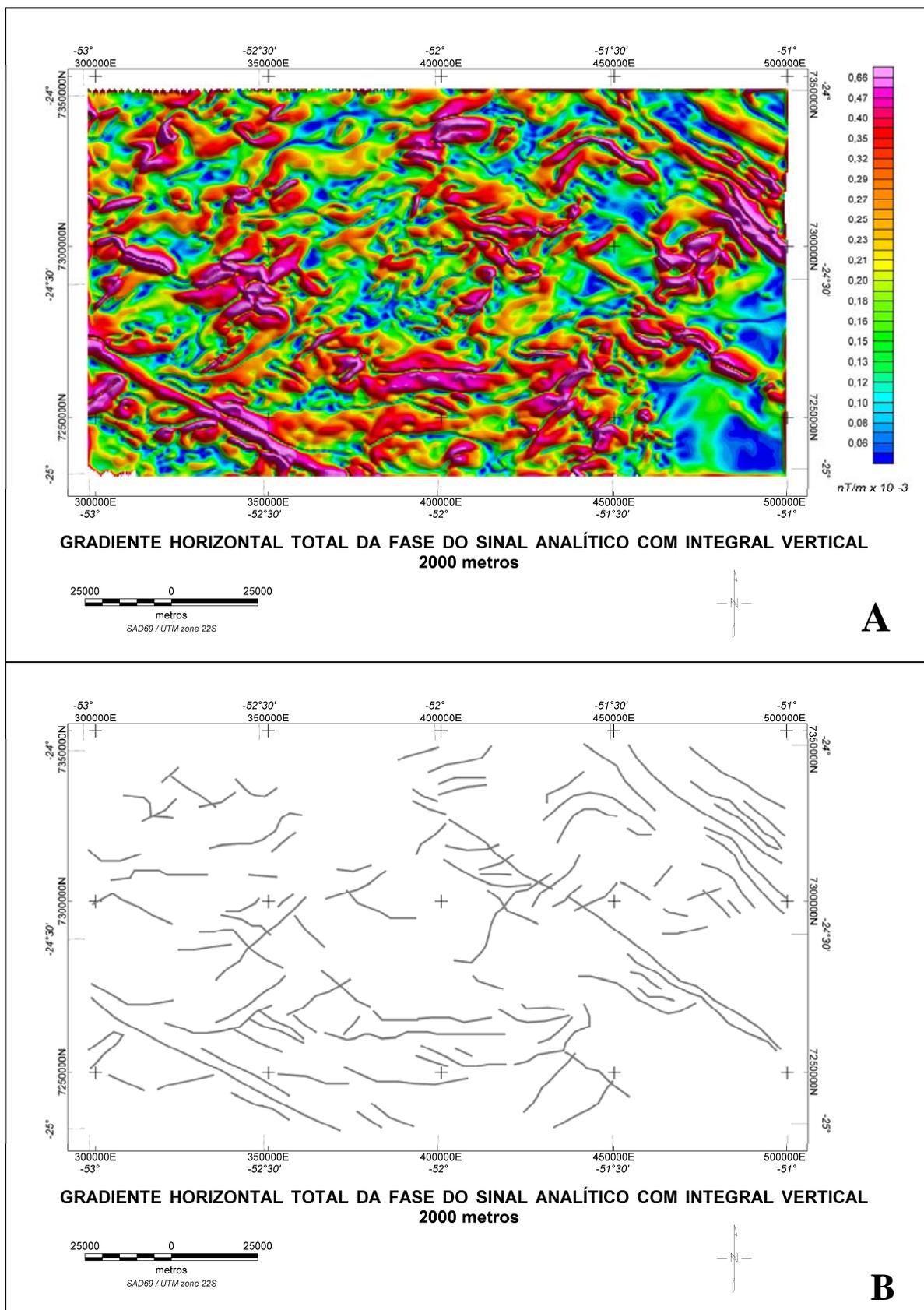


Figura 45 - Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

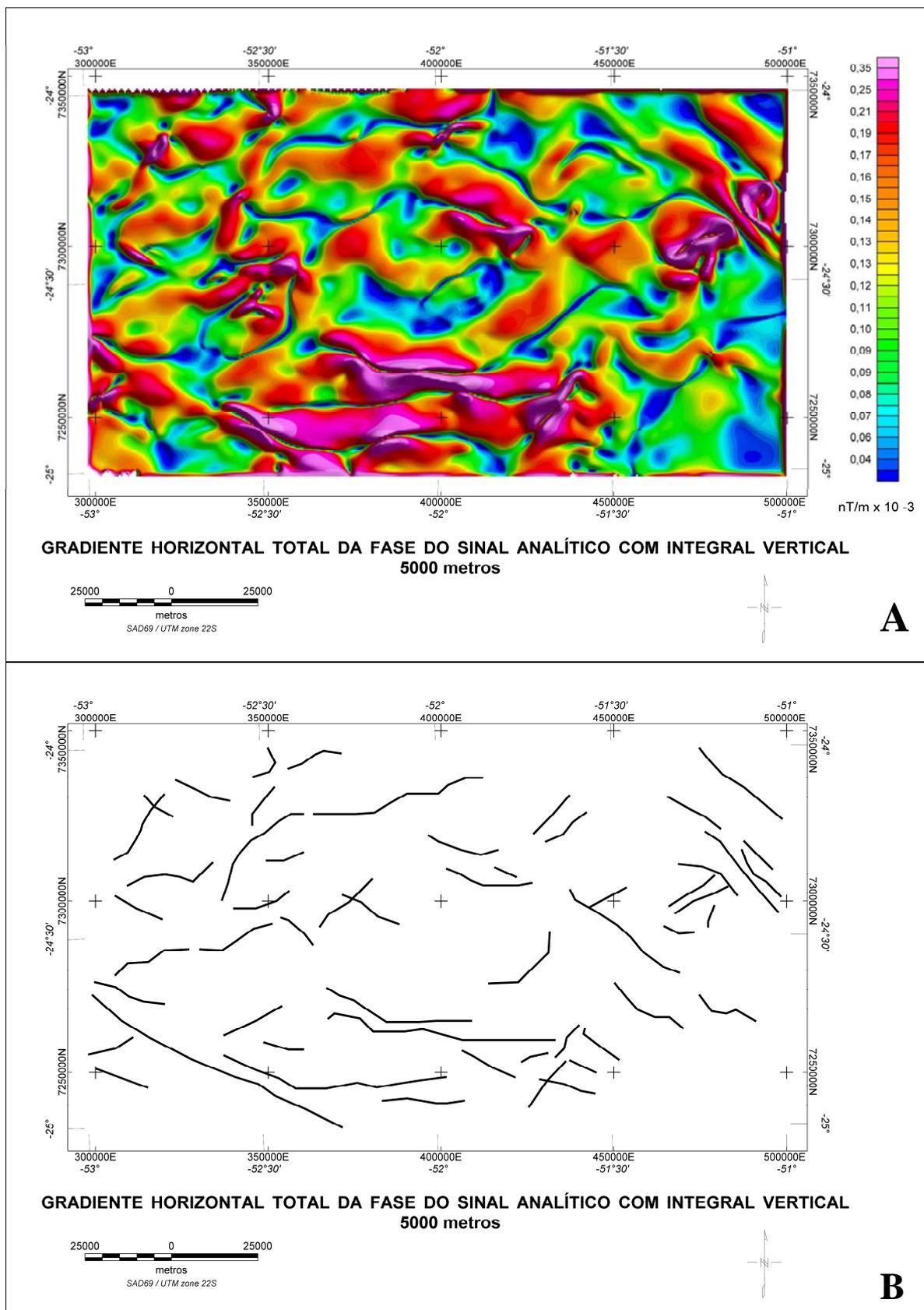


Figura 46 – Mapa do gradiente horizontal total da fase do sinal analítico a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

5.2.2.9 FASE DO SINAL ANALÍTICO DO GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL (TDR_THDR) - FERREIRA & SILVA (2006).

Este método, introduzido aqui experimentalmente, aplica a fase do sinal analítico à malha derivada do gradiente horizontal total, realçando melhor as anomalias e facilitando a interpretação de lineamentos, como pode ser observado nas figuras a seguir, geradas a partir da expressão abaixo:

$$\text{TDR_THDR} = (d\text{THDR}/dz)/[(d\text{THDR}/dx)^2 + (d\text{THDR}/dy)^2]^{1/2}. \text{ Unidade} = \text{radiano};$$

A resposta da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total quando comparada ao seu inverso (gradiente horizontal total da fase do sinal analítico) apresentou resultados mais satisfatórios, o que ajudou na interpretação das estruturas locais e regionais.

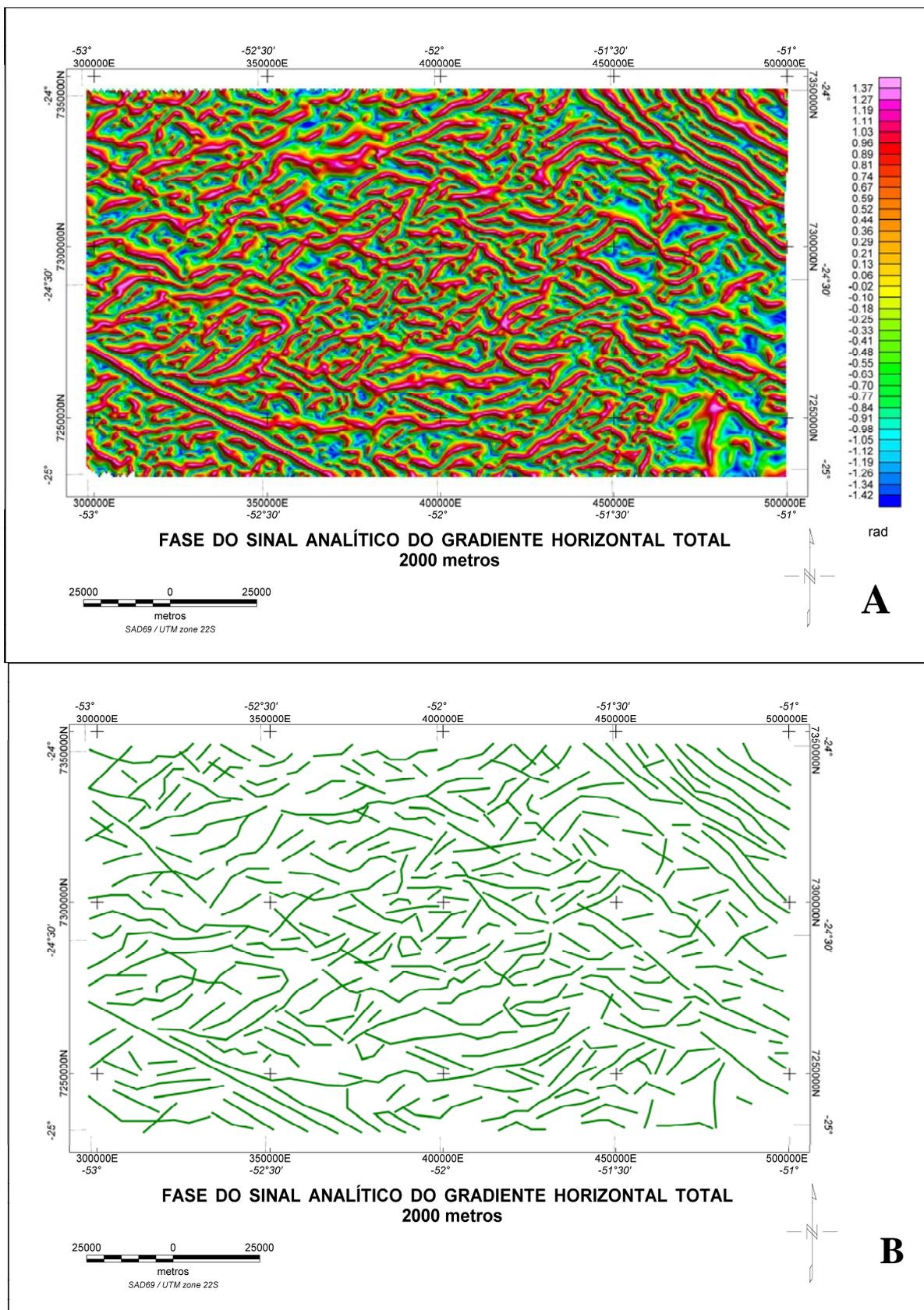


Figura 47 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

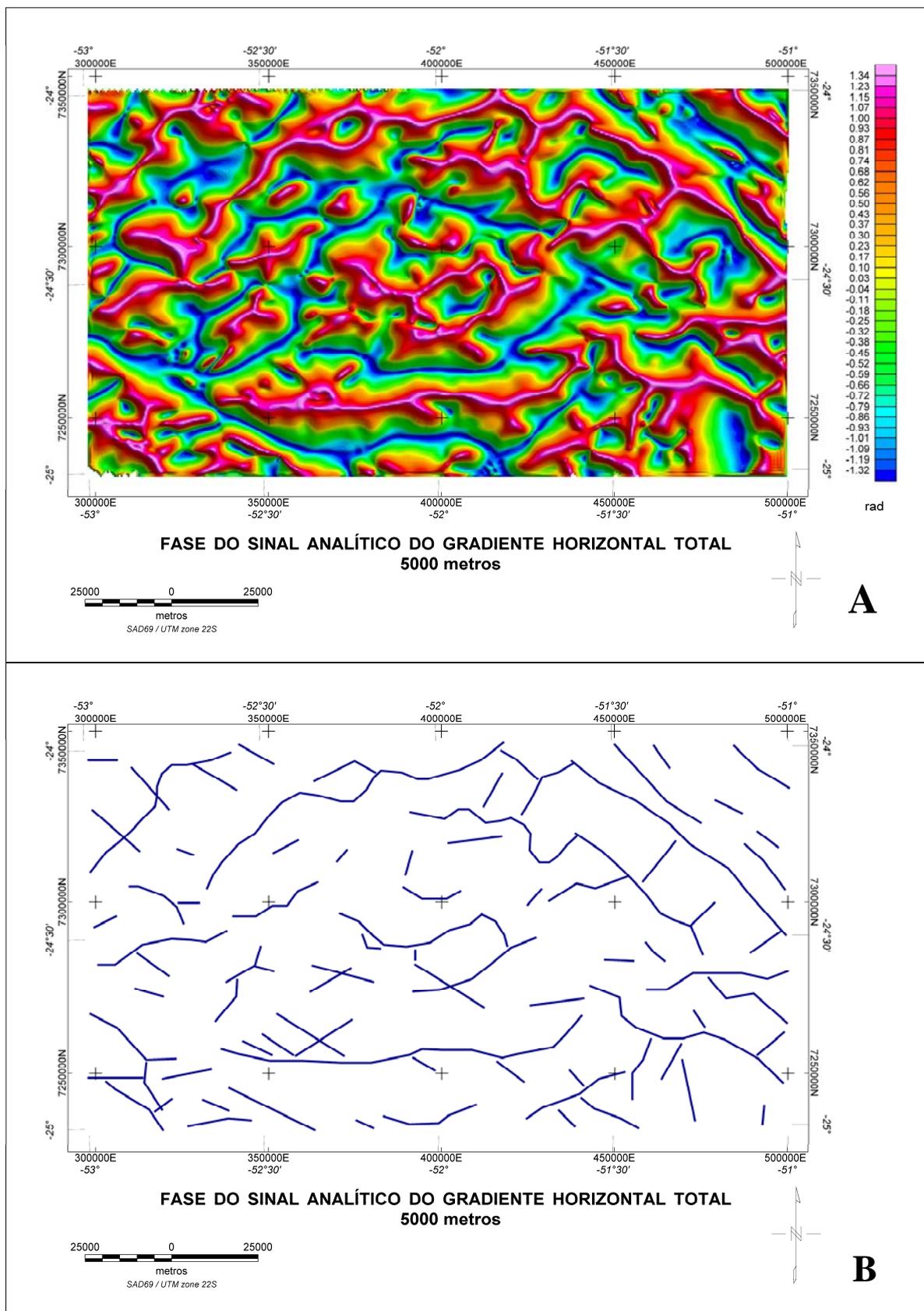


Figura 48 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação.

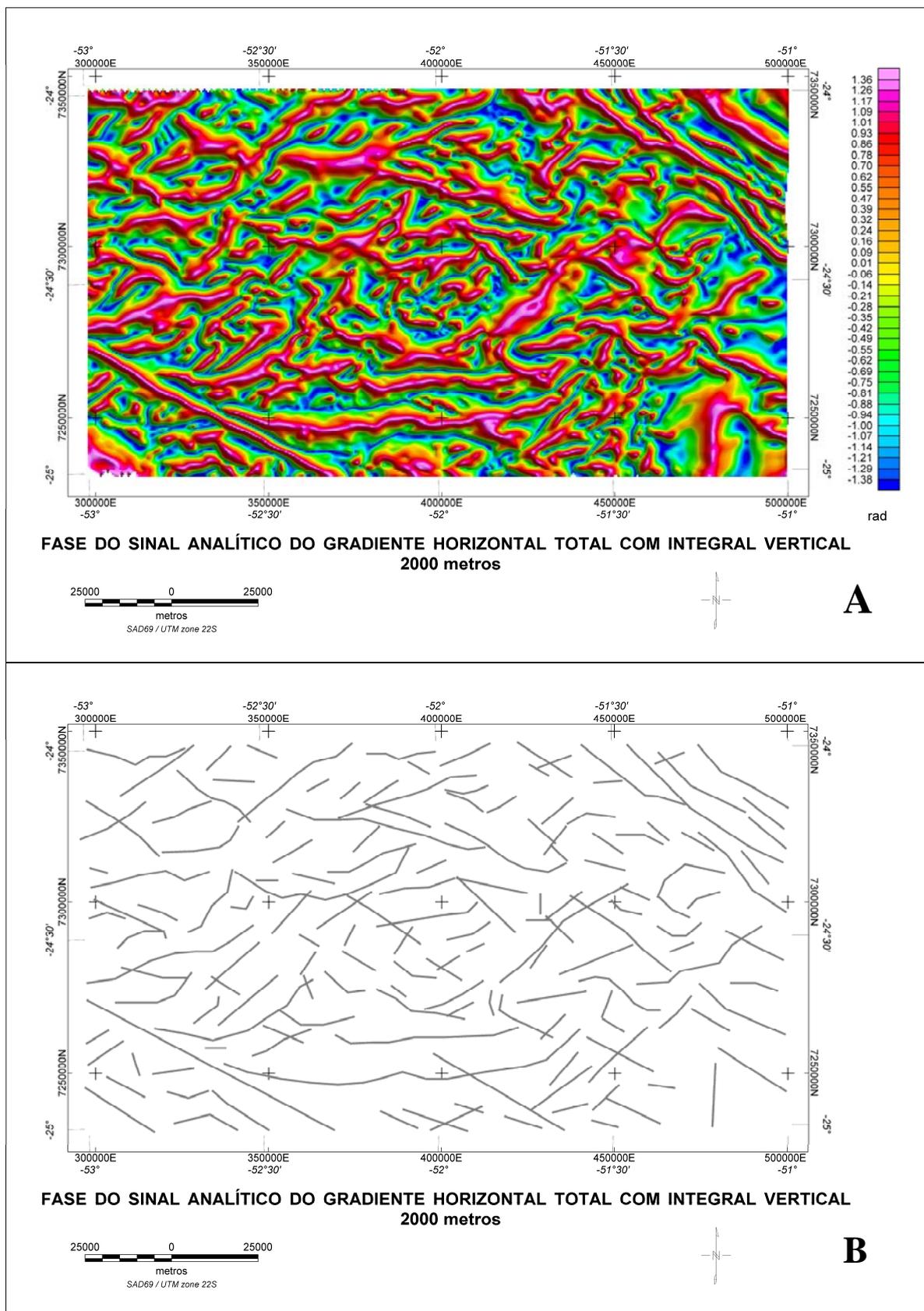


Figura 49 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

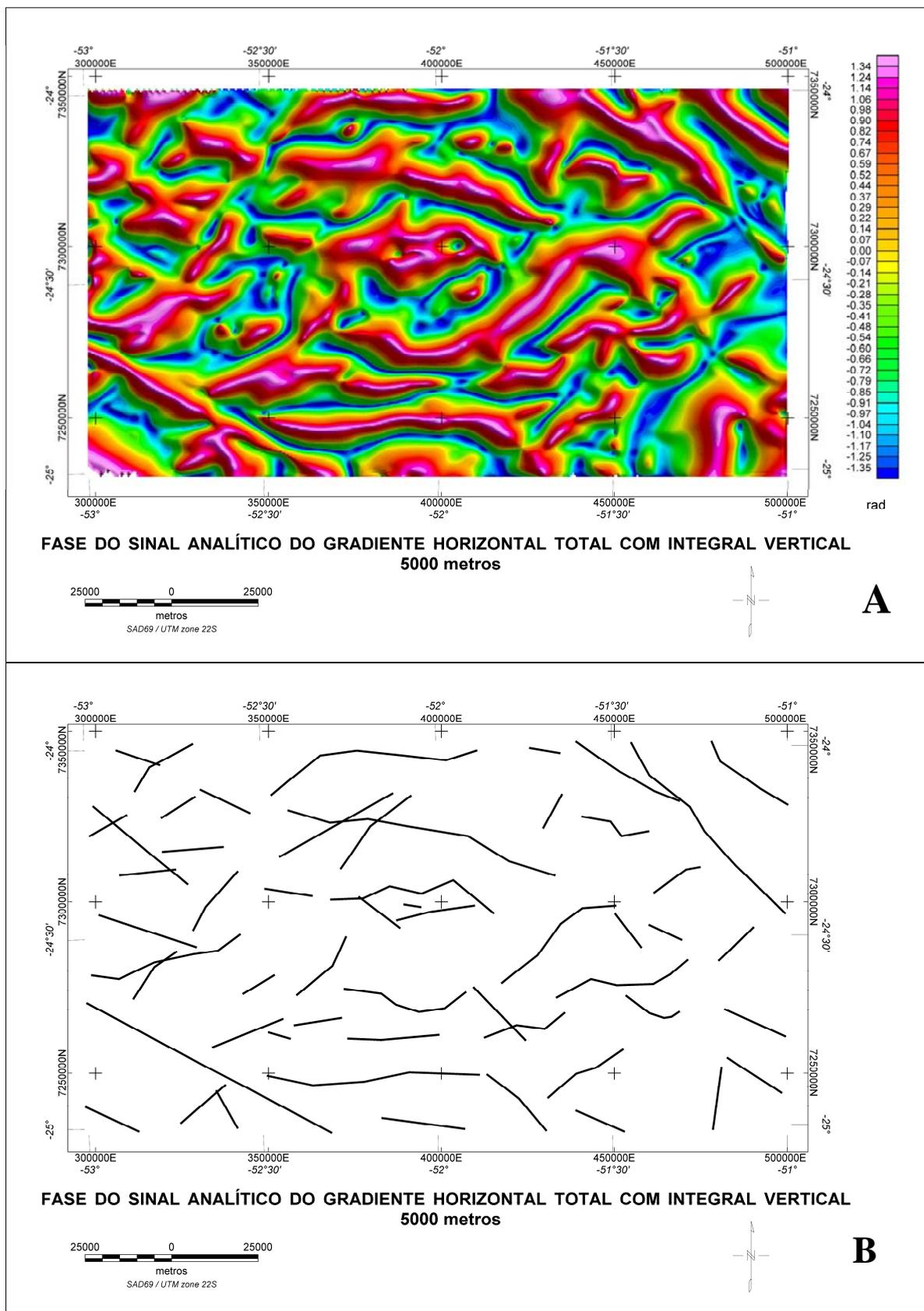


Figura 50 - Mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 5000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

5.2.2.10 GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL REALÇADO (ETHDR) – FEDI & FLORIO (2001).

Desenvolvido como um método de alta resolução para detectar as bordas de corpos magnetizados, o gradiente horizontal total realçado é baseado nas derivadas horizontais da soma das derivadas verticais de ordem n . Este método é altamente flexível por permitir que diferentes relações sinal-ruído e profundidade das fontes sejam tratadas adequadamente. Melhores resultados são obtidos quando anteriormente as anomalias são reduzidas ao pólo, eliminando, desta forma, a influência da direção de magnetização.

O gradiente horizontal total realçado é formado pelo gradiente horizontal total da soma das derivadas verticais de ordem n . A localização dos máximos é utilizada para a definição das bordas dos corpos. A estratégia de utilizar várias ordens de derivadas verticais é também sugerida por este método, envolvendo transformações tanto no domínio da frequência como no do espaço, e, portanto, proporcionando resultados mais estáveis do que aqueles baseados exclusivamente no domínio da frequência (Fedi e Florio, 2001).

É importante salientar que a derivada horizontal máxima se localiza precisamente as bordas dos corpos, e que os resultados da aplicação deste método em modelos teóricos confirmam conclusões recentes de que o método do sinal analítico depende da direção de magnetização.

O método é definido pela equação a seguir:

$$\text{ETHDR} = [(\text{d}\phi/\text{d}x)^2 + (\text{d}\phi/\text{d}y)^2]^{1/2}, \text{ Unidade} = \text{nT/m.}$$

onde $\phi = \Sigma \text{dnT/dzn}$. (soma das derivadas verticais de ordem n)

As figuras seguintes mostram os resultados da aplicação deste método e a interpretação dos lineamentos, apenas para as malhas continuadas já submetidas à aplicação do filtro da integral vertical.

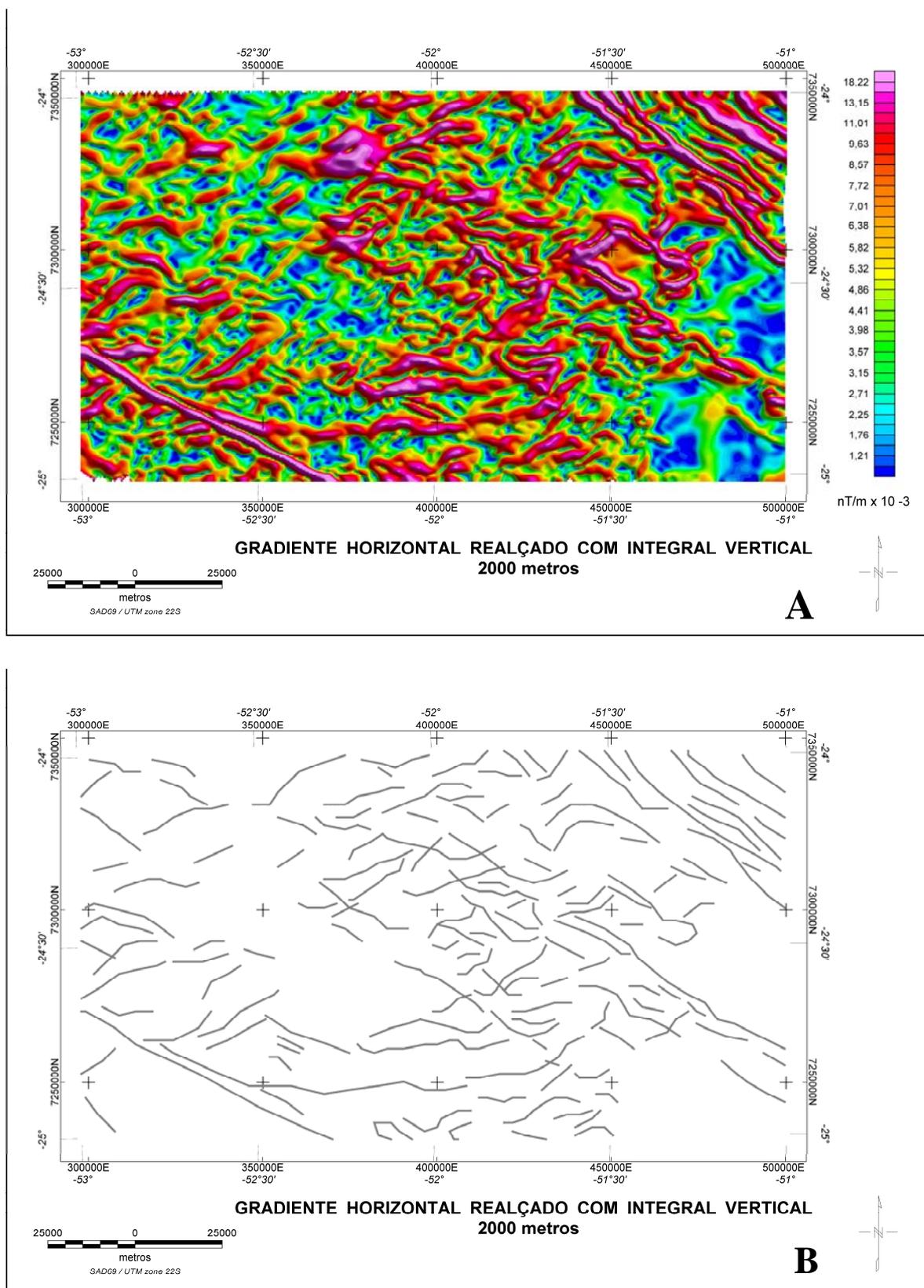


Figura 51 - Mapa do gradiente horizontal total realçado a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

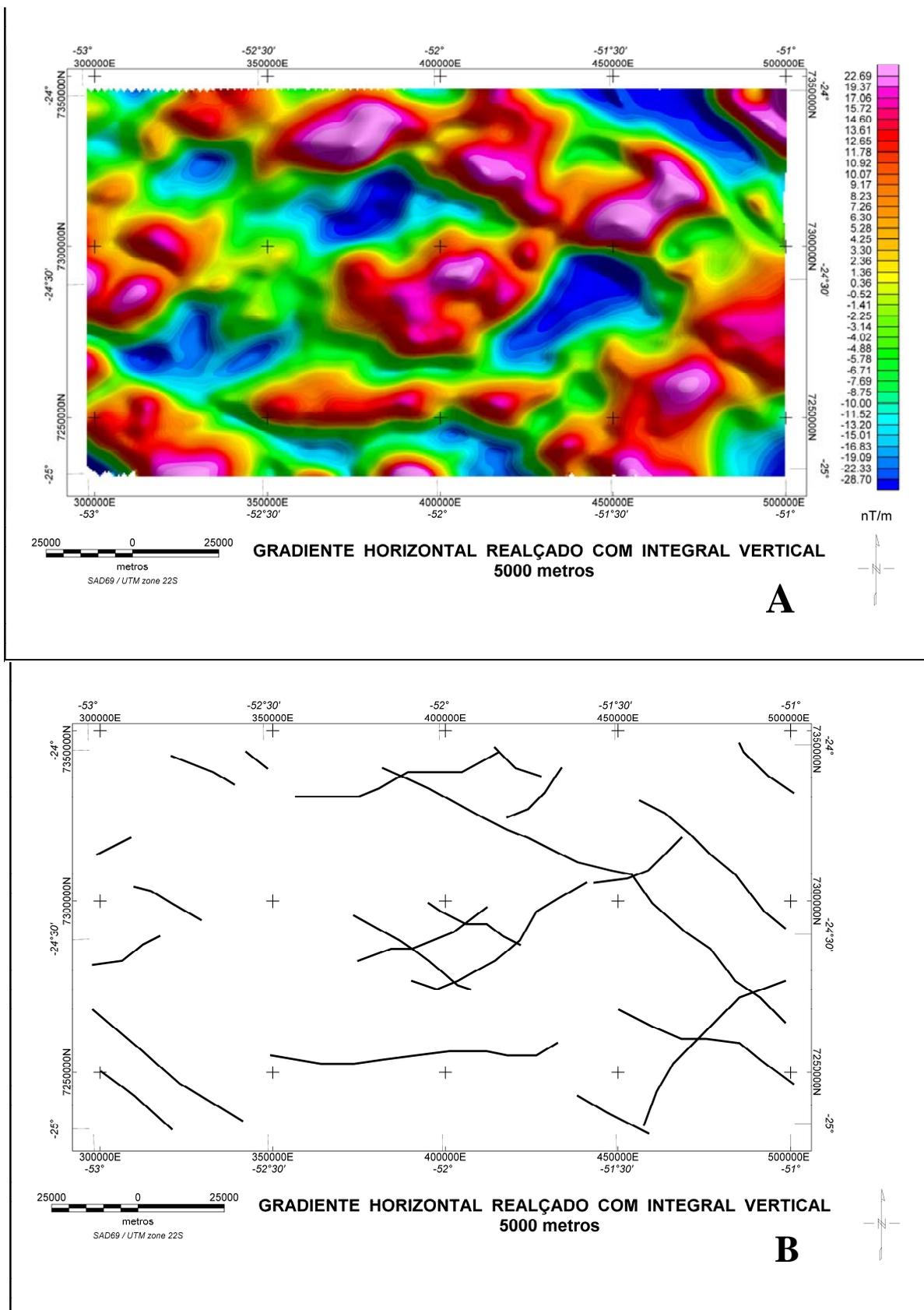


Figura 52 – Mapa do gradiente horizontal total realçado a partir da integral vertical do campo magnético residual continuado para 2000 metros (A) e sua respectiva interpretação (B).

5.2.2.11 FASE DO SINAL ANALÍTICO DE SEGUNDA ORDEM (STDR) – FERREIRA & SILVA (2006)

$$\text{STDR} = (\text{dTDR}/\text{dz}) / [(\text{dTDR}/\text{dx})^2 + (\text{dTDR}/\text{dy})^2]^{1/2}. \text{ Unidade} = \text{radiano (rad)};$$

Este filtro refina os resultados obtidos no filtro da fase do sinal analítico.

5.2.2.12 SOMA DOS VALORES ABSOLUTOS DAS DERIVADAS HORIZONTAIS (HDSUM) – PITAS (2000).

$$\text{HDSUM} = |dT/dx| + |dT/dy|. \text{ Unidade} = \text{nT/m};$$

5.2.2.13 OPERADOR DE LAPLACE (LO) – SEGUNDA DERIVADA VERTICAL – PITAS (2000).

$$\text{LO} = d^2T/dz^2 = - (d^2T/dx^2 + d^2T/dy^2). \text{ Unidade} = \text{nT/m}^2$$

A segunda derivada vertical (LO) realça as altas frequências e aparentemente resolve os efeitos de interferência de anomalias adjacentes. A LO, apesar do maior poder de resolução, requer, para sua aplicação, dados de alta qualidade, pois também realça os ruídos. Muitas vezes são utilizadas as derivadas horizontais (x e y) no domínio do espaço para diminuir os ruídos.

5.2.2.14 FASE DO SINAL ANALÍTICO DE ETHDR – FERREIRA & SILVA (2006)

$$\text{TDR_ETHDR} = (\text{dETHDR}/\text{dz}) / [(\text{dETHDR}/\text{dx})^2 + (\text{dETHDR}/\text{dy})^2]^{1/2}. \text{ Unidade} = \text{radiano (rad)};$$

Este método realça os resultados do gradiente horizontal total realçado, facilitando o traçado de lineamentos.

5.2.2.15 AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO DE ORDEM N(Z). [AS_N(Z)], ONDE N(Z) = 1,2,3.....N(Z) – HSU ET AL. (1996); DEBGLIA & CORPEL (1997).

$$\text{AS}_n(z) = \{[(dnT/dzn)/dx]^2 + [(dnT/dzn)/dy]^2 + [(dnT/dzn)/dz]^2\}^{1/2}. \text{ Unidade} = \text{nT/m}.$$

Este método é uma variante do sinal analítico simples, tomando as derivadas nas direções x, y e z dos gradientes verticais de ordem n, realçando as anomalias.

5.2.2.16 AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO DE ORDEM N(X,Y,Z). [AS_n(X,Y,Z)], ONDE N = 1,2,3.....N(X,Y,Z) - HSU ET AL. (1996); DEBEGLIA & CORPEL (1997).

$$AS_n(x,y,z) = \{[(dnT/dxn)/dx]^2 + [(dnT/dyn)/dy]^2 + [(dnT/dzn)/dz]^2\}^{1/2}. \text{ Unidade} = nT/m.$$

Este método também é uma extensão do sinal analítico simples, tomando as derivadas nas direções x, y e z respectivamente dos gradientes horizontais naquelas direções, realçando as anomalias.

5.2.2.17 AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO COMPOSTO (CAS) – DEBEGLIA ET AL. (2006).

$$CAS = [(d\phi/dx)^2 + (d\phi/dy)^2 + (d\phi/dz)^2]^{1/2} \text{ Unidade} = nT/m$$

(ϕ = soma das derivadas verticais de ordem n(z), onde n = 1,2,3.....n(z)).

Concebido para aumentar as vantagens das propriedades do sinal analítico, este processo toma as derivadas segundo as direções x, y e z a partir da soma das derivadas verticais de ordem n, com a particularidade de que as últimas, concomitantemente ao incremento da ordem são previamente continuadas para cima. Apesar dos testes realizados não terem demonstrado maior eficiência em relação a outros métodos de realce, incluindo o gradiente horizontal total realçado, este método parece oferecer contribuições significativas para a definição dos limites de corpos.

5.2.2.18 THETA MAP – WINJS ET AL. (2005)

$$\phi = \arccos (THDR/AS)$$

Este método é uma ferramenta simples e efetiva para delinear contatos magnéticos, posicionando as anomalias diretamente sobre suas fontes. É uma técnica resultante do quociente entre o gradiente horizontal total e a amplitude do sinal analítico, a qual intensifica os contatos magnéticos de corpos 2D. Este método é igualmente válido para dados que tenham sido reduzidos ao pólo ou ao equador, mais foi desenvolvido para baixas latitudes magnéticas, regiões nas quais o filtro de redução ao pólo envolve instabilidade. O

Theta map pode ser considerado como uma normalização do gradiente horizontal total, a qual introduz um controle efetivo de ganho, que apesar de perder informação das amplitudes originais das anomalias, realça as baixas amplitudes e facilita a interpretação.

5.2.2.19 LINEAMENTOS GEOFÍSICOS

Após a interpretação de todos os métodos de realce os lineamentos geofísicos correspondentes a cada método foram integrados em um único mapa (Figura 53) para a interpretação do arcabouço magnético da área.

A partir dos lineamentos obtidos anteriormente para os diversos temas, foi realizada uma interpretação estrutural com base no programa LinAnalyst (Freitas 2005), semelhante àquela forma utilizada quando do tratamento dos lineamentos extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE).

A Figura 54 mostra as principais direções de lineamentos, em termos de frequência e comprimento. Nota-se uma direção NW-SE preferencial, geologicamente comprovada pela profusão de fraturas, falhas e zonas de falhas naquela direção. Ainda se percebe tendências na direção NE-SW, embora secundárias, também associadas a estruturas geológicas. A ausência de tendências geofísicas na direção NS, deve-se tanto ao paralelismo com as linhas de vôo quanto ao processo de micronivelamento, executado na mesma direção. A direção EW também é presente confirmando a existência de falhas/fraturas de relevância neste sentido, do que decorreu a proposição do Alinhamento do Rio Cantú.

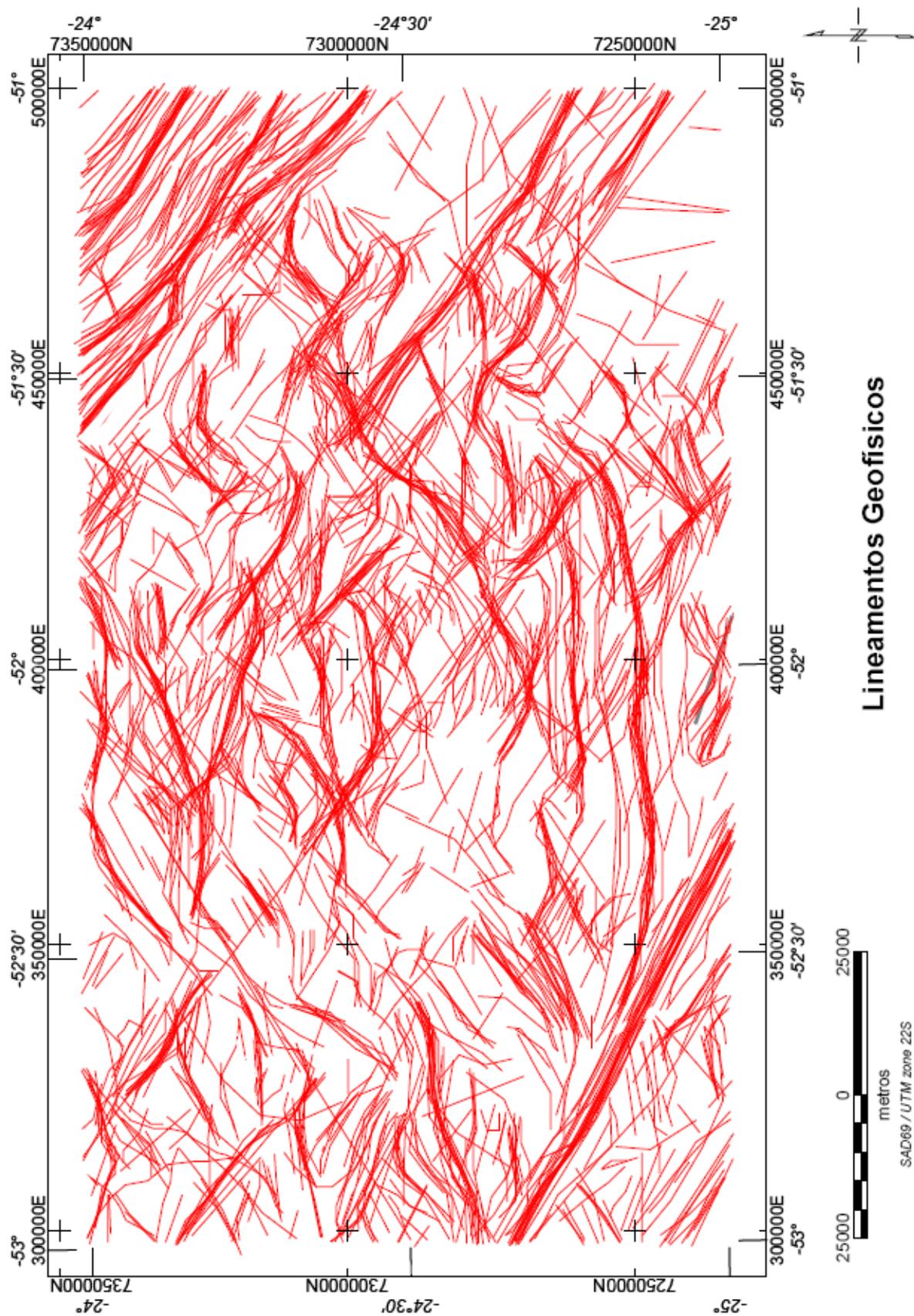


Figura 53 – Mapa dos lineamentos geofísicos integrados.

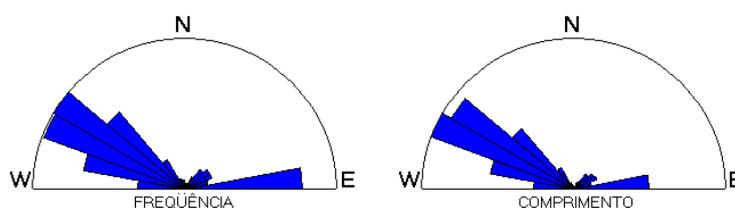


Figura 54 - Diagramas de roseta para direções de frequência e comprimento dos lineamentos geofísicos.

Outra análise de lineamentos, ainda de acordo com Freitas (2005), foi realizada através da segmentação da área estudada em células regulares, com inserção em cada uma delas de um diagrama de roseta. O procedimento é executado automaticamente através do programa LinAnalyst, em seu módulo mapa. A região foi dividida, na extensão leste-oeste, em nove compartimentos, e, na extensão norte-sul, em cinco compartimentos, perfazendo um total de 45 células de mesmo tamanho. Os diagramas de roseta foram elaborados tanto para o comprimento acumulado como para a frequência acumulada (Figura 55).

Os resultados deste processamento foram considerados bastante satisfatórios, quando comparados com aqueles derivados da interpretação do arcabouço estrutural de superfície. Tal tratamento dos dados comprova que as feições estruturais mais representativas da área são as seguintes: Lineamento do Rio Piquiri, Falha do Rio Alonzo, Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão e MI-3 todas segundo NW; Falha da Jacutinga e Guaxupé, PT-3, PT-4 e PR-2 de direção NE e ainda os alinhamentos Roncador (NW) e do Rio Cantú (EW).

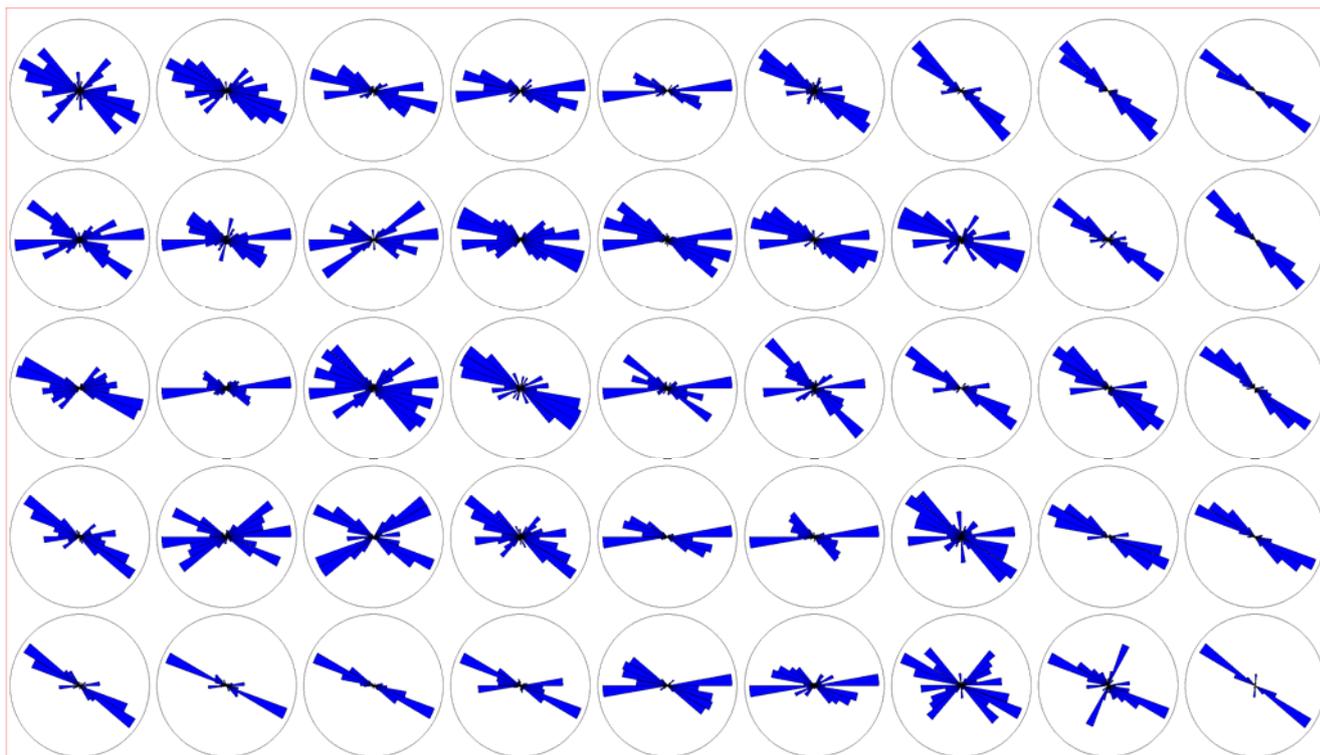
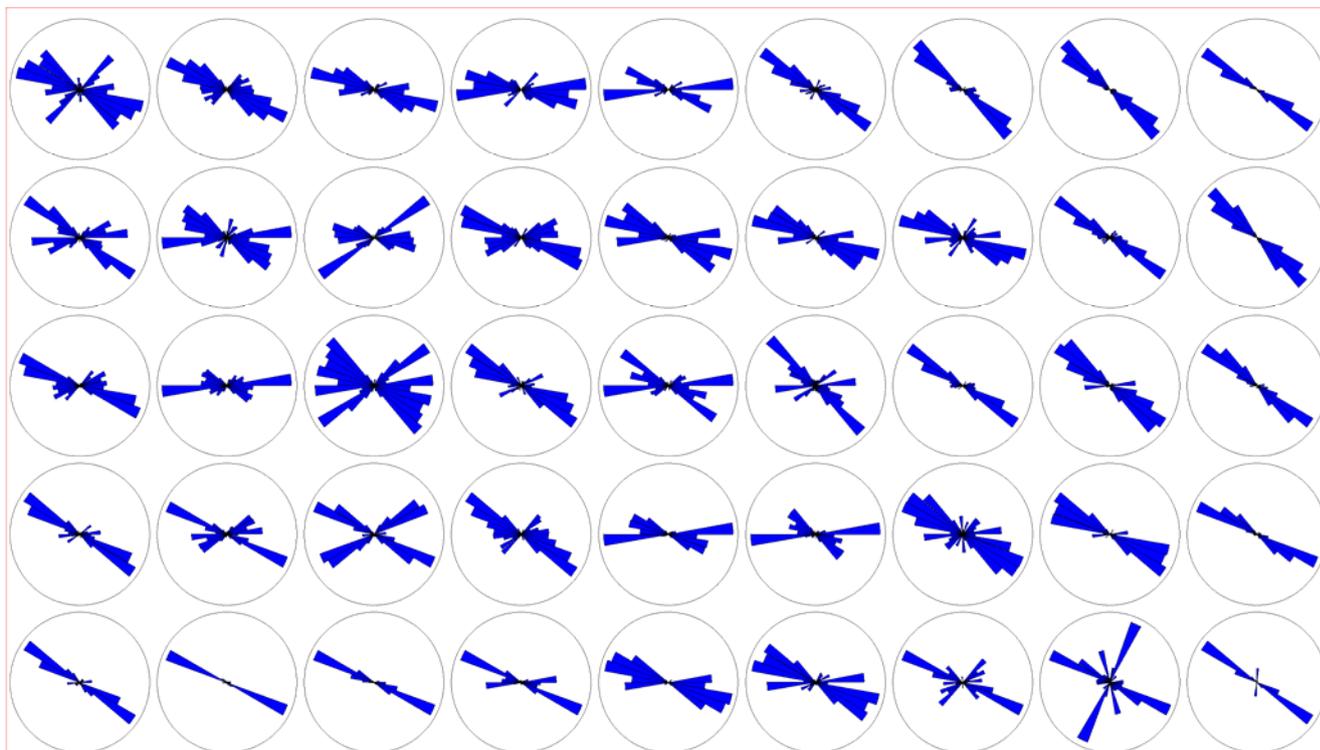
GEOFÍSICA FREQUÊNCIA**GEOFÍSICA COMPRIMENTO**

Figura 55 - Mapas de roseta de frequência e comprimento acumulados para os lineamentos obtidos pela interpretação geofísica. As pétalas da roseta estão em classes de 10°.

5.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL–MAGNÉTICO COMUM

Finalmente, após todos os processamentos de superfície e subsuperfície, incluindo as análises já descritas, foi realizada a interpretação do arcabouço estrutural comum aos dois níveis de investigação, o qual pode ser visualizado na Figura 56, cuja harmonização requereu a utilização de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A nomenclatura das falhas, zonas de falhas e alinhamentos estruturais foi a mesma definida por Soares *et al.* (1982) e Zalán *et al.* (1987). Por outro lado, a interpretação ensejou a proposição de novos alinhamentos estruturais, ainda não definidos na literatura, os quais se dispõem preferencialmente em direções paralelas à Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão, mas também segundo EW nas proximidades do rio Cantú. Tais estruturas podem ser vistas no mapa da Figura 56 e foram denominados de alinhamentos Roncador e do Rio Cantú. Cabe salientar que foram observados outros lineamentos de direção EW e NS constatados pelas análises estruturais estatísticas, mas a definição de novas propostas de lineamentos, de caráter regional, não foi aprofundada neste trabalho uma vez que carece de investigações estruturais de campo.

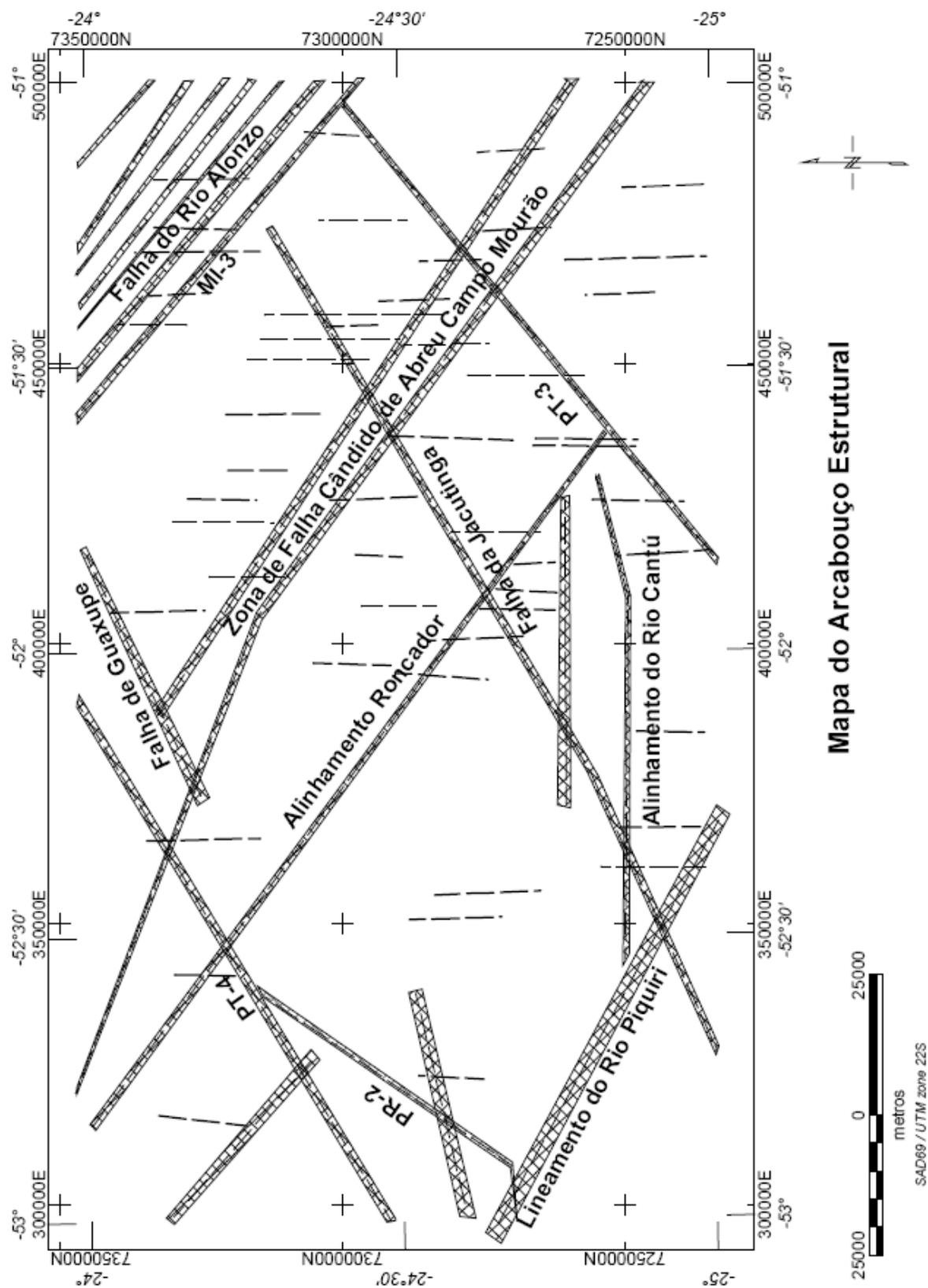


Figura 56 - Mapa do arcabouço estrutural comum proposto para a área em estudo.

6 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA-HIDROQUÍMICA

A partir da definição do arcabouço estrutural-magnético comum, objetivou-se avaliar as possíveis influências das estruturas na circulação das águas do SASG, assim como identificar zonas de conexão com o SAG e, eventualmente, com outros aquíferos sotopostos. Como já mencionado neste trabalho, os dados hidrogeológicos e hidroquímicos foram analisados a partir de poços completados na Formação Serra Geral, situados na área do estudo, onde foram contempladas variáveis como as profundidades das perfurações, a potenciometria, a vazão, a capacidade específica, o pH, os sólidos totais dissolvidos (STD), os cátions – $\text{Na}^{2+} + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} e os ânions – Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} .

Para identificar as possíveis zonas de conexão hidráulica dos SASG e SAG, foi considerada a distribuição espacial de variáveis hidroquímicas em correspondência ao arcabouço estrutural comum, pois admite-se que em condições potenciométricas favoráveis, as águas do SAG ascendam, através de estruturas geológicas (planos de falhas abertos), até o SASG, podendo modificar a assinatura hidroquímica típica deste último sistema aquífero. Este tipo de processo foi constatado no trabalho de diversos autores já citados neste estudo. O modelo conceitual preliminar de fluxo foi adaptado para a área baseado em Fernandes *et al.* (2006) e Strugale *et al.* (2007), o qual é mostrado na Figura 57, onde as águas do SAG ascendem a superfície, através de fraturas de resfriamento e tectônicas existentes nos basaltos do SASG a partir de mecanismos hidráulicos.

Neste capítulo serão descritas as características relevantes dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani e será realizada uma tentativa de conhecer mais sobre o papel desempenhado pelas estruturas no fluxo e no quimismo das águas destes dois sistemas aquíferos.

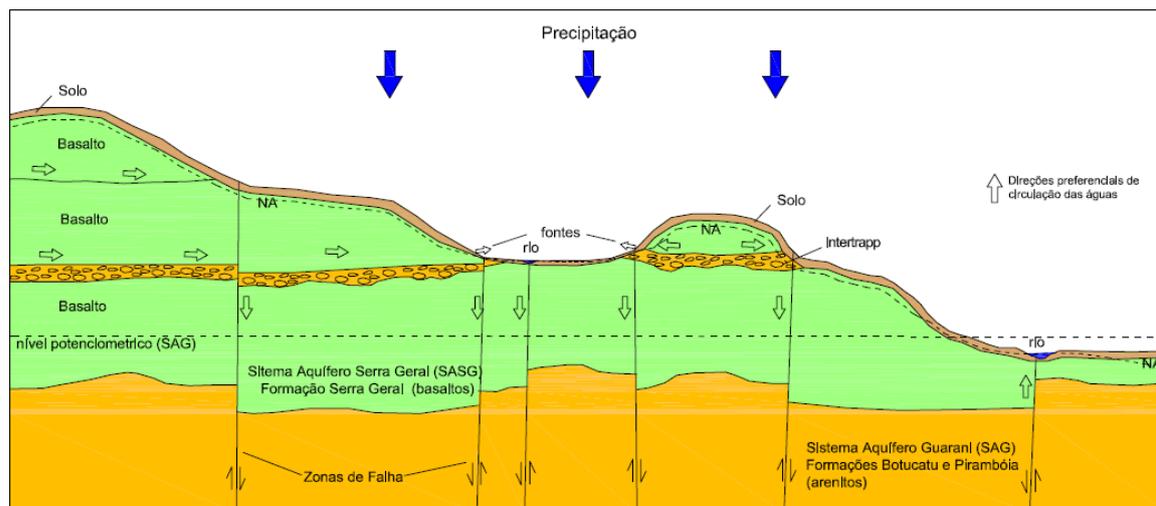


Figura 57 – Modelo conceitual de fluxo das águas subterrâneas dos SASG e SAG. (adaptado de Fernandes *et al.* 2006 e Strugale *et al.* 2007).

6.1 ANÁLISE DOS DADOS

A partir da compilação dos bancos de dados fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (Suderhsa), além dos dados cedidos por Buchmann Filho (2002), foram selecionados 171 poços tubulares, completados na Formação Serra Geral (Figura 58), até o ano de 2006, por intermédio dos quais foram analisadas as seguintes variáveis hidrogeológicas e hidroquímicas: potenciometria, vazão, capacidade específica, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos totais dissolvidos (STD), cátions – $\text{Na}^{2+} + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} e ânions – Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} . As análises químicas de todos estes poços podem ser visualizadas no Anexo I – SASG.

A nomenclatura dos poços segue uma ordem numérica crescente vinculada a uma simbologia identificadora do órgão fornecedor dos dados: SA – Sanepar; SD – Suderhsa e B – Buchmann Filho (2002).

Para que as análises hidroquímicas sejam utilizadas é necessário proceder ao balanço iônico e avaliar o seu erro ou diferença.

Assim, primeiramente, foram transformados os resultados em mg/L para meq/L, para, em seguida, calcular o erro teórico ou diferença de balanço iônico (DBI), baseado em Logan (1965):

$$\text{DBI (\%)} = (\Sigma\text{ânions} - \Sigma\text{cátions} / \Sigma\text{ânions} + \Sigma\text{cátions}) \times 100$$

Desta forma foram selecionados os registros que acusaram erros máximos de balanço iônico de 11%. Do conjunto de 171 poços, 96 se prestaram para avaliar a distribuição espacial das variáveis hidroquímicas.

Paralelamente, procedeu-se uma análise crítica e estatística (Tabela 2), eliminando os dados espúrios e padronizando as unidades. Em seguida os dados foram interpolados pelo método da curvatura mínima (Briggs, 1974), através de células quadradas de 2500 x 2500 metros. Com base neste procedimento foi realizada a análise das variáveis hidrogeológicas e hidroquímicas através da geração dos respectivos mapas de contorno, os quais foram comparados com o arcabouço estrutural comum.

A seguir serão descritos os dados obtidos através da análise estatística e os mapas das mencionadas variáveis, em correspondência ao arcabouço estrutural-magnético comum definido para a área.

Convém ressaltar que o método de interpolação utilizado (curvatura mínima) é limitado quando se pondera um número restrito de poços, a falta de homogeneidade e a anisotropia do SASG, além das incertezas inerentes aos dados cadastrais dos poços. Entretanto, os mapas apresentados a seguir são considerados como uma primeira aproximação de distribuição das variáveis hidrogeológicas e hidroquímicas na área de estudo.

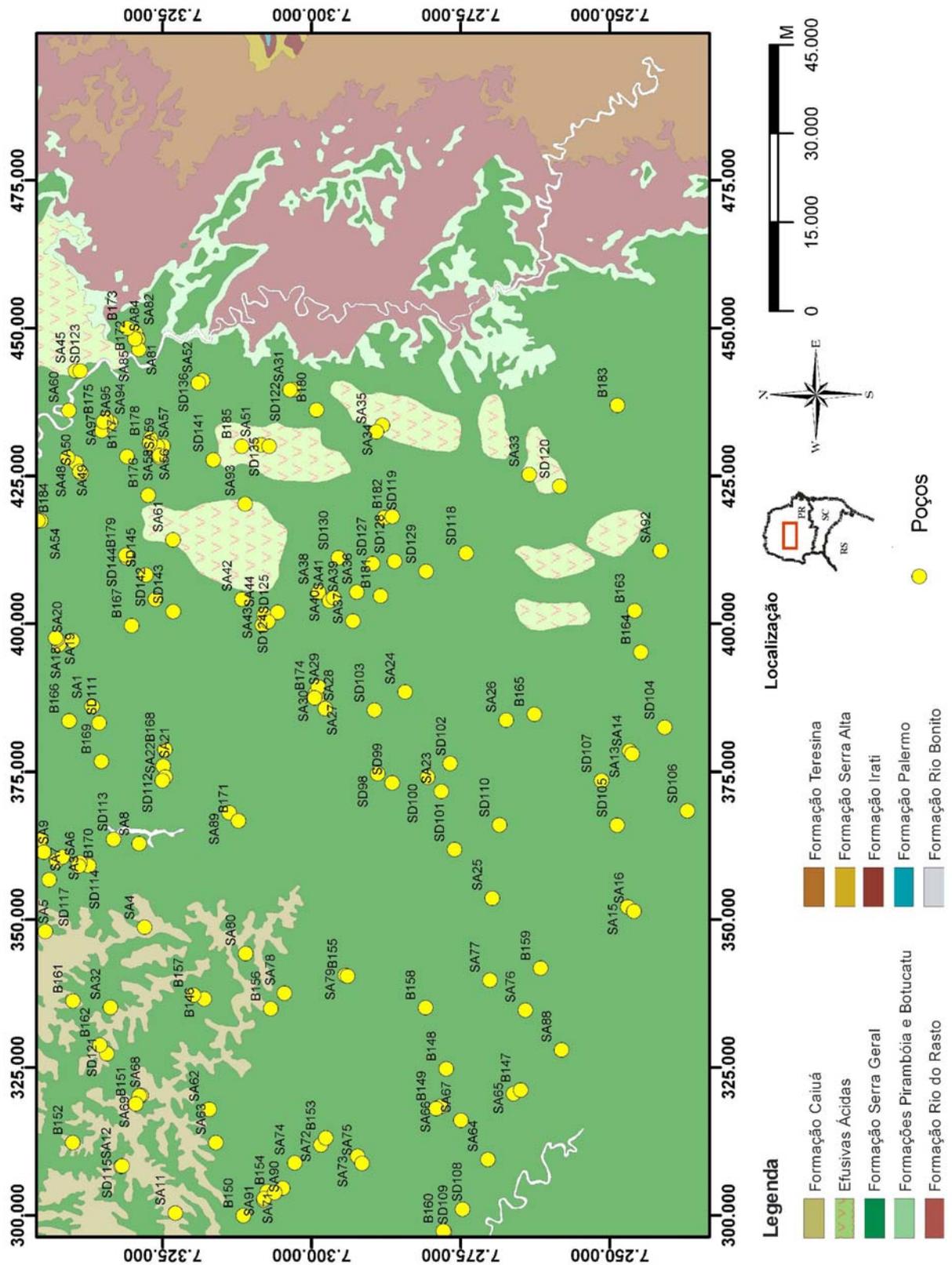


Figura 58 - Mapa de localização dos poços tubulares fornecidos pela Sanepar (SA), Suderhsa (SD) e Buchmann Filho (B), sobrepostos ao mapa geológico.

6.1.1 VARIÁVEIS HIDROGEOLÓGICAS

Para um melhor entendimento, os principais parâmetros hidrogeológicos analisados neste estudo foram divididos em subitens. A tabela a seguir mostra uma síntese destes parâmetros e, em cada subitem, poderá ser encontrada uma breve descrição do método, da apresentação dos resultados obtidos e dos mapas correspondentes.

Tabela 2: Estatísticas dos parâmetros de interesse das águas subterrâneas da área do estudo.

<i>Estatísticas</i>	Potenciometria (msnm) *	Vazão (m³/h)	Capacidade Específica (m³/h/m)	Profundidade (msnm) *
<i>nº de amostras</i>	130	124	122	129
<i>mínimo</i>	197,41	1,50	0,01	18,00
<i>máximo</i>	924,24	180,00	42,50	300,00
<i>média</i>	548,96	26,92	2,11	122,03
<i>mediana</i>	529,36	14,50	0,95	120,00
<i>desvio padrão</i>	141,45	31,80	4,21	51,76

*metros sobre o nível do mar

6.1.1.1 PROFUNDIDADE DE PERFURAÇÃO

A profundidade de perfuração dos poços na área de estudo varia de 18 metros (mínima) até 300 metros (máxima), enquanto a média observada é de 122 metros. Dados obtidos por Buchmann Filho (2002) mostram que as profundidades médias de poços perfurados nas bacias hidrográficas dos rios Piquiri (95,96 metros) e Ivaí (110,11 metros), correspondem às obtidas nesta pesquisa. No trabalho de Portela Filho (2003), realizado em área adjacente (Figura 1) a média foi de 122,58 metros.

O mapa da Figura 59 mostra as maiores profundidades das sondagens nas porções nordeste e centro-sul da área de estudo, nas proximidades da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão e do Lineamento do Rio Piquiri, respectivamente. Em muitos casos estas profundidades são fortemente influenciadas por fatores econômicos (*e.g.* custos da perfuração, necessidade de água, etc.) não havendo, muitas vezes, uma relação direta com a produtividade dos poços.

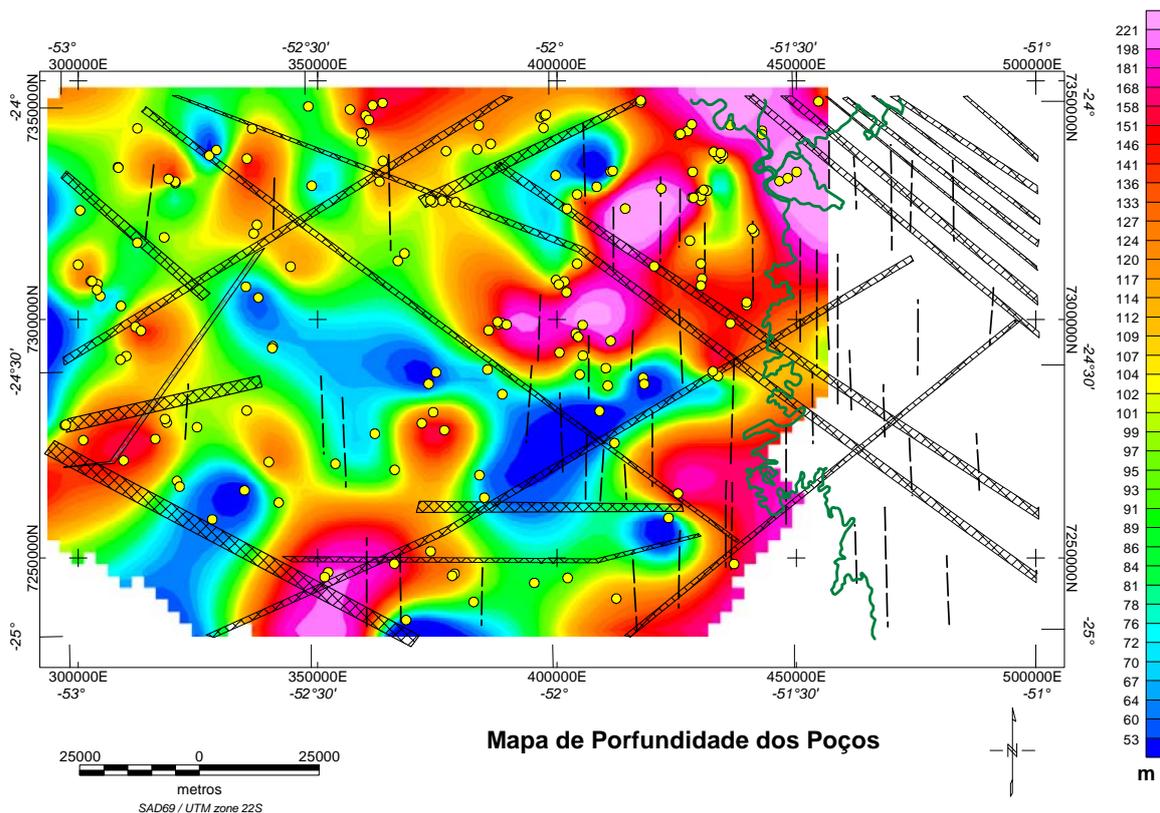


Figura 59 - Mapa de profundidade dos poços da área de estudo. Poços do SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

6.1.1.2 POTENCIOMETRIA

Para delinear a superfície potenciométrica, foram utilizadas as cotas do nível estático associadas à altitude de cada poço.

A grande correlação entre as cotas dos poços e da superfície potenciométrica, na forma de um diagrama de dispersão envolvendo 130 amostras (Figura 60), mostra um comportamento de aquífero livre, fato já constatado por Fraga (1986). A correlação dos dados na forma deste diagrama de dispersão indica um coeficiente de correlação de 0,9644 e mostra que alguns poços não estão localizados na reta que define este comportamento, com cotas potenciométricas abaixo das esperadas. Estes poços localizam-se próximos a estruturas importantes na área, são eles: SA15 e SA16 nas proximidades do Lineamento do Rio Piquiri, com altos valores de pH e STD; SA53 nas proximidades da Falha do Rio Alonzo, de composição bicarbonatada sódica e SD123 também nas proximidades da Falha do Rio Alonzo, de composição bicarbonatada cálcica.

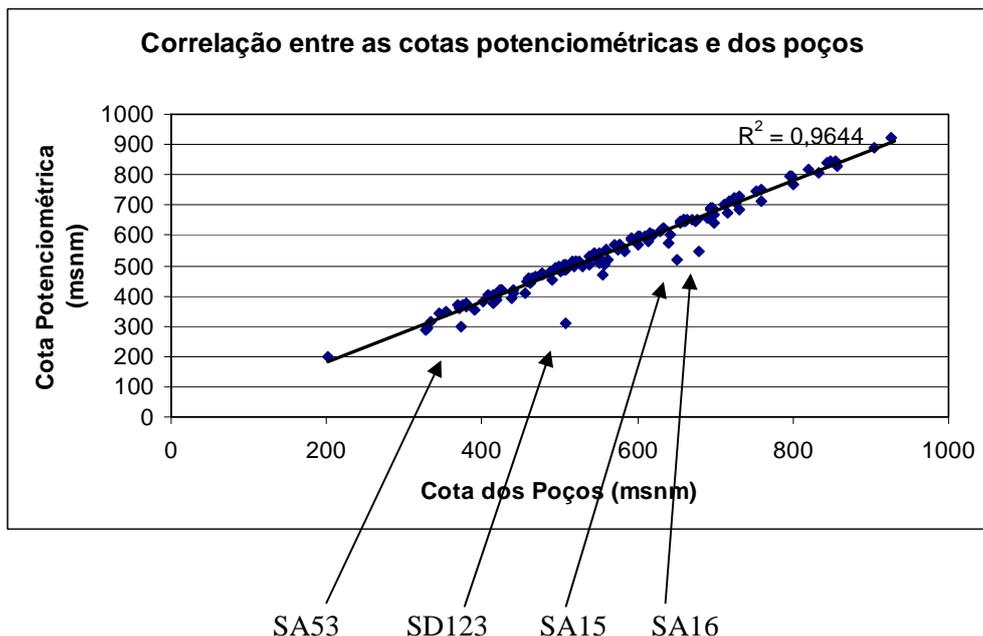


Figura 60 - Diagrama de dispersão das cotas dos poços e do nível potenciométrico.

Um perfil de direção SW-NE (Figura 61) permitiu relacionar a superfície potenciométrica e a topografia da área. Nota-se que não existem discrepâncias significativas para este perfil onde a potenciométrica normalmente segue a tendência geral da topografia, com variações localizadas. Observa-se uma diminuição da superfície potenciométrica em 20 metros de extensão do perfil, que pode ser associada a perda de água devido ao fluxo entre as fraturas/falhas, por controle estrutural, ou mesmo por bombeamento excessivo dos poços neste local. Estas características devem ser assumidas com precauções, em função do número restrito de dados e do método de interpolação utilizado, visto que são diferenças de pequena amplitude.

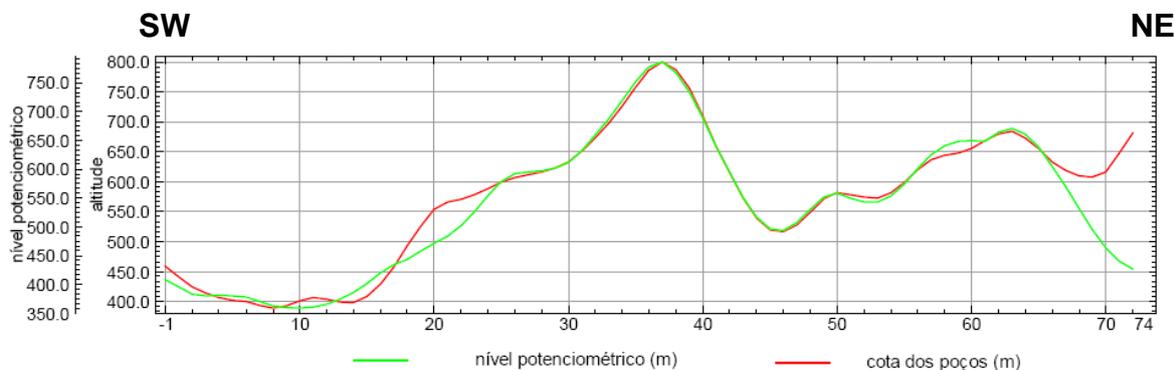


Figura 61: Perfil de direção SW-NE indicando as relações entre relevo e potenciométrica.

As figuras 62 (nível potenciométrico) e 63 (cotas dos poços) refletem, especialmente, a mencionada correlação, permanecendo as áreas de maiores cotas dos poços com maiores valores potenciométricos. Entretanto, os valores/tratos díspares, de maior separação entre tais superfícies, apesar de restritos, podem ser influenciados pelas estruturas, como indicado por Portela Filho (2003) na região do ápice de Ponta Grossa. Este último autor indicou uma cota média da superfície potenciométrica de 523,92 metros, portanto próxima a média calculada neste trabalho (548,96 metros).

No intuito de verificar a relação entre as cotas potenciométricas do SASG e do SAG foram relacionados poços completados na Formação Serra Geral próximos a poços que atingiram as rochas das formações Botucatu e Pirambóia na porção leste da área, como também foi utilizado o mapa da superfície potenciométrica do SAG de Araújo *et al.* (1999). Infelizmente com os dados disponíveis não foi possível fazer a correlação proposta no modelo da figura 57 onde através de mecanismos hidráulicos o nível do SAG encontra-se acima do nível potenciométrico do SASG, causando mistura entre as águas destes dois aquíferos através de ascensão das águas do SAG.

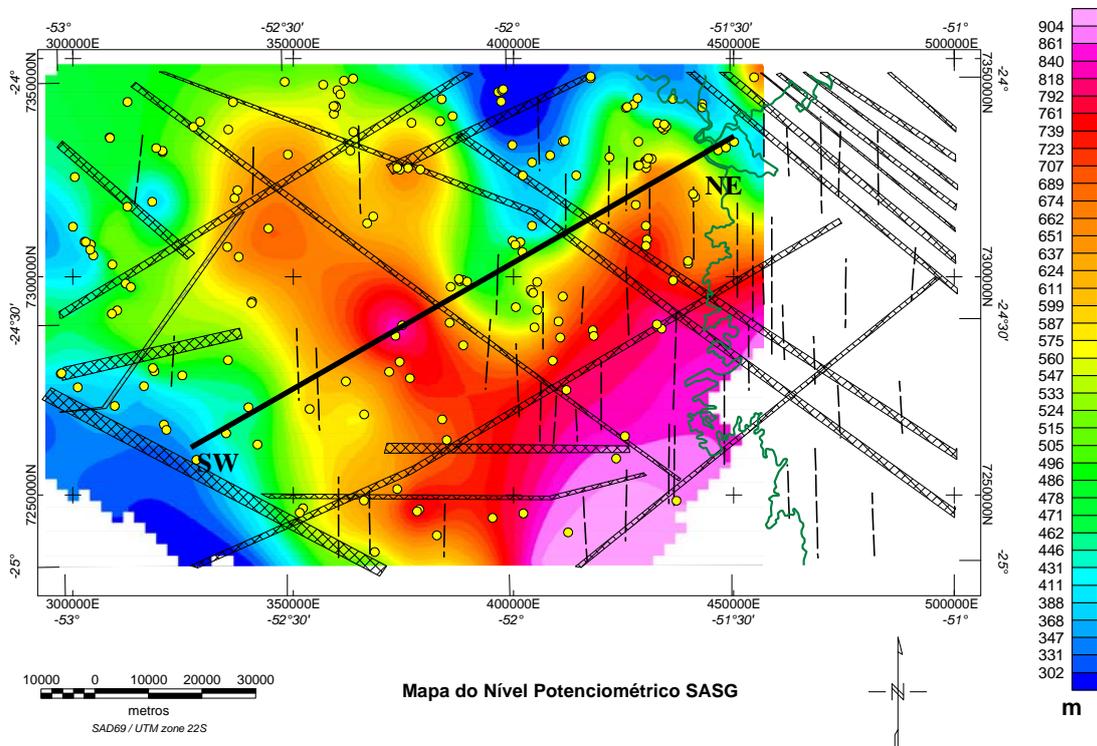


Figura 62 - Mapa da superfície potenciométrica indicando a localização do perfil SW-NE em preto. Poços do SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

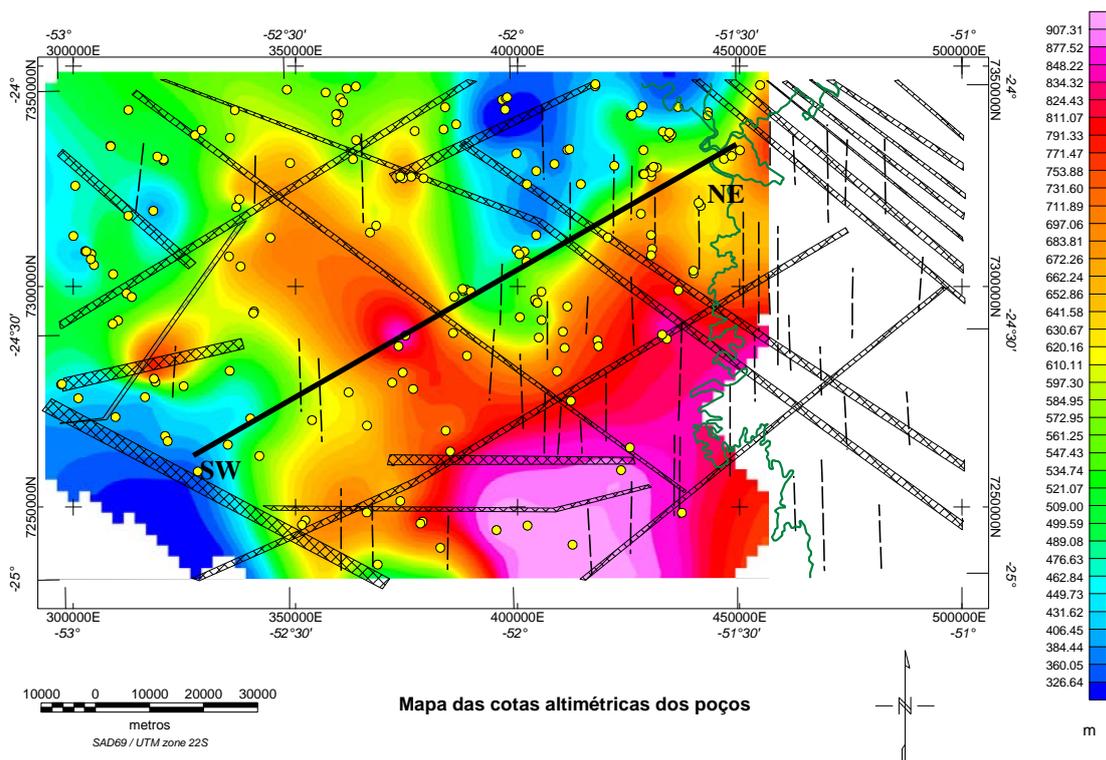


Figura 63 - Mapa das cotas altimétricas dos poços indicando a localização do perfil SW-NE em preto. Poços do SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcaçoço estrutural-magnético em preto.

6.1.1.3 VAZÃO

Das 124 amostras analisadas, os dados de vazão oscilaram de 1,50 m³/h (mínimo) até 180 m³/h (máximo), com média de 26,92 m³/h. Os poços mais produtivos da área (SA 23=130 m³/h; 33=180 m³/h; 64=125,5 m³/h e 88=100 m³/h), com média de 134 m³/h, estão localizados próximos aos municípios de Roncador, Pitanga, Campina da Lagoa e Altamira do Paraná, respectivamente e apresentam altos valores de pH. Observa-se o aumento das vazões na porção centro oeste da área, onde o cruzamento de falhas de direções NW e NE sugere a concentração de maiores vazões em blocos romboédricos, como já descrito por outros autores no estado do Paraná. Entretanto, só dados de vazões elevadas não são suficientes para caracterizar zonas de conectividade dos SASG e SAG.

Segundo Fraga (1992), a vazão média do aquífero Serra Geral Norte, onde a área de estudo está inserida, é de 42 m³/h, enquanto que para Portela Filho (2003) a média é 18,69 m³/h, e para Buchmann Filho (2002), relativamente às bacias dos rios Piquiri e Ivaí é de 17,84 m³/h e 20,57 m³/h, respectivamente, portanto mais próximos da média obtida neste trabalho (26,92 m³/h).

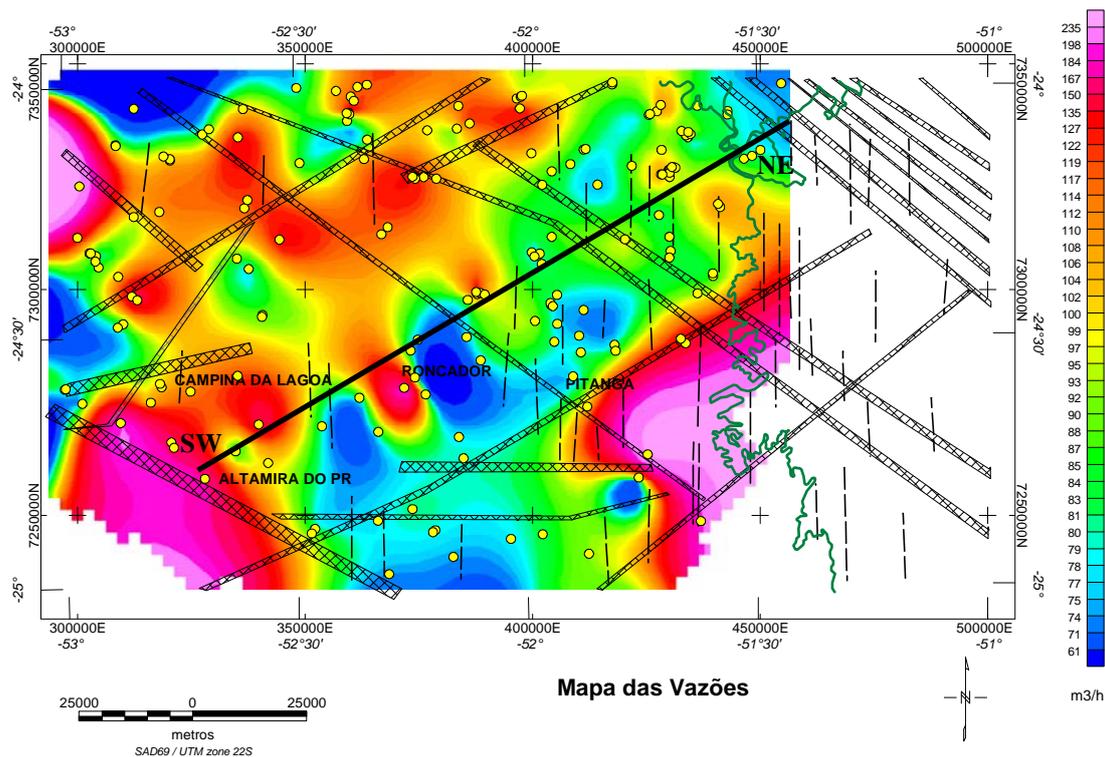


Figura 64 - Mapa de vazões indicando a localização do perfil SW-NE em preto. Poços do SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

6.1.1.4 CAPACIDADE ESPECÍFICA

É a relação entre a vazão, em m^3/h , e o rebaixamento do nível d'água em metros, e depende também das características construtivas do poço. Este parâmetro é a melhor forma de se comparar a produtividade de aquíferos fissurados, como é o caso do SASG. Um bom aquífero apresenta capacidade específica (CE) média de $3\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, como é o caso de alguns poços do SAG.

Para a área de estudo foram observados valores mínimo e máximo de 0,01 e 42,50 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, respectivamente, com média de 2,11 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Valores tão discrepantes demonstram a heterogeneidade do aquífero. A distribuição espacial da capacidade específica da área de estudo pode ser observada na Figura 65, onde ocorrem altos valores na porção NW da área, de acordo com os dados de vazão.

Em trabalhos realizados por Buchmann Filho (2002) nas bacias dos rios Piquiri e Ivaí, e Portela Filho (2003), em áreas adjacentes, os dados médios de CE foram de 2,36 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$; 1,23 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e 1,82 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, respectivamente, portanto coerentes com o valor médio obtido nesta pesquisa (2,11 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$).

Na Figura 66 o perfil mostra a correlação entre vazão, sólidos totais dissolvidos (STD) e capacidade específica. Nota-se uma boa correspondência entre as vazões e os teores de STD, onde os picos mais elevados de STD associam-se as quedas de vazões e vice-versa. Para a capacidade específica nota-se que esta propriedade mostra uma variação diretamente proporcional às vazões e também inversa ao STD. Os menores valores de STD observados neste perfil estão associados a um local onde o nível potenciométrico distancia-se da cota topográfica, podendo denotar um controle estrutural ou ser associado a um bombeamento excessivo dos poços no local. As maiores concentrações de STD aparecem no final do perfil, relativos a porção NE da área.

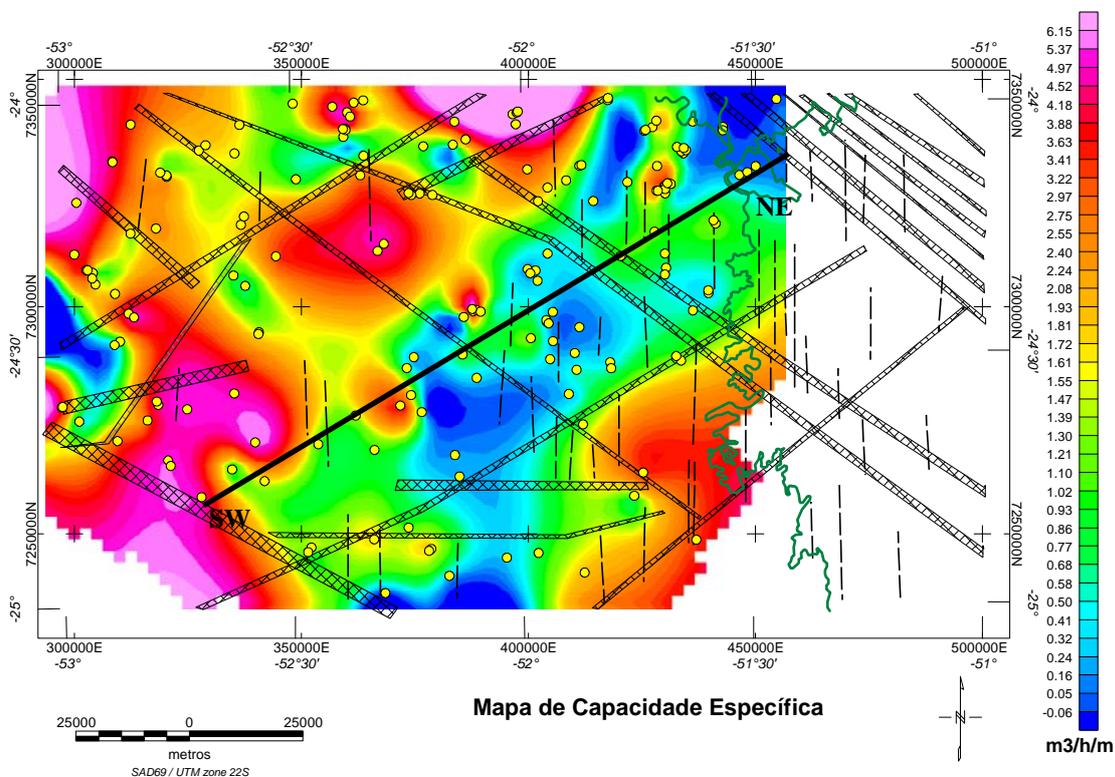


Figura 65 - Mapa de capacidade específica indicando a localização do perfil SW-NE em preto. Poços do SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

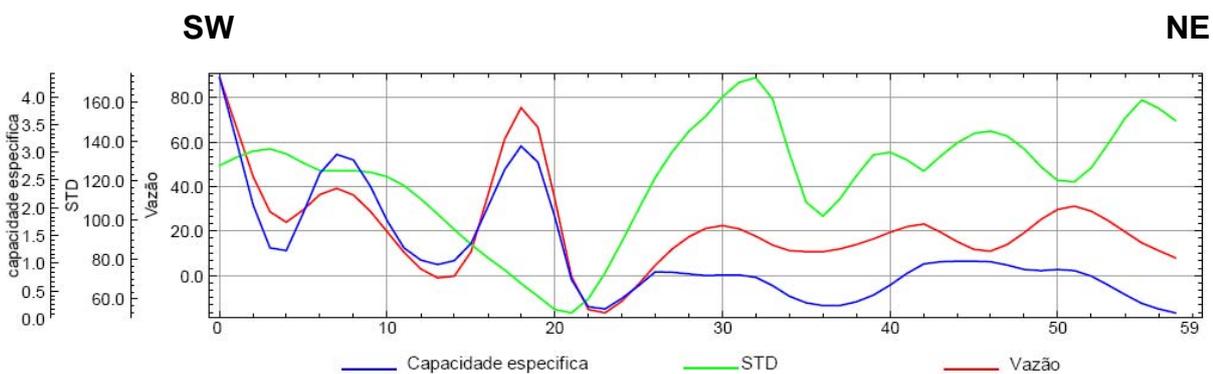


Figura 66: Perfil de direção SW-NE indicando as relações entre capacidade específica, vazão e STD.

6.1.2 VARIÁVEIS HIDROQUÍMICAS

Da mesma forma que no item anterior, os principais parâmetros hidroquímicos analisados neste estudo foram divididos em subitens. A seguir mostra-se uma tabela síntese destes parâmetros e, em cada subitem, poderá ser encontrada uma breve descrição do método, da apresentação dos resultados obtidos e dos mapas correspondentes.

Também foram realizados, após o balanço iônico (DBI), diagramas de Piper, os quais são mostrados na seqüência do texto.

Tabela 3: Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos de interesse das águas subterrâneas da área do estudo.

<i>Estatísticas</i>	pH	STD
<i>n° de amostras</i>	171	152
<i>mínimo</i>	5,8	9
<i>máximo</i>	10,04	399
<i>média</i>	7,72	136,64
<i>desvio padrão</i>	0,80	66,27

<i>Estatísticas</i>	<i>Elementos Maiores (mg/L)</i>						
	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	K⁺	HCO₃⁻ + CO₃²⁻	Cl⁻	SO₄²⁻
<i>n° de amostras</i>	170	168	96	94	164	108	54
<i>mínimo</i>	0,32	0,01	0,28	0,10	1,7	0,1	0,2
<i>máximo</i>	119,28	29,67	75,00	2,95	233	36	60
<i>média</i>	14,92	4,27	16,64	0,72	61,86	3,12	5,71
<i>desvio padrão</i>	12,25	4,36	18,94	0,48	43,08	4,87	10,30

Os dados químicos analisados revelam comportamento semelhante àquele descrito por outros autores (Fraga, 1986; Rosa Filho *et al.*, 1987; Bittencourt *et al.*, 2003; Portela Filho, 2003), porém as médias observadas são maiores do que os valores esperados para o SASG.

Cabe salientar que alguns altos valores de determinados compostos sugerem contaminação antrópica nestas águas, por exemplo, contaminações provenientes de nitratos, acima de 5mg/L, foram observadas nos poços SA19 e SA33, localizados nos

municípios de Barbosa Ferraz e Pitanga, respectivamente. Estas informações serão consideradas na interpretação das zonas de conectividade dos aquíferos.

6.1.2.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O pH (potencial hidrogeniônico) varia de 0 a 14, constituindo um parâmetro da acidez ou alcalinidade de uma solução. Valores abaixo de 7,0 são considerados ácidos e acima alcalinos. Em geral, o pH das águas subterrâneas varia de 5,5 a 8,3. As águas com pH maior do que 7,0 são mais leves ao paladar.

O mapa do potencial hidrogeniônico (Figura 67), gerado a partir dos dados dos 171 poços, mostra que os valores alcalinos, em vermelho, apresentam tendências, principalmente na porção nordeste, próximas da cidade de Jardim Alegre, e também no segmento sudoeste, contíguo ao Lineamento do Rio Piquiri, denotando um possível controle estrutural. Porém há outros fatores, inclusive construtivos que podem influenciar estes valores.

Dados apresentados por Buchmann Filho (2002) e Portela Filho (2003) mostram valores médios de pH de 7,32 para a bacia do rio Piquiri; 7,52 para a bacia do rio Ivaí e de 7,40, respectivamente. Neste estudo o valor médio de pH foi de 7,72, portanto próximo dos anteriores. Apenas para a área onde ocorrem sedimentos do Grupo Caiuá os índices são menores, fato que pode ser observado tanto no mapa da Figura 65 como no trabalho de Bettú (2004). Ainda ocorrem valores ácidos junto ao poço SA33, localizado no município de Pitanga, cujos teores de nitrato são muito elevados, indicativos de contaminação antrópica, o que pode ter alterado o pH.

O pH será interpretado juntamente com outros parâmetros para a definição de áreas de conectividade dos aquíferos, podendo ou não ser relevante para tal fim, sobretudo na ausência de dados hidroquímicos devidamente balanceados (Portela Filho, 2003). Atenção especial deve ser dada às interpretações realizadas com base neste parâmetro, uma vez que o pH é passível de variação em função da temperatura, pressão e do tempo decorrido entre a coleta das amostras e as análises laboratoriais.

Para o SASG, os valores alcalinos de pH podem ser atribuídos à águas subterrâneas com influência do SAG sotoposto se associados com sua tipologia química, pois com o aumento da alcalinidade nos valores de pH há um desequilíbrio do CO_3^{2+} ocasionando a depleção de Ca^{2+} , tendo como uma de suas conseqüências o aumento do sódio. Índices superiores a 7,5 foram observados na porção NE e SW da área associados a Zona de Falha

Cândido de Abreu – Campo Mourão e ao Lineamento do Rio Piquiri, respectivamente. Cabe salientar que águas raras, com menor circulação, provenientes dos basaltos, presença de calcita, e outros fatores, podem apresentar variações no pH.

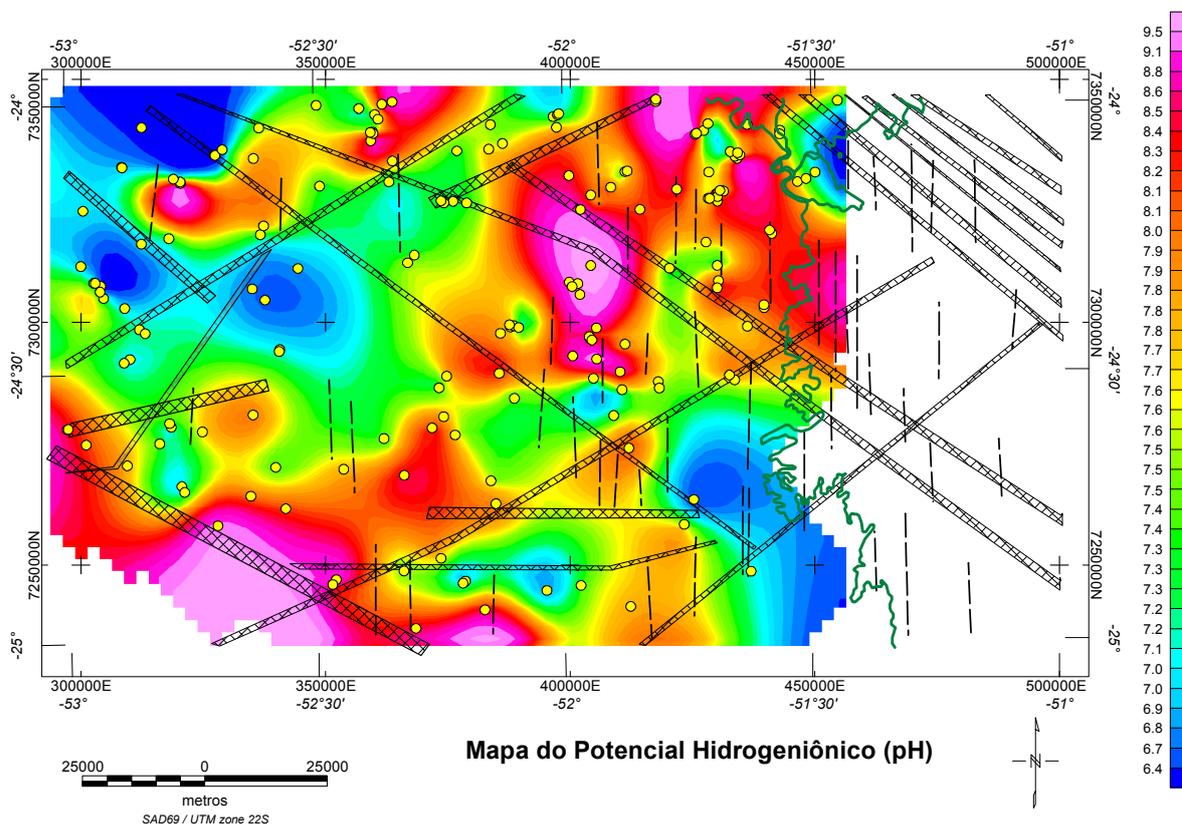


Figura 67 - Mapa do potencial hidrogeniônico (pH). Poços SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

6.1.2.2 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)

Os sólidos totais dissolvidos são determinados em laboratório, a partir de material residual seco. As faixas de temperatura são fixadas entre 100°-110° ou 180°. No presente estudo o banco de dados não se refere às temperaturas de ensaio. Desta forma optou-se por utilizar todos os registros de STD.

O mapa de contorno dos sólidos totais dissolvidos (Figura 68) exhibe claramente áreas de maior concentração, na porção nordeste da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão e nas proximidades do Lineamento do Rio Piquiri. Altos valores de STD caracterizam águas com maior tempo de residência no aquífero, mas também podem estar

entremeados com águas provenientes de outros reservatórios. Observou-se que as maiores concentrações de STD localizam-se nas proximidades de estruturas importantes da área, principalmente na porção leste. Nestes locais, devido à circulação restrita e/ou contribuição do SAG, os valores de STD são elevados e, por acumulação, reduzem os espaços dos condutos de água, principalmente quando bombeados. Altos valores de STD denotam águas com maior tempo de residência no aquífero, mas também mistura com águas provenientes de outros reservatórios.

Na área de estudo, em 152 amostras, os teores de STD refletem águas de boa qualidade para o consumo humano (BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986), com teor médio de 136,64 mg/L. Para as bacias dos rios Piquiri e Ivaí, as médias observadas por Buchmann Filho (2002), foram de 103,27 mg/L e 146,39 mg/L, respectivamente. Portela Filho (2003) encontrou valor médio de 161,01 mg/L.

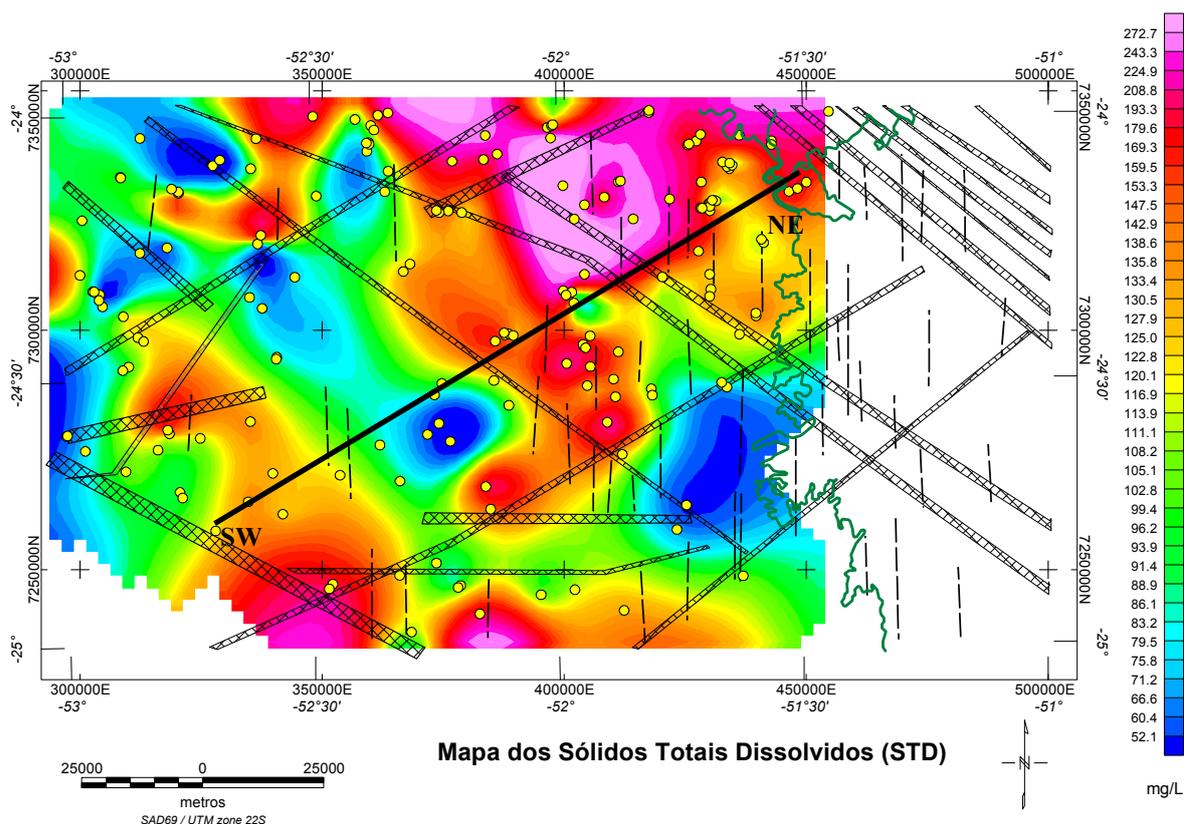


Figura 68 - Mapa de sólidos totais dissolvidos (STD). Poços SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

6.1.2.3 TIPOLOGIA DAS ÁGUAS

As análises hidroquímicas que indicaram erros de balanço iônico (DBI) inferiores a 11% foram manipuladas através de dois procedimentos distintos, cujos boletins podem ser remetidos ao Anexo II – Tabela de Poços com Balanço Iônico.

O primeiro procedimento consistiu na classificação da tipologia química das águas através de diagramas de Piper (e.g. Fraga 1992; Bittencourt *et al.* 2003; Portela Filho 2003). Estes autores diferenciam, através do quimismo, as águas típicas do SASG daquelas resultantes de mistura de águas de outros aquíferos (conexão ao SAG) e/ou com maior tempo de residência no aquífero. Com base no banco de dados foram definidos os valores máximos, mínimos e médios dos elementos, para cada tipo de água classificada pelo diagrama de Piper. Estes resultados estatísticos podem ser verificados na Tabela 3 e a tipologia das águas é descrita a seguir.

Através da análise do diagrama de Piper (Figura 69) confeccionado a partir das 96 amostras com DBI considerado satisfatório, as águas predominantes observadas são de composição *bicarbonatada cálcica*, seguidas por águas *bicarbonatadas cálcio magnesianas*, *cálcio sódicas* e *bicarbonatadas sódicas*.

Perfazendo aproximadamente 69% das amostras analisadas, as águas *bicarbonatadas cálcicas* caracterizam-se por apresentar teor médio em cálcio de 15mg/L, valores de pH próximos da neutralidade e média de sólidos totais dissolvidos de 111 mg/L. Estas águas são consideradas como típicas do SASG (Bittencourt *et al.* 2003) ou zona livre do SAG (Silva, 1983).

As águas *bicarbonatadas cálcio magnesianas* (17%), se caracterizam por teor médio de magnésio mais elevado (5,92 mg/L), valores de pH em torno de 7,3 e média de sólidos totais dissolvidos de 127,8 mg/L. Para Bittencourt *et al.* (2003), teores maiores de magnésio podem se relacionar perfeitamente com o SASG e para Silva (1983) caracterizam zonas de conectividade SAG/SASG.

Nas águas *bicarbonatadas cálcio sódicas* (10%), o pH gira em torno 7,57 e os sólidos totais dissolvidos denotam média de 145 mg/L. Pelos valores médios de sódio de 13,2 mg/L, estas águas indicam alguma mistura composicional entre aquíferos ou mesmo maior tempo de residência.

As águas *bicarbonatadas sódicas*, características de zonas francamente confinadas do SAG (e.g. Silva, 1983; Hirata e Sracek, 2002), representam 6% do universo de amostras

e estão associadas a teores elevados de sódio (59 mg/L), pH médio de 9,1 e sólidos totais dissolvidos com valor médio de 245 mg/L.

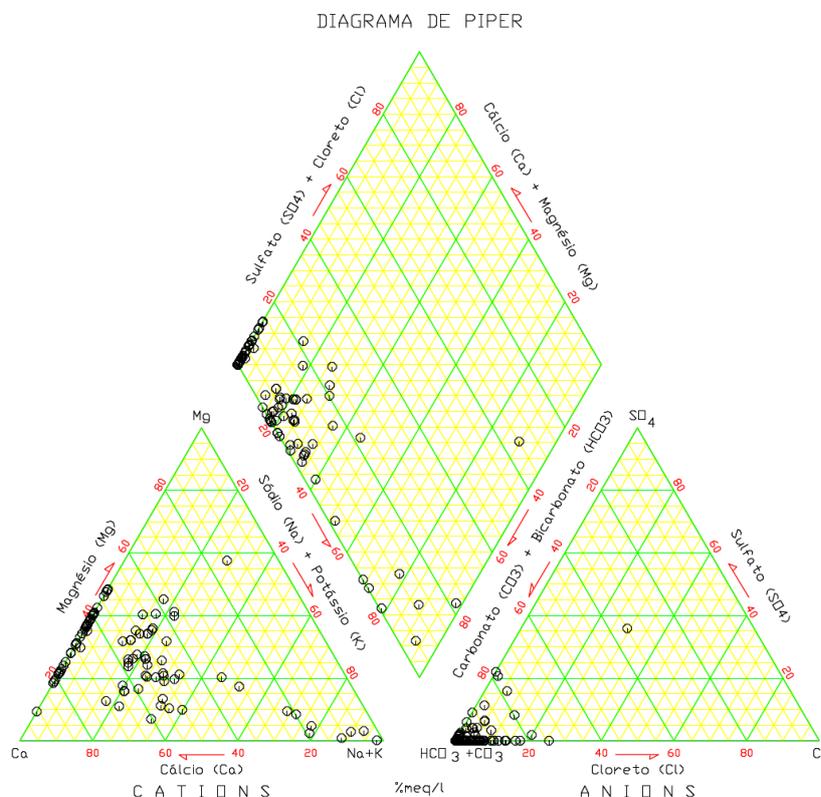


Figura 69 - Diagrama de Piper mostrando a composição das águas das amostras analisadas do SASG.

Também através do diagrama dos íons majoritários (Figura 70) as fácies hidrogeoquímicas características da Formação Serra Geral (Fraga, 1992), foram divididas nos seguintes grupos:

- ✓ Grupo (I) de águas bicarbonatadas cálcicas ($\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$): esta fácies é a que melhor representa as características do SASG;
- ✓ Grupo (II) de águas bicarbonatadas sódicas ($\text{HCO}_3^- \text{Na}^+$): esta fácies apresenta composição distinta dos derrames de lavas básicas da Bacia do Paraná e parece estar relacionada às do SAG, devendo representar áreas onde existe conexão hidráulica dos sistemas;
- ✓ Grupo (III) de águas bicarbonatadas cálcio magnesianas ($\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+} \text{Mg}^{2+}$): representa uma fácies do SASG com maior concentração de sais, característica de áreas com elevado grau de confinamento e distantes das zonas de recarga.

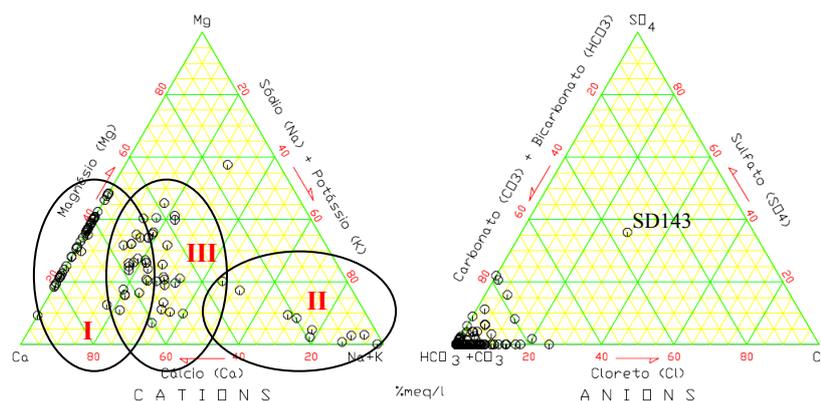


Figura 70 - Diagrama dos íons majoritários mostrando a classificação de Fraga (1992), para as amostras avaliadas neste estudo.

As comparações químicas dos campos II e III mostram águas de composição associada a áreas com alto grau de confinamento e/ou onde existe conexão hidráulica entre sistemas aquíferos. Tais amostras (SA36 a 38, 42, 50, 53, 60, 90; SD143 e B176) estão localizadas na porção NE da área, ao norte do Alinhamento Roncador, junto à Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão. Apenas o poço SA16 localiza-se próximo ao Lineamento do Rio Piquiri.

No poço SD143 foi observada uma variação dos ânions, sugere-se que devido aos índices altos de turbidez, cloretos e sódio há evidências de contaminação de suas águas.

Observação também importante deriva dos poços perfurados no extremo noroeste da área, os quais estão próximos do contato com o Grupo Caiuá. Em três poços inseridos neste contexto, foi constatado que a razão Na^+/K^+ assume valores menores que um, caracterizando a influência de litotipos do Grupo Caiuá (sistema aquífero sobrejacente), de acordo com Bittencourt (1978 e 1983). São eles: B152, B156 e B174.

O mapa da Figura 71 e a tabela 4 mostram uma interpretação da composição dos poços, de acordo com a classificação da tipologia química para poços ionicamente balanceados e valores de pH e STD para os demais poços, associando-os como componentes do SASG e/ou como indicativos de conectividade entre o SASG e SAG, sem levar em consideração que estes poços não se encontram localizados em áreas típicas de confinamento de águas do SAG dentro do estado do Paraná e supondo-se que a composição das águas características do SAG seja da áreas de confinamento deste aquífero.

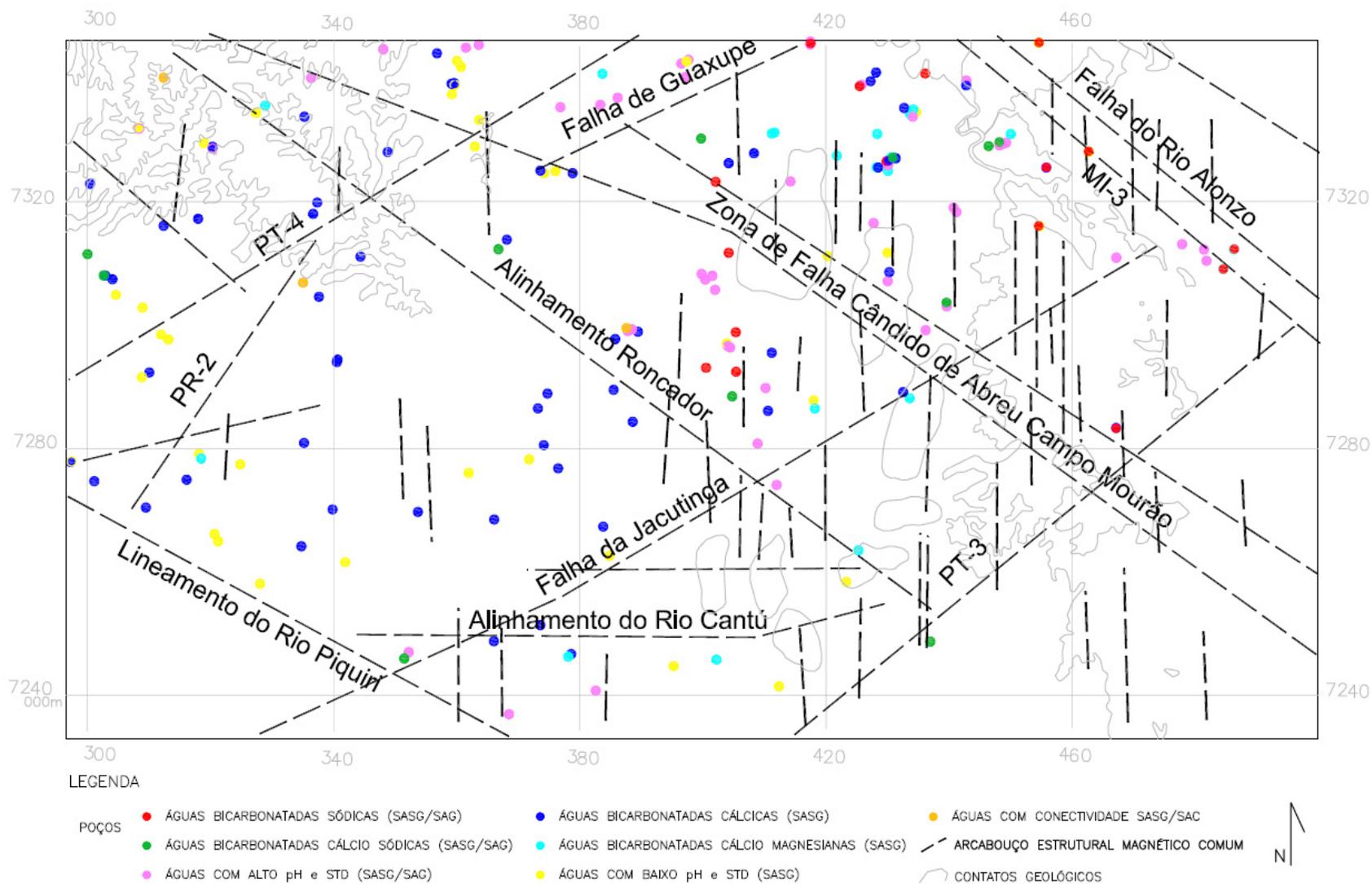


Figura 71 – Mapa da tipologia química das águas dos poços.

Tabela 4 – Interpretação dos principais parâmetros de classificação das águas. Em azul águas típicas do SASG. Em amarelo poços balanceados ionicamente (diagramas de Piper); em rosa valores elevados de pH (>7,5) e de STD (>150 mg/L) e em verde e laranja razões Na+K/Ca<=10 e Na/K<1.

Cód.	Aquífero	PIPER/pH e STD	Classe	pH	STD	Na+K/Ca	Na/K
SA1	SASG	alto STD	III	7,5	214		
SA2	SASG	alto pH		7,8	121	0,57	11,00
SA3	SASG	alto pH		9,1	69	13,98	235,71
SA4	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,3	94	0,44	3,09
SA5	SASG/SAG	alto pH	III	7,5	193	0,99	25,00
SA6	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,2	91		
SA7	SASG/SAG	alto pH e STD	III	8,7	230		
SA8	SASG	baixo pH e STD		7,1	87		
SA9	SASG/SAG	alto pH e STD	III	9,11	195		
SA11	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7	90		
SA12	SASG	baixo pH e STD		6,1	20		
SA13	SASG	bicarbonatada cálcica	I	6,9	90		
SA14	SASG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal75% sod25%	II	6,8	90	0,52	10,09
SA15	SASG/SAG	alto pH e STD	III	9,1	185		
SA16	SASG/SAG	bicarbonatada calcico sódica bicarb 98% sulf 02% cal50% sod50%	III	8,28	211	0,20	74,25
SA17	SASG/SAG	alto STD	III	7,2	181		
SA18	SASG	baixo pH e STD		7,4	20		
SA19	SASG/SAG	alto STD	III	6,6	197,8		
SA20	SASG/SAG	alto pH e STD	III	7,8	306		
SA21	SASG	baixo pH e STD		7,3	118	0,36	8,00
SA22	SASG/SAG	alto STD		7,3	178		
SA23	SASG/SAG	alto pH		8,4	60		
SA24	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,3	101		
SA25	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	120	0,03	
SA26	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,5	198		
SA27	SASG/SAG	alto pH e STD	III	7,9	157	0,49	18,20
SA28	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	166		
SA29	SASG/SAG	alto pH e STD	III	7,6	153	0,68	70,00
SA30	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7	128		
SA31	SASG/SAG	alto pH	III	8,1	146	0,66	15,87
SA32	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	96	0,34	1,56
SA33	SASG	bicarbonatada calcio magnesiana bicarb 97% sulf 03% cal88% sod12%	II	6,47	47	0,30	2,00
SA34	SASG/SAG	bicarbonatada calcio magnesiana bicarb 97% sulf 03% cal88% sod12%	II	7,6	65	0,52	
SA35	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8	95		
SA36	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 100% sulf 0% cal22% sod78%	III	9,49	183	4,72	150,33
SA37	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 100% sulf 0% cal22% sod78%	III	8,92	213	3,66	55,75
SA38	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 100% sulf 0% cal22% sod78%	III	8,9	138	4,21	38,00
SA39	SASG/SAG	alto pH	III	8,1			

Cód.	Aquífero	PIPER/pH e STD	Classe	pH	STD	Na+K/Ca	Na/K
SA40	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		6,7	151		
SA41	SASG/SAG	<i>alto pH e STD</i>	III	9	234	51,00	220,00
SA42	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 80% sulf 20% cal02% sod98%	III	10,04	272	65,75	742,00
SA43	SASG/SAG	<i>alto pH</i>	III	9,26		65,89	196,67
SA44	SASG/SAG	<i>alto pH</i>	III	9,5	93		
SA45	SASG/SAG	<i>alto pH e STD</i>	III	8	224	0,72	20,00
SA48	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	6,6	197		
SA49	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,4	161		
SA50	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 90% sulf 10% cal20% sod80%	III	8,41	192	5,17	66,20
SA51	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8,3	137		
SA52	SASG/SAG	<i>alto pH</i>	III	8,3	114		
SA53	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 90% sulf 10% cal10% sod90%	III	9,3	260	9,24	47,96
SA54	SASG/SAG	<i>alto pH e STD</i>	III	8,6	258		
SA56	SASG/SAG	bicarbonatada calcio sódica bicarb 100% sulf 0% cal75% sod25%	III	7,9	95	0,51	14,48
SA57	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	112		
SA58	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnésiana bicarb 80% sulf 20% cal70% sod30%	II	8,4	149	0,68	
SA59	SASG/SAG	bicarbonatada calcio sódica bicarb 100% sulf 0% cal75% sod25%	III	7,58	150	0,61	21,63
SA60	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 95% sulf 05% cal07% sod93%	III	9	227	28,20	171,00
SA61	SASG/SAG	<i>alto pH e STD</i>	III	8,2	284	0,99	69,11
SA62	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,2	52		3,33
SA63	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7	70	0,42	
SA64	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	104		
SA65	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		6,8	94		5,89
SA66	SASG	bicarbonatada cálcio magnésiana bicarb 90% sulf 10% cal75% sod25%	II	6,95	110	0,29	
SA67	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,4	109	0,47	
SA68	SASG/SAG	<i>alto pH e STD</i>	III	9,35	160		472,70
SA69	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,2	54	148,03	
SA70	SASG	bicarbonatada cálcica	I	6	37		6,00
SA71	SASG/SAG	<i>alto pH</i>		8,64	94	0,46	
SA72	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		7,4			
SA73	SASG	bicarbonatada cálcica	I	6,8	100		2,78
SA74	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		7	120	0,76	17,90
SA75	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		7,31	82	0,80	
SA76	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8	138		6,24
SA77	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,4		0,33	
SA78	SASG	bicarbonatada cálcica	I	6,6	70		2,74
SA79	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,1	89	0,41	1,17
SA80	SASG	bicarbonatada cálcica	I	6,8	79	0,57	
SA85	SASG/SAG	bicarbonatada calcio sódica bicarb 100% sulf 0% cal75% sod25%	III	7,11	187		10,07
SA88	SASG/SAG	<i>alto pH</i>		9,4		0,50	
SA89	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,3	120		20,14
SA90	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 78% sulf 22% cal55% sod45%	III	7,83	109	0,38	25,13
SA91	SASG	bicarbonatada cálcica	I	6,67	54	0,21	

Cód.	Aquífero	PIPER/pH e STD	Classe	pH	STD	Na+K/Ca	Na/K
SA92	SASG/SAG	alto pH		7,8	133		
SA93	SASG	baixo pH e STD		7,3	123		13,04
SA94	SASG/SAG	alto pH e STD	III	9,35	154	0,74	57,97
SA95	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	II	7,3	73	23,28	3,65
SA96	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,3	180	0,58	
SA97	SASG/SAG	alto pH		7,8	119		6,67
SD98	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,86		0,71	
SD99	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,2	85		
SD100	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	30		
SD101	SASG	baixo pH e STD		7,3			9,00
SD102	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,6	16	0,35	
SD103	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8,36			
SD104	SASG/SAG	alto pH e STD	III	8,5	196		
SD105	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,4			
SD106	SASG/SAG	alto pH e STD	III	8,4	112		52,50
SD107	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8		2,55	
SD108	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8,2			
SD109	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8,7	9		
SD110	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8,5	92		
SD111	SASG/SAG	alto pH e STD	III	7,8	185		
SD112	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,3			
SD113	SASG/SAG	alto pH		7,9			
SD114	SASG	baixo pH e STD		7,12	123,9		
SD115	SASG/SAG	alto pH e STD	III	7,7	179		4,14
SD116	SASG	baixo pH e STD		6,89		0,39	
SD117	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,1	84		
SD118	SASG/SAG	alto pH	III	8,2	121		
SD119	SASG/SAG	alto pH		8,2	49,6		5,53
SD120	SASG	baixo pH e STD		7,7		0,20	4,17
SD121	SASG	baixo pH e STD		5,8	42	0,54	
SD122	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 100% sulf 0% cal75% sod25%	III	8,2	135		11,70
SD123	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	6,9	169	0,64	
SD124	SASG/SAG	alto pH	III	9,5	93		
SD125	SASG/SAG	alto pH e STD	III	9,26	216		196,67
SD127	SASG/SAG	alto pH	III	8,9		65,89	
SD128	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,2		0,69	
SD129	SASG/SAG	alto STD	III	7,4	223		
SD130	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,6			
SD133	SASG	baixo pH e STD		7,2		1,97	8,33
SD135	SASG/SAG	alto pH	III	8,5	132	0,23	
SD136	SASG/SAG	alto pH	III	8,4	112		
SD137	SASG/SAG	alto pH e STD	III	8,4	163		54,04
SD138	SASG/SAG	alto pH e STD	III	9,2	158		9,36
SD139	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,5	202	4,95	
SD140	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	112	0,13	
SD141	SASG/SAG	alto pH e STD	III	7,8	156		

Cód.	Aquífero	PIPER/pH e STD	Clas se	pH	STD	Na+K/Ca	Na/K
SD142	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,5	191		
SD143	SASG/SAG	bicarbonatada sódica bicarb 35% sulf 65% cal10% sod90%	III	9,1	399		375,00
SD144	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	II	7,2	226		18,57
SD145	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8,2	185	13,85	
B146	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,2	52	0,38	3,33
B147	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		7,2	94		5,07
B148	SASG/SAG	<i>alto pH</i>		7,7	113	0,42	14,60
B149	SASG/SAG	<i>alto STD</i>		7,4	174	0,38	10,20
B150	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 98% sulf 02% cal60% sod40%	III	6,9	117	0,61	18,18
B151	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		7,15	105	0,12	13,75
B152	SASG/SAC	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 92% sulf 08% cal65% sod35%	III	6,2	69	0,14	0,49
B153	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		7	120	0,74	17,90
B154	SASG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 80% sulf 20% cal80% sod20%	II	6	37	1,16	6,00
B155	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,1	83	0,80	1,91
B156	SASG/SAC	bicarbonatada cálcica	I	6,7	86	0,46	0,52
B157	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	7,8	187	0,55	1,44
B158	SASG/SAG	bicarbonatada cálcica	I	8	138	0,63	6,24
B159	SASG/SAG	<i>alto pH</i>		8,2	125	0,55	18,15
B160	SASG/SAG	<i>alto pH</i>		8,1	107	0,33	126,67
B161	SASG/SAG	<i>alto STD</i>	III	7,5	156	0,65	18,64
B162	SASG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal75% sod25%	II	7	23	3,51	1,43
B163	SASG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 100% sulf 0% cal80% sod20%	II	7,4	115	1,15	7,63
B164	SASG	<i>baixo pH e STD</i>		6,8	101	0,77	3,00
B165	SASG/SAG	<i>alto pH</i>		8	149	0,37	21,74
B166	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	II	7,5	267	0,29	48,00
B167	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 100% sulf 0% cal75% sod25%	III	8,4	337	0,43	60,56
B168	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,3	118	0,52	8,00
B169	SASG/SAG	<i>alto pH e STD</i>	III	7,3	210	2,29	36,23
B170	SASG	bicarbonatada cálcica	I	7,5	50	0,36	4,44
B171	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 98% sulf 02% cal65% sod35%	III	7,55	134	0,13	24,44
B172	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 100% sulf 0% cal75% sod25%	III	7,9	178	0,74	15,77
B173	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	II	7,05	160	0,70	4,35
B174	SASG/SAC	bicarbonatada cálcica	I	7,95	157	0,71	0,55
B175	SASG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	III	7,3	73	0,38	3,65
B176	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 80% sulf 20% cal22% sod78%	II	8,5	215	0,04	48,00
B177	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	II	7,6	178	0,58	23,33
B178	SASG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 80% sulf 20% cal82% sod18%	II	7,45	93	0,66	2,71
B179	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio magnesiana bicarb 90% sulf 10% cal80% sod20%	II	7,8	252	0,06	30,00
B180	SASG/SAG	<i>alto pH</i>	III	7,6	115	0,37	52,83

Cód.	Aquífero	PIPER/pH e STD	Clas se	pH	STD	Na+K/Ca	Na/K
B181	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 97% sulf 03% cal68% sod32%	III	7,3	126	0,47	27,65
B182	SASG	bicarbonatada calcio magnesiana bicarb 72% sulf 28% cal72% sod28%	II	6,9	147	1,79	6,66
B183	SASG/SAG	bicarbonatada cálcio sódica bicarb 82% sulf 18% cal63% sod37%	III	7,1	102	0,80	12,52
B184	SASG/SAG	alto pH e STD	III	9,45	216	0,66	
B185	SASG	baixo pH e STD		7,3	123	0,79	

6.1.2.4 ÍONS MAJORITÁRIOS (CÁTIONS E ÂNIONS)

O segundo procedimento consistiu na espacialização das variáveis hidroquímicas através de mapas de isovalores georreferenciados, no intuito de relacioná-los à trama estrutural-magnética proposta.

Para cada elemento químico, ou combinações deles, com valores relevantes no banco de dados, foram elaborados mapas de isovalores, os quais são mostrados em conjunto na Figura 72, no sentido de avaliar suas distribuições espaciais em correspondência ao arcabouço estrutural-magnético. São eles:

Carbonato + Bicarbonato

O bicarbonato, assim como o carbonato, são ânions provenientes da dissolução do dióxido de carbono atmosférico presente nos solos, combinado com a água (Custódio, 1983).

Na área de estudo o valor médio de bicarbonato + carbonato é de 61,86 mg/L. Fraga (1986) determinou em seu estudo valores médios destes elementos de 74,15 mg/L para a bacia do rio Piquiri e de 80,21 mg/L para a bacia do rio Ivaí. Já Buchmann Filho (2002) observou médias de 48,95 mg/L e 79,64 mg/L para as respectivas bacias. O mapa correspondente mostra uma concentração de altos valores na porção central e NE da área.

Segundo Bittencourt *et al.* (2003) águas com teores mais baixos de bicarbonato são aquelas encontradas em áreas de recarga mais recente de águas nos aquíferos. Na área de estudo maiores teores de carbonato + bicarbonato foram observados na porção central e NE, de acordo com esta afirmativa, estes locais devem possuir águas mais antigas, e, portanto, com maior tempo de confinamento.

Cálcio

O teor de cálcio das águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg/L. As principais fontes de cálcio são minerais formadores de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Para Silva (1983), o cálcio deve ser proveniente das águas de chuva e/ou da dissolução de plagioclásios, alguns minerais ferro magnesianos e minerais secundários dos basaltos, como a calcita. A maior parte deste cálcio ocorre na forma de bicarbonato e sua solubilidade é função da quantidade de gás carbônico dissolvido.

O teor médio obtido é de 14,92 mg/L. Fraga 1986 (9,72 mg/L e 12, 19 mg/L) e Buchmann Filho 2002 (9,78 mg/L e 13,49 mg/L) obtiveram valores similares para as bacias hidrográficas do Piquiri e Ivaí.

O mapa dos teores de cálcio mostra uma tendência a maiores valores na porção central e NE da área.

Magnésio

O magnésio exibe comportamento geoquímico muito semelhante ao do cálcio, e, em linhas gerais, acompanha este elemento. Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1 e 40 mg/L. Silva (1983) considera o magnésio oriundo das águas de chuva e possivelmente da dissolução dos piroxênios dos basaltos.

O teor médio neste trabalho é de 4,27 mg/L, ligeiramente superior ao definido por Fraga (1986) para as bacias dos rios Piquiri (2,13 mg/L) e Ivaí (3,34 mg/L) e Buchmann Filho (2002) (2,42 mg/L e 4,11 mg/L, respectivamente).

O mapa dos teores de magnésio mostra uma tendência de altos valores na porção central e NE da área, comprovando a associação da ocorrência deste elemento junto ao cálcio, já descrita anteriormente.

Ferro Total

É um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas, com teores abaixo de 0,3 mg/L. Suas fontes são minerais escuros (máficos) portadores de ferro e apresenta-se quase sempre acompanhado pelo manganês.

Alguns poços apresentam valores de $Fe > 0,3$ mg/L: SA 19, 50, 53, 61, 73, 85, 94 e SD 100, 137, 138, 145. O mapa do ferro mostra concentrações na porção centronorte e

oeste da área. Também, estes altos valores podem ser relacionados a dados de turbidez <5 (impróprios), quando a água rica em Fe entra em contato com o oxigênio do ar, aumentando, desta forma, a turbidez. Ainda, poços antigos e mal desenvolvidos podem também apontar ferro alto.

Fluoreto

O fluoreto geralmente é encontrado em pequena quantidade nas águas subterrâneas. Anteriormente, as concentrações anômalas de flúor eram relacionadas às águas alcalinas do SAG sob condições de grande confinamento (Fraga 1992). Hoje acredita-se que as concentrações possam ser associadas a mobilizações de soluções, porém, a questão da fonte do flúor é ainda muito discutida e não será aprofundada neste estudo. Ainda existem poços que são proibitivos em função dos altos teores (*e.g.* Londrina-PR).

Os valores mínimos e máximos para 41 amostras onde foram analisados fluoretos são de 0,04 a 10,8 mg/L, respectivamente. Como mostra o mapa desta variável, valores anômalos foram verificados junto à Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão, sendo o valor de 10,8 relativo a análise do poço SA42.

Cloreto

O cloro está presente nas águas subterrâneas com teores inferiores a 100 mg/L. Forma compostos muito solúveis e tende a se enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga. Para Silva (1983), sua origem reside na precipitação meteórica e/ou dissolução de micas (sericita e biotita), presentes em pequena quantidade nas formações Botucatu e Pirambóia, bem como nas cloritas e minerais secundários de alteração dos basaltos.

O teor médio é de 3,12 mg/L, praticamente o mesmo definido por Fraga (1986) para as bacias dos rios Piquiri (4,51 mg/L) e Ivaí (3,06 mg/L) e Buchmann (2002) (1,39 mg/L e 2,43 mg/L, respectivamente).

O mapa dos teores de cloreto apresenta altas concentrações na porção centro-nordeste da área, a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão, próximo ao município de Jardim Alegre, onde já existem poços perfurados no SASG com contribuições de águas do SAG.

Sódio + Potássio

O sódio é um metal alcalino, bastante análogo quimicamente ao potássio, quase sempre presente nas águas subterrâneas. Dentre as principais fontes de sódio, encontram-se os feldspatos, os feldspatóides e outros silicatos. Para Silva (1983), os feldspatos constituem a principal fonte de sódio juntamente com o solo. Segundo Bittencourt (1996), águas de fontes termais da Bacia do Paraná, em equilíbrio com argila caulínica, com albita e minerais micáceos, são influenciadas por estes no controle dos teores de sódio, especialmente em condições de confinamento hídrico.

O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas. Nelas o teor médio é inferior a 10 mg/L, sendo mais frequentes valores entre 1 e 5 mg/L.

Na área de estudo os valores médios de sódio e potássio são de 16,64 mg/L e 0,72 mg/L, respectivamente. O mapa deste elemento mostra uma concentração de altos valores nas porções nordeste e sudoeste da área.

Sulfato

O sulfato da água subterrânea deriva principalmente da gipsita ou anidrita. É bastante móvel e pode ocorrer pela dissolução de sulfetos presentes em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. De acordo com o DAEE (1976), algumas anomalias com teores superiores a 50 mg/L alinham-se em direções preferenciais podendo ser provenientes do SAG profundo, cuja ascensão se dá essencialmente pelas fraturas.

O teor médio obtido neste trabalho é de 5,71 mg/L, bem mais elevado que os definidos por Fraga (1986) para as bacias dos rios Piquiri (1,32 mg/L) e Ivaí (1,82 mg/L) e Buchmann (2002) (2,47 mg/L e 3,84 mg/L, respectivamente).

A média elevada se deve aos valores anômalos observados nos poços próximos a porção a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão, onde já existem poços perfurados no SASG com suspeita de contribuições de águas do SAG, devido a presença do sulfato na composição das águas dos poços perfurados na Formação Serra Geral, de acordo com o trabalho de Bittencourt *et al.* (2003) que atribui os teores mais elevados deste elemento a contaminações de águas oriundas de aquíferos subjacentes.

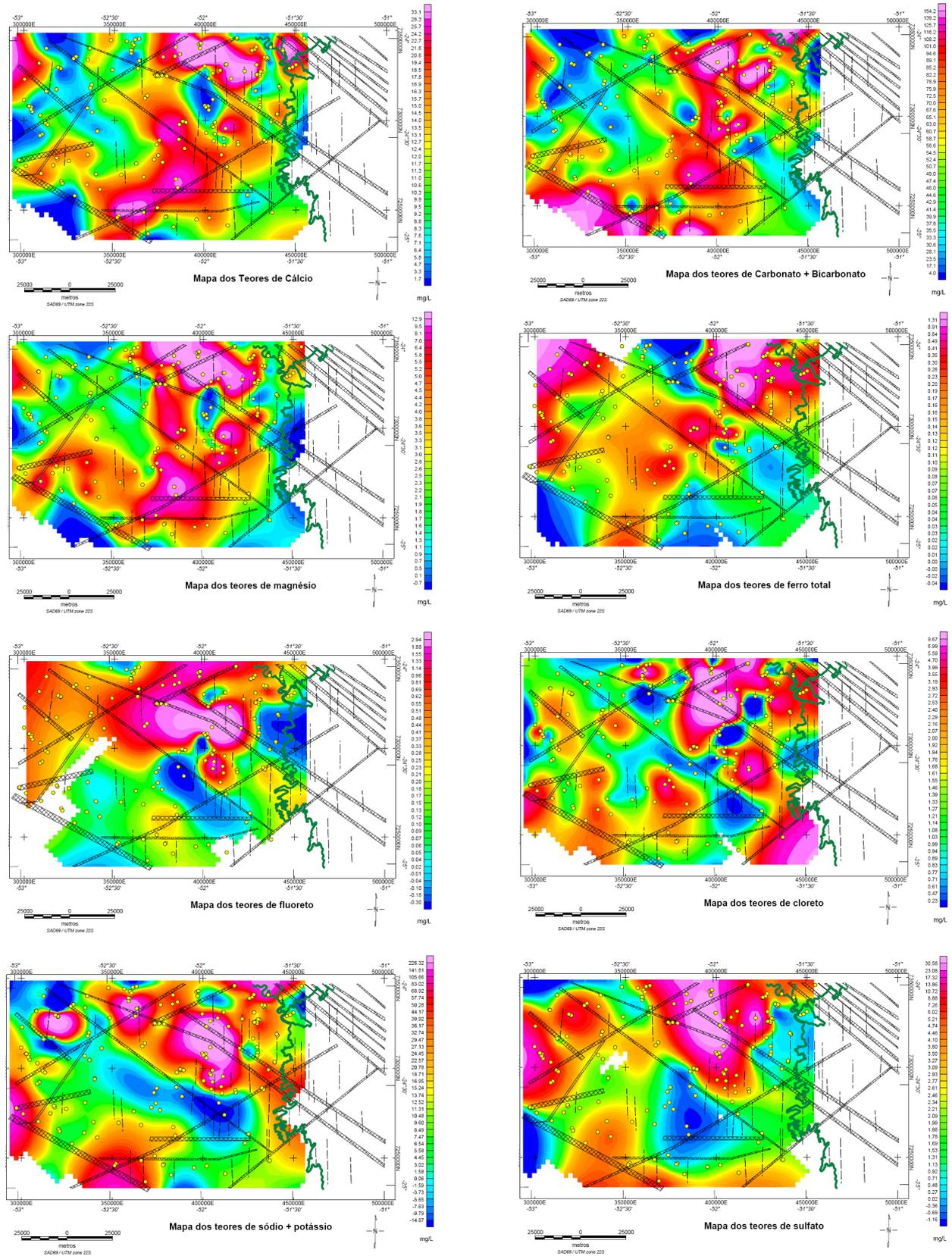


Figura 72 - Mapa dos íons majoritários. Poços SASG em amarelo, limite da Formação Serra Geral em verde e arcabouço estrutural-magnético em preto.

7 DISCUSSÃO

A caracterização estrutural da área foi baseada em dados oriundos de autores consagrados na literatura da Bacia do Paraná e através dos produtos obtidos neste trabalho, onde foi possível refinar o arcabouço estrutural, inclusive com a proposição de novos lineamentos.

A evolução dos estudos sobre as estruturas, incluindo sua influência na circulação e no armazenamento das águas nos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no estado do Paraná, desenvolvida recentemente por Portela Filho *et al.* (2002), Strugale (2002), Strugale *et al.* (2002) e Portela Filho (2003), permitiu definir que a região central do arco de Ponta Grossa, no sentido de Ferreira 1982(a,b), caracterizada por intensos falhamentos e intrusões de diques de diabásio, é a principal feição tectônica condicionante do fluxo e do quimismo das águas em ambos os sistemas, denotando um comportamento específico no estado do Paraná.

Como decorrência deste comportamento, nota-se que o SAG é localmente descontínuo e não raramente encontra-se em contato lateral com as formações Rio do Rastro e Serra Geral. Destaca-se ainda que a pressão hidráulica dos pacotes superior (Formação Serra Geral - SASG) e inferior (Formações Botucatu/Pirambóia - SAG) provoca, em quase todos os casos, fluxo ascendente, sendo raras as surgências (fontes naturais), de acordo com o modelo proposto por Fernandes *et al.* (2006).

Como já mencionado, no estado do Paraná, diferenças significativas das características estratigráficas, hidráulicas e hidroquímicas de poços relativamente próximos podem ser interpretadas como resultantes de condições estruturais particulares, as quais compartimentam os sistemas aquíferos, condicionando o fluxo subterrâneo. No estado do Rio Grande do Sul, Machado (2005) demonstrou que o SAG é descontínuo e compartimentado, sugerindo que tais características devem ser extensivas aos demais tratos nacionais e aos países vizinhos.

Neste sentido, através das estruturas definidas por Ferreira 1982(a,b), Soares *et al.* (1982), Zalán *et al.* (1987,1990) e Arthur (1998), associadas aos dados de campo (medidas estruturais), análise da rede de drenagem e análises estatísticas de lineamentos obtidos a partir da interpretação de modelo numérico de elevação e de sensores remotos, foi concebido um arcabouço estrutural de superfície, no qual comprovou-se a existência de zonas de falha e alinhamentos estruturais de direções preferenciais NW e NE.

Os resultados das medidas estruturais de campo são representados em diagramas de roseta, os quais revelam direções condizentes às descritas na literatura e utilizadas neste trabalho. Os lineamentos também foram tratados estatisticamente e indicam, através de diagramas de roseta, direções NW proeminentes e, em menor intensidade, NE, EW e NS, tanto para frequência quanto para comprimento. A análise segmentada em células, com base em Freitas (2005), revelou resultados particulares, associados aos falhamentos, como aquelas tendências NS, relacionadas ao curso do rio Ivaí, bem como tendências EW pouco conhecidas e estudadas na bacia.

A geração do arcabouço estrutural de subsuperfície foi baseada na interpretação dos dados aeromagnéticos, a partir de vários mapas de realce de anomalias, o qual permitiu refinar a megaestruturação da área, inclusive com a proposição de novos alinhamentos segundo às direções NW e EW (Roncador e Cantú, respectivamente).

Através da harmonização das tramas estruturais de superfície e subsuperfície, foi gerado o arcabouço estrutural-magnético comum a tais níveis de investigação, o qual serviu de base, em correspondência aos mapas das variáveis hidrogeológicas e hidroquímicas, para as análises integradas propostas neste estudo.

No sentido de entender melhor as zonas de conectividade dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani, foram integrados, em Sistema de Informações Geográficas (SIG), dados geofísico-estruturais e químicos oriundos de 171 poços completados na Formação Serra Geral.

As interpretações dos mapas de isovalores dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos relacionados espacialmente neste trabalho permitiram sugerir que há um controle estrutural da disposição dos isotores com maiores valores, para todos os elementos analisados, observados na porção NE da área. As afirmações a seguir são baseadas nestas análises pretendem comprovar a afirmativa acima.

Dentre as variáveis hidrogeológicas, o primeiro parâmetro analisado foi a profundidade dos poços, com maiores valores localizados na porção NE da área.

Análises realizadas para o parâmetro nível potenciométrico, através de diagrama de dispersão e perfil comparativo, permitem afirmar que não existem discrepâncias significativas entre a superfície potenciométrica e a topografia da área, permitindo que a potenciométrica, normalmente, apresente variações locais, as quais não seguem a tendência geral da topografia, mostrando, portanto, um comportamento de aquífero livre. Cabe salientar que as diferenças observadas devem ser assumidas com precauções, em função do

número restrito de dados e do método de interpolação utilizado, visto que são diferenças de pequena amplitude

No intuito de verificar a relação potenciométrica entre os dois aquíferos, através de comparação entre os poços, foram utilizados poços localizados nas proximidades da área de afloramento perfurados na Formação Serra Geral e, poços que atingiram as rochas das formações Botucatu e Pirambóia (SAG), infelizmente com os dados disponíveis não foi possível observar diferenças potenciométricas de acordo com o modelo utilizado.

Relativo a potencimetria, através de todas as análises realizadas com os dados disponíveis, é apenas possível sugerir que a diminuição da superfície potenciométrica seja associada a perda de água devido ao fluxo entre as fraturas/falhas, ou seja, devido a um controle estrutural.

Os valores alcalinos de pH ($>7,5$) são responsáveis pela depleção dos teores de Ca^{2+} precipitados como calcita, e por esse motivo podem ser relacionados a uma tipologia química de águas com maior tempo de residência no aquífero ou provenientes de aquíferos sotopostos. Altos valores de pH foram observados ao longo do Lineamento do Rio Piquiri e a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão.

Os componentes dissolvidos estão diretamente relacionados ao tempo de residência de água nos aquíferos, as maiores concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD $>150\text{mg/L}$) também ocorrem a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão e nas proximidades do Lineamento do Rio Piquiri.

Os altos valores de STD e pH nestes locais podem estar relacionados a presença de falhas/fraturas preenchidas por diques de diabásio, os quais, neste caso, atuariam como barreiras para o fluxo da água subterrânea (maior tempo de residência) refletindo um controle estrutural neste pacote ou a mistura com águas de porções confinadas de outros aquíferos sotopostos (zonas de conectividade).

Os valores de relevância de capacidade específica e as altas vazões podem estar relacionados aos blocos estruturais formados por cruzamentos de falhas NW e NE (Strugale, 2002; Portela Filho, 2003), como observados ao longo das direções PT-4 e PT-2, Lineamento do Rio Piquiri e na porção oriental da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão

Nota-se uma boa correspondência entre vazão/capacidade específica e sólidos totais dissolvidos (STD), onde os picos mais elevados de STD associam-se às quedas de vazão e vice-versa. Altos valores de produtividade são observados nas proximidades do Lineamento do Rio Piquiri, e nos compartimentos romboédricos balizados por estruturas

NW-SE e NE-SW, principalmente entre o Alinhamento Roncador e a Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão.

Foram também utilizados os resultados de classificação da tipologia das águas obtidos pelos diagramas de Piper, de acordo com a classificação de Bittencourt (2003), e, as classes definidas por Fraga (1992). O resultado desta integração pode ser visto na Tabela 4, a qual resume a interpretação.

A análise do diagrama de Piper identifica a composição das águas como *bicarbonatadas cálcicas*, preferencialmente, e *bicarbonatadas cálcio magnesianas, cálcio sódicas e bicarbonatadas sódicas* subordinadas. Segundo as classificações de Bittencourt (2003) e Fraga (1992) estas águas de composição diferenciada às bicarbonatadas cálcicas típicas do SASG podem ser relacionadas a águas de zonas de maior tempo de confinamento no aquífero, ou a influência de águas de aquíferos sotopostos (zonas de conectividade). As águas com estas características localizam-se na porção NE da área, ao norte do Alinhamento Roncador, próximo à Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão.

De acordo com Fraga (1992), é admissível supor que as “principais” contribuições de água dos poços perfurados na Formação Serra Geral estejam relacionadas ao SAG quando o valor da relação $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Ca}^{2+}$ for igual ou superior a 10, fato que ocorre na porção NE da área de estudo a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão.

No trabalho de Silva *et al.* (*inédito*) para a mesma área, através de análises estatísticas dos dados hidroquímicos e hidrogeológicos, associadas a interpretações de lineamentos obtidos a partir do modelo digital de elevação, foram definidos quatro compartimentos estruturais baseados nas direções dos lineamentos e na semelhança química das águas, onde o STD e o bicarbonato foram as variáveis discriminantes. Ainda neste trabalho, concluiu-se que a porção nordeste da área de estudo, a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão apresenta águas de composição química diferenciada, de acordo com os parâmetros analisados.

De acordo com os mapas de isovalores elaborados para cada elemento químico, ou combinações deles, foi possível observar que:

Águas com teores mais altos de bicarbonato + carbonato ocorrem na porção central e NE da área de estudo e, portanto, de acordo com Bittencourt *et al.* (2003), estas áreas parecem possuir águas mais antigas, com maior tempo de confinamento.

O mapa dos teores de cálcio mostra uma tendência a maiores valores na porção central e NE da área.

O mapa dos teores de magnésio mostra uma tendência de altos valores na porção central e NE da área, comprovando a associação da ocorrência deste elemento junto ao cálcio, já descrita anteriormente.

Os mapas dos teores de sódio+potássio e dos teores de sulfato mostra uma concentração de altos valores na porção nordeste da área, estes elementos são indicativos de condições de confinamento hídrico e/ou mistura de águas com outros aquíferos, no caso de análise de poços perfurados no SASG (zonas de conectividade).

De todo o banco de dados utilizado neste estudo basicamente dois poços possuem características de contaminação antrópica marcantes devido aos teores de nitrato acima de 5mg/L (SA19 e SA33).

Foi observado que os poços perfurados no extremo noroeste da área estão próximos do contato com o Grupo Caiuá. Em três deles (B152, B156 e B174), foi constatado que a razão Na^+/K^+ assume valores menores que um, caracterizando a influência de litotipos do Sistema Aquífero Caiuá (SAC) no quimismo das águas do SASG, de acordo com Bittencourt (1978 e 1993).

A Figura 73 procura sintetizar todas as informações obtidas neste estudo e exhibe as possíveis zonas de conectividade hidráulica dos SASG e SAG, com base no arcabouço estrutural-magnético e nas mencionadas composições químicas. Supõe-se que nestas áreas, localizadas entre importantes estruturas (preenchidas por diques de diabásio) que atuam como barreiras hidráulicas, haja um maior tempo de confinamento das águas características do SASG devido a todos os elementos analisados possuírem maiores concentrações nestas áreas e/ou misturas com águas características das zonas de confinamento do SAG devido a tipologia química observada. Os poços em azul são relacionados às águas de características relativas ao SASG e os poços em vermelho a águas de possível conexão com o SAG.

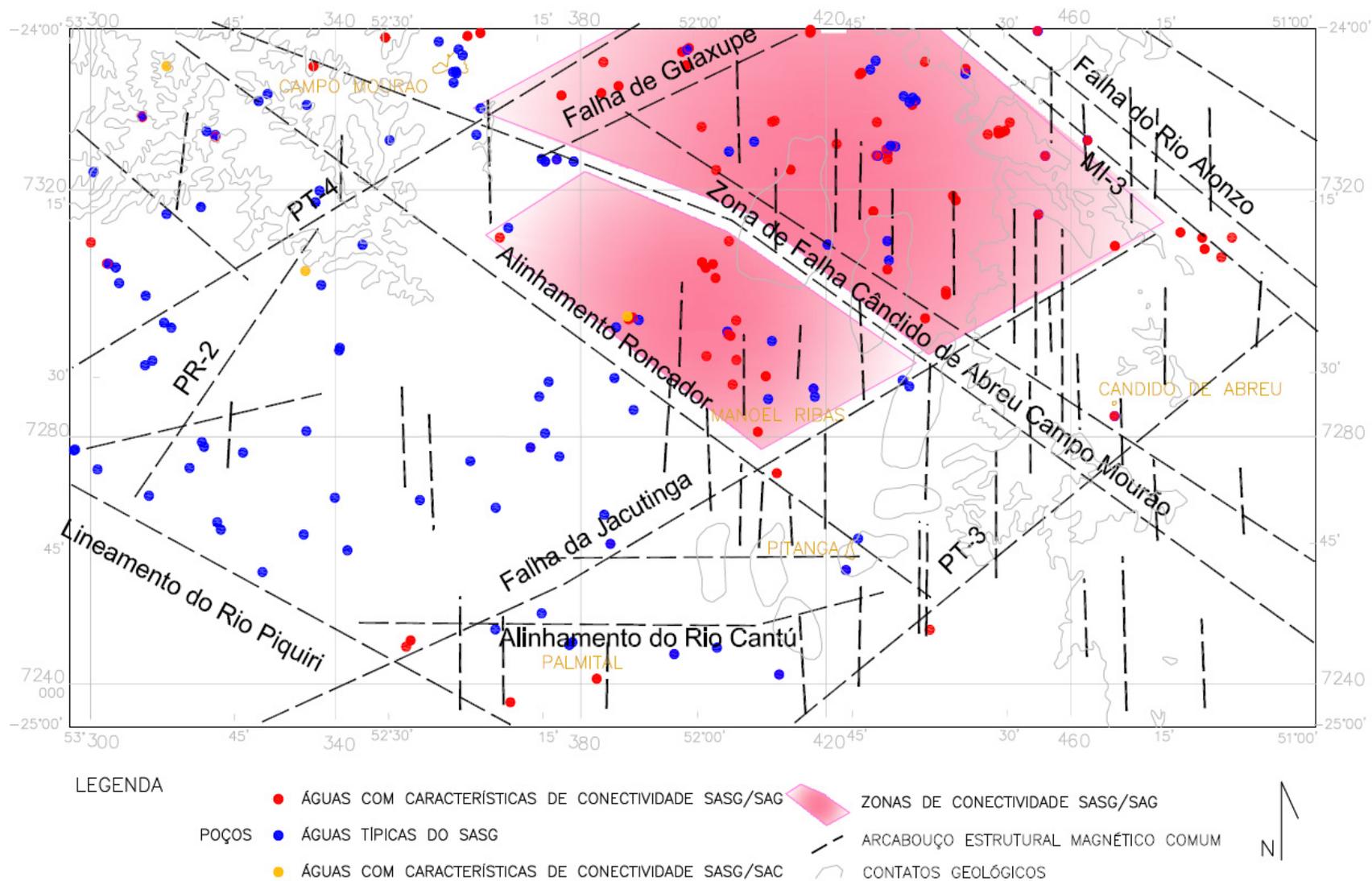


Figura 73 – Mapa de Interpretação das possíveis zonas de conectividade hidráulica dos SASG e SAG (rosa).

8. CONCLUSÕES

A utilização de técnicas modernas de processamento de dados aeromagnéticos, como gradiente horizontal total, amplitude e fase do sinal analítico, aliada a novos procedimentos implementados neste trabalho, como fase do sinal analítico do gradiente horizontal total, gradiente horizontal total da fase do sinal analítico e gradiente horizontal total realçado, dentre outros, em regiões fortemente magnetizadas, mostraram-se eficazes no delineamento do arcabouço estrutural-magnético.

Tal arcabouço permitiu refinar a megaestruturação da área de estudo e ainda propor novas estruturas, segundo as direções NW-SE e EW, respectivamente denominadas alinhamentos Roncador e do Rio Cantú. Também foram observadas outras novas estruturas de direções EW e NS, porém estas não foram detectadas nos mapas aeromagnéticos devido ao paralelismo com as linhas de vôo e aos processos de micronivelamento. Entretanto, o Modelo Digital de Elevação (MDE) permitiu esboçar algumas tendências NS, salientando-se aquela ao longo do rio Ivaí.

Foi possível perceber através da evolução destes estudos sobre as estruturas, que a região central do Arco de Ponta Grossa, caracterizada por intensos falhamentos e intrusões de diques de diabásio, é a principal feição tectônica condicionante do fluxo e do quimismo das águas em ambos os sistemas aquíferos. Este fato denota um comportamento específico para as águas destes dois sistemas, neste contexto estrutural, no estado do Paraná

Em relação ao comportamento das águas subterrâneas dentro dos sistemas aquíferos e sua inter-relação, o trabalho procurou demonstrar que, apesar de seu caráter regional e à luz dos dados disponíveis, os parâmetros hidrogeológicos e hidroquímicos do Sistema Aquífero Serra Geral, como potenciometria, vazão, capacidade específica, potencial hidrogeniônico (pH) e sólidos totais dissolvidos (STD), estão condicionados pela trama estrutural proposta. Desta forma observou-se que a distribuição espacial destes parâmetros sugere um condicionamento regional à megaestruturação proposta e que os maiores contrastes denotam este controle estrutural.

Os dados hidroquímicos, representados na forma de diagramas de Piper, mostram que a composição química das águas subterrâneas, de acordo com a classificação de Bittencourt (2003), é predominantemente *bicarbonatada cálcica* (69%) e subordinadamente *bicarbonatada cálcio magnésiana* (17%), *bicarbonatada sódica* (10%), *bicarbonatada sódio cálcica* e *bicarbonatada cálcio sódica* (6%).

A interpretação das assinaturas hidroquímicas permitiu discriminar regiões de predominância de águas típicas do SASG, daquelas de composição diferenciada. Tais tratos são circunscritos a compartimentos romboédricos limitados, principalmente, por tendências NE e NW, localizados na porção NE da área de estudo.

A distribuição georreferenciada das variáveis hidroquímicas, indicada pelos mapas de isovalores do pH, STD, dos cátions e dos ânions, mostra o condicionamento a grandes estruturas e compartimentos, mesmo considerando o número restrito de amostras aliado a heterogeneidade e anisotropia do aquífero. Mostra também que os maiores teores de todos os elementos analisados, sejam eles hidrogeológicos ou hidroquímicos, estão associados às grandes estruturas, localizadas na porção NE da área de estudo.

De acordo com os resultados das diversas análises empregadas foi possível concluir que as falhas localizadas na porção NE da área de estudo atuam como barreiras ao fluxo e condicionam as águas subterrâneas em compartimentos estruturais com características diferenciadas dentro do SASG, denotando um maior tempo de confinamento no aquífero.

Por outro lado, as análises mostram que esta diferenciação química pode ser resultante de conexão com o SAG, evidenciando diferentes taxas de mistura com águas do SASG, devido a este controle estrutural e ao fluxo ascendente do SAG (conforme o modelo proposto), porém nesta hipótese as águas com tipologia de áreas de confinamento do SAG estão localizadas em áreas próximas às de afloramento deste aquífero, com o fluxo, neste caso, atuando de forma inversa ao normalmente proposto para o SAG.

Assim sendo, ressaltam-se as áreas a norte da Zona de Falha Cândido de Abreu - Campo Mourão com evidências geofísico-estruturais, hidroquímicas e hidrogeológicas que conduzem a que se caracterize um sistema aquífero híbrido, com águas de maior tempo de confinamento no SASG e/ou com taxas variadas de mesclagem das águas do SASG e do SAG.

Finalmente, considera-se que os métodos empregados e os resultados obtidos foram satisfatórios para a composição de um arcabouço estrutural-geofísico da área de estudo, porém somente com investigações hidrogeológicas de detalhe a questão da “conectividade” dos SASG e SAG poderá ser melhor conhecida.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS-RJ. **Glossário**. Disponível em:

<<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/glossario.htm>>. Acesso em: 12/07/2006.

AGARWAL B.N.P.; SHAW, R.W. Comment on: An analitic signal approach to the interpretation of total field magnetic anomalies by Shuang Qin 1996. **Geophysical Prospecting** 44, 911-914.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgar Blücher, 1983.

ALMEIDA, F.F.M. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-Paleozóico no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 16(4): 325-349 , 1986.

ASSINE, M.L.; PIRANHA, J.M.; CARNEIRO, C. Dal R. 2004. **Geologia do Continente Sul Americano: Os Paleodesertos Pirambóia e Botucatu**. São Paulo: Beca, 2004. 77-92.

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E., 1995. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó**. UFPR/Petrobras, 16 pp., 9 mapas.

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Praná Basins, South América, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system: **Hydorgeologic Journal**, 7: 317-336, 1999.

ARTUR, P. C. **Paleolineamentos na Bacia do Paraná: favorabilidade para a acumulação de hidrocarbonetos**. Curitiba, 1998. 202p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.

ASTOLFI, A. M., PAULA, O. B., GONZAGA, P. M. Integração aeromagnética da Bacia do Paraná. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2., 1991, Salvador. **Resumos Expandidos**. Salvador. 408-412 p.

BETTÚ, D. F. **Conectividade e Compartimentação dos Sistemas Aquíferos Caiuá e Serra Geral no Nordeste do Estado do Paraná**. Curitiba, 2004. 76 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória). Departamento de Geologia. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

BETTÚ, D. F.; FERREIRA, F. J. F. Predição da potenciometria do aquífero Caiuá na região de Umuarama-PR: comparação entre krigagens ordinária e com tendência do relevo. **Águas Subterrâneas** (São Paulo), Curitiba - PR, v. 19, n. 2, p. 1-30, 2005.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Editora da UFSC, Florianópolis, v. 1, 425 p., 1994.

BITTENCOURT, A.V.L. **Sólidos hidrotransportados na bacia hidrográfica do rio Ivaí: Aplicação de balanço hidrogeoquímicos na compreensão da evolução de processos da dinâmica externa**. São Paulo, 1978. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP.

BITTENCOURT, A.V.L.; LISBOA, A.M. Contribuição ao estudo dos controles geoquímicos dos elementos dissolvidos em águas termais da Bacia do Paraná. Simpósio Regional de Geologia (5.: 1983: São Paulo). **Boletim Resumos**. São Paulo, 1983

BITTENCOURT, A.V.L. Sobre o controle do quimismo de águas termais. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 44, p. 117-129, 1996.

BITTENCOURT, A.V.L., ROSA FILHO, E. F., HINDI, E. C., BUCHMANN FILHO, A. C. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do rio Piquiri, Paraná – BR. **Revista de Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 17, p. 67-76, 2003.

BLAKELY, R.J. **Potencial theory in gravity and magnetic applications**: 1995. Cambridge University Press.

BORGHETTI, N.R.B.; BORGUETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. **Aqüífero Guarani: A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba. 2004. 214p.

BRIGGS, I.C. Machine contouring using minimum curvature. **Geophysics**, 39(1), p. 39-48, 1974.

BUCHMANN FILHO, A. C. **Caracterização das águas do Sistema Aqüífero Serra Geral no estado do Paraná**, Curitiba, 2002. 150 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná – UFPR.

CELLIGOI, A.; DUARTE, U. **Aspectos hidrogeoquímicos de Formação Serra Geral em Londrina – PR**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 8, Recife, 1994. Anais...Recife: ABAS p.425-433.

CORDELL, L.; GRAUCH, V. **Mapping Basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin**, New México, 1985. In: W. Hinze, ed., Utility of regional gravity and magnetic maps: SEG 181-197.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona Ediciones Omega, 1983, p.1007-1061.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Estudo de Águas Subterrâneas**, Regiões Administrativas 7, 8 e 9 (Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba) São Paulo, 1976 v2 (texto)

DEBEGLIA, N. & CORPEL, J. Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. **Geophysics**, 62, 87-96, 1997.

DEBEGLIA, N.; MARTELET, G.; PERRIN, J.; TRUFFERT, C.; LEDRU, P.; TOURLIERE, B. Semi-automated structural analysis of high resolution magnetic and gamma ray spectrometry airborne surveys. **Journal of Applied Geophysics**, 58, p. 13-28, 2006.

EMBRAPA. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Escala 1:600.000. Governo do Estado do Paraná. 1981.

EVJEN, H.M. The place of vertical gradient in gravitational interpretations. **Geophysics**, 1, 127-136, 1936

FEDI, M.; FLORIO, G. Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method: **Geophysical Prospecting**, 2001, 49, 40-58.

FERNANDES, A.J.; MALDANER, C.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L.M.R.; PRESSINOTTI, M.M.N.; VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; HIRATA, R. Modelo Conceitual preliminar de circulação da água subterrânea no aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Curitiba, 2006. **Resumos expandidos**. Curitiba: ABAS, 2007.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. São Paulo, 1992. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.

FERNANDES, L. A., COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 68, v. 02, p. 195-205, 1996.

FERREIRA, F. J. F., MORAES, R. A. V., FERRARI, M. P., VIANNA, R. B. Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: **Simpósio Regional de Geologia**, 3., Curitiba, 1981. Atas. Curitiba,, SBG, Núcleo São Paulo, v.1, p. 226-240, 1981.

FERREIRA, F. J. F. **Alinhamentos estruturais – magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná – reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos**. Consórcio CESP-IPT, p.144-166, 1982a.

FERREIRA, F. J. F. **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa**. São Paulo, 170 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP). 1982b

FERREIRA, F. J. F., CAMPANHA, G.A.C., MONNA, R., HENDRIK, H.E. An estimate of the degree of crustal extension and thinning associated with the Guapiara Lineament based on aeromagnetic and gravimetric modeling. In: WORKSHOP MAFIC DYKES OF BRAZIL, 1989, **Boletim Especial** (Trabalhos Apresentados), São Paulo, IUGS/UNESCO p.60-70, PIGC-257

FERREIRA, F. J. F & PORTELA FILHO, C. V. **Mapa magnético do estado do Paraná (parcial). Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada (LPGA)**, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2000.

FERREIRA, F. J. F.; PORTELA FILHO, C. V.; ROSA FILHO, E. F.; ROSTIROLLA, S. P. Connection of the Serra Geral and Guarani Aquifer Systems across Ponta Grossa Arch (Paraná Basin, Brazil). In: XXXIII International Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) and 7^o International Congress of the Latin-American Association of Underground Hydrology for Development (ALHSUD). Zacatecas, México (CD ROM). 2004

FERREIRA, F. J. F.; PORTELA FILHO, C. V.; ROSA FILHO, E. F.; ROSTIROLLA, S. P. Conectividade e compartimentação dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani na região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná, Brasil). **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, v.5 p.61-74, 2005.

FRAGA, C. G. **Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. São Paulo, 1986. 125 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP).

FRAGA, C. G. **Origem de fluoretos em águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucatu e Serra Geral**. São Paulo, 1992. 177 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP).

FREITAS, R. C. **Análise Estrutural Multitemática do Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito, Bacia do Paraná**. Curitiba, 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória). Departamento de Geologia. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

GEOSOFT. Microlevelling using bi-directional gridding. **Geosoft Technical Note**, 2 p., 2003.

GEOSOFT. Magmap – 2-D Frequency Domain Processing. **Geosoft Technical Note**, 34 p., 2001.

GEOSOFT. Griddepth: 3-D Euler deconvolution of potential data field. **Geosoft Technical Note**, 29p, 1994.

GILBOA, Y.; MERO, F.; MARIANO, I.B. The Botucatu aquifer of South America, model of an untapped continental aquifer. **J Hydrol** 29:165-179.

GUNN, P. J. Linear Transformations of Gravity and Magnetics Fields. **Geophysical Prospecting**, n. 23. p 300-312, 1975.

HANEY, M.; JOHNSTON, C.; Li, Y.; NABIGHIAN, M. Envelopes of 2D and 3D magnetic data and their relationship to the analytical signal. Preliminar results 2003. 73rd Annual International Meeting, SEG, **Expanded Abstracts**, 592-595.

HIRATA, R.; SRACEK, O. Geochemical and stable isotopic evolution of the Guarani Aquifer System in the state of São Paulo, Brazil. **Hydrogeologic Journal**, (2002) 10:643-655.

HSU, S. -K.; COPPENS, D.; SHYU, C. -T. Depth to magnetic source using the generalized analytical signal. **Geophysics**, 63, p. 1947-1957, 1998.

HSU, S. -K.; SIBUET, J. -C.; SHYU, C. -T. High-resolution detection of geologic boundaries from potential field anomalies: an enhanced analytic signal. **Geophysics**, 61, p. 373-386, 1996.

IBGE, 1977. Carta topográfica de Campo Mourão-PR SG-22-V-B. Escala 1:250.000.

IBGE, 1977. Carta topográfica de Cascavel-PR SG-22-V-A. Escala 1:250.000.

IBGE, 2001. Mapa de Solos do Brasil. Escala 1:5.000.000.

IBGE. Mapas Interativos. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>>. Acesso em: 05/11/2006.

IYOMASA, W.S. As rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral no vale do rio Paranapanema (SP/PR) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Camboriu, 1994. **Resumos expandidos**. Camboriu: SBG, 1994. p.107-108.

LI, X. Understanding 3D analytic signal amplitude. **Geophysics** vol. 71, nº 2 p. L13-L16. 2006.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas da água**. Recife [s. e.], 1965, p 1-75.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.

MACHADO, J.L.F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. UNISINOS. São Leopoldo RS. 2005. 238p.

MACLEOD, I.N.; JONES, K.; DAI, T.F. 3-D Analytical Signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. 1993. **Exploration Geophysics**, 24, 679-687.

MILANI, E.J., RAMOS, V.A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, 28(4):473-484, 1998.

MILANI, E.J. **Geologia do Continente Sul Americano**: Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. São Paulo: Beca, 2004. 265-279.

MILLER, H.G.; SINGH, V. Semiquantitative techniques for the removal of directional trends from potential field data. 1994a. **Journal of Applied Geophysics**, 32: 199-211.

MILLER, H.G.; SINGH, V. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. 1994b. **Journal of Applied Geophysics**, 32: 213-217.

MILLIGAN, P.R. & GUNN, P.J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. AGSO Journal of Australian **Geology & Geophysics**, n. 17(2), p. 63-75, 1997.

MINEROPAR; DNPM. Mapa Geológico do Estado do Paraná – 1:1.000.000. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2001.

MINEROPAR. Carta geológica de Campo Mourão-PR SG-22-V-B. Escala 1:250.000. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2005

MINEROPAR. Carta geológica de Cascavel-PR SG-22-V-A. Escala 1:250.000. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2005

MINEROPAR. Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. Escala 1:500.000. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2006

NABIGHIAN, M. N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. **Geophysics**, n. 37, p. 507-517, 1972.

NABIGHIAN, M. N. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. **Geophysics**, n. 39, p. 85-92, 1974.

NABIGHIAN, M. N. Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transform: Fundamental relations. **Geophysics**, n. 49, p. 780-786, 1984.

PETROBRAS. Projeto Aerogeofísico Rio Iguaçu: Consórcio CESP-IPT, Paulipetro (dados digitais), 1981.

PITTAS, I. **Digital image processing algorithms and applications**. 2000. John Wiley & Sons.

PORTELA FILHO, C. V.; FERREIRA, F.J.F.; ROSA FILHO, E. F.; BUCHMANN FILHO, A.C.; ROSTIROLLA, S.P. Estudo Preliminar da Conexão entre os aquíferos Serra Geral e Guarani com base em dados aeromagnetométricos e hidroquímicos. **Revista Paranaense de Geociências**, 2002.

PORTELA FILHO, C. V. **Condicionamento Estrutural-Magnético do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná) e sua Conectividade com o Sistema Aquífero Guarani**. Curitiba, 2003. 128 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória). Departamento de Geologia. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

PORTELA FILHO, C. V.; FERREIRA, F.J.F.; ROSA FILHO, E. F.; ROSTIROLLA, S.P. Compartimentação Estrutural-Magnética do Sistema Aquífero Serra Geral e sua Conectividade com o Sistema Aquífero Guarani na Região Central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná). **Revista Brasileira de Geociências**. n. 35 (3), p. 369-381, 2005.

QIN, S. An analytical signal approach to the interpretation of total field magnetic anomalies. 1994. **Geophysical Prospecting** 42, 665-675.

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo.** 3 ed. – rev. e ampl. Piracicaba-SP, 2003

REBOUÇAS, A. C. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, 1978. **Anais...**, v. 6, Recife: SBG. P. 2963-1976.

REBOUÇAS, A. C., FRAGA, C. G. Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil. **Revista de Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 12, p. , 1988.

REID, A.B., ALLSOP, J.M., GRANSCR, H., MILLCLT, A.J., SOMERTON, I.W. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics**, n. 55, p. 80-91, 1990.

ROCHA G. A. Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul: bases para uma política de desenvolvimento e gestão. Seminário e Workshop Internacional do Aquífero Gigante do Mercosul. Inéd: 29. Curitiba. 1996.

ROEST, W.R., VERHOEF, V. & PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics**, n. 57, p. 116-125, 1992.

ROSA FILHO, E. F., SALAMUNI, R., BITTENCOURT, A.V.L. Contribuição ao estudo das águas subterrâneas nos basaltos do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 37, p. 22-52, 1987.

ROSA FILHO, E. F., FORLIN, M., XAVIER, M. J. Informações básicas sobre a distribuição do Sistema Aquífero Guarany nas regiões sul e sudeste do Brasil. **A Água em Revista**, CPRM. n. 10, p. 23-27, 1998.

ROSA FILHO, E. F., HINDI, E. C., GIUSTI, D. A., MANTOVANI, L. E. Usos potenciais do hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 48, p. 63-69, 2000.

ROSA FILHO, E. F., HINDI, E. C., ROSTIROLLA, S. P., FERREIRA, F. J. F., BITTENCOURT, A. V. L. Sistema Aquífero Guarani – considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas. **Revista de Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 17, p. 91-112, 2003.

ROSTIROLLA, S.P., ASSINE, M.L., FERNANDEZ, L.A., ARTUR, P.C. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – O exemplo do Alto Estrutural do Quatiguá. **Revista Brasileira de Geociências**, 30(4): 639-648, 2000.

ROSTIROLLA, S.P.; MANCINI, F.; RIGOTI, A. Reativação de Megalineamentos na Evolução Fanerozóica da Placa Sul-Americana. In: **X SNET**, Curitiba, Resumo expandido submetido e aceito, 2005.

SALEM, A.; RAVAT, D.; GAMEY, T.J.; USHIJIMA, K. Analytic signal approach and its applicability in environmental magnetic applications. 2002. **Journal of Applied Geophysics**, 49, 231-244.

SANEPAR. 2005. Banco de Dados Hidrogeológico (arquivo digital).

SILVA, J.B.C. 2-D magnetic interpretation using the vertical integral. 1996. **Geophysics**, 61, p. 33387-393.

SILVA, R. B. G. da **Estudo Hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. 1983. 133 f. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação), Universidade de São Paulo, São Paulo: 1983.

SILVA, A.B.; SOARES A.P; BITTENCOURT, A.V.L.; FERREIRA, F.J.F. Conectividade hidráulica dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani: Indicadores hidroquímicos no centro do estado do Paraná. 2006. **Revista de Águas Subterrâneas**. (inédito).

SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; CSORDAS, S.M.; MATTOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; MENESES, P.R. Lineamentos em imagens Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. **II Simpósio de Sensoriamento Remoto**, CNPq-INPE, Brasília, 1982.

SOARES, P. C. **Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles**. Curitiba, 1991. 148 p. Tese de Titular. Universidade Federal do Paraná.

STATISTICA for Windows 4.3. Stat Soft, Inc. 1993

STRUGALE, M. **Arcabouço e evolução estrutural do Arco de Ponta Grossa no Grupo São Bento (Mesozóico): Implicações na Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Guarani e na migração de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná**. Curitiba, 2002. 124 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná

STRUGALE, M.; ROSTIROLA, S.P.; ROSA FILHO, E.F. DA; HINDI, E.C.; MANCINI, F.; FERREIRA F.J.F.; FREITAS, R.C. DE. Arcabouço estrutural do Arco de Ponta Grossa na região centro norte do estado do Paraná (Brasil): Implicações na hidrodinâmica do Sistema Aquífero Guarani. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, 2002. Florianópolis, **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 1 CD-ROM.

STRUGALE, M.; ROSTIROLA, S.P.; MANCINI, F.; PORTELA FILHO, C.V.; FERREIRA F.J.F.; FREITAS, R.C. DE. Structural framework and Mesozoic-Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arc, Paraná Basin, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 24 (2007) 203-227.

SUDERHSA. Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná. . Escala 1:2.000.000. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 1998.

SUDERHSA. 2005. Banco de Dados Hidrogeológico (arquivo digital).

THOMPSON, D.T., EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data: **Geophysics**, 47:31-37, 1982.

THURSTON, J.B. & SMITH, R. S. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using SPI (TM) method. **Geophysics**, n. 62, p. 807-813, 1997.

VERDUZCO, B.; FAIRHEAD, C.; GREEN, C.; MACKENZIE, C. New Insights into magnetic derivatives for structural mapping. 2004. **The Leading Edge**, 23, 116-119.

WHITE, I.C. (1908) Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro : **DNPM** , 1988. Parte I, p.1-300 ; Parte II, p. 301-617. (ed. Fac-similar)

WINJS, C.; PEREZ, C.; KOWALCZYK, P. Theta map: Edge detection in magnetic data. 2005. **Geophysics**, 70, p. L39-L43.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLF, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, III, 1987, Curitiba: **Sociedade Brasileira de Geologia**, v.1, p. 441-473.

ZALÁN, P. V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: Interior cratonic Basins, Leighton et al. (coords). **AAPG Memoir**, n. 51; p. 681-708, 1990.

ANEXOS

ANEXO I – TABELA DOS POÇOS SASG

cod ale	UTM N-S	UTM L-O	Altitude	município	localidade	aquifero	prof	NE	nivel potenc	ND	vazao	capacidade especifica	vaz Outorga	data analise	temp	cor	turb	pH	std	dureza	alcal Tot	bicarb	CO2 Livre	Nitrato	Nitrog Amon	
SA1	7336796	386164	468,4	Corumbatai do Sul	Sede Municipal	Serra Geral	120	2,65	465,75	20	54	3,11	54	12/26/95			0,12 unt	7,5	214	122,1	126,3		2,81			
SA2	7342750	360050	575	Campo Mourão	Sede Municipal	Serra Geral	160	14,14	560,86	21,89	44,44	5,73	44,4	12/15/89	24	5	5 jtu	7,8	121	38	46	46	1,38	0,04	<0,01	
SA3	7337351	359225	560	Campo Mourão	Vila Guarujá	Serra Geral	96	4,92	555,08	47	2,5	0,06		8/16/89	22	2,5	0,45 jtu	9,1	69	9	62	58	0		<0,01	
SA4	7328015	348788	660	Campo Mourão	Piquirivai	Serra Geral	68	6,49	653,51	21	10	0,69		7/31/89	22	5	0,4 jtu	7,3	94	31	37	37	3,62	0,08	0,01	
SA5	7344651	348074	560	Campo Mourão	km 128	Serra Geral	84	46,42	513,58	50	4,8	1,34		7/3/89	21	2,5	0,5 jtu	7,5	193	41	67	67	4,15	0,24	<0,01	
SA6	7339150	359600	543,9	Campo Mourão	Sede Municipal	Serra Geral	154	4,92	538,98	18	80	6,12	80	9/19/97	5	0,10unt	7,2	91	44	48,4	48,4	6,2	0,11			
SA7	7345385	363600	493,5	Campo Mourão	Sede Municipal	Serra Geral	144	2,77	490,73	55	35	0,67	35	7/29/94		0	0,1unt	8,7	230	28	56	28		0,05		
SA8	7328900	362950	538,5	Campo Mourão	Sede Municipal	Serra Geral	123	8,47	530,03	22	45	3,33	45	5/25/97		5	0,03unt	7,1	87	28	44	44	7,09	0,33		
SA9	7344900	361500	558	Campo Mourão	Sede Municipal	Serra Geral	156	53,75	504,25	80	58	2,21	58	1/26/98		<1	0,19unt	9,11	195	25	66,25	55,39	0,09	0,22		
SA11	7322858	300429	463,2	Goioerê	Jaracatiá	Serra Geral	80	4,3	458,9	32,3	170	6,07	42	8/29/85		2,5	0,08unt	7	90	72	76	76	14,7	0,62		
SA12	7331936	308330	477	Moreira Sales	Paraná d'Oeste	Serra Geral	80	4,11	472,89	8,7	25,64	5,59		6/5/92		0	0,15unt	6,1	20	62	51	51	90			
SA13	7246721	378621	832	Palmital	Boa Esperança	Serra Geral	150	27	805	47	5,6	0,28		1/27/85		2,5	0,12jtu	6,9	90		36	36				
SA14	7246285	378119	800	Palmital	Sede Municipal	Serra Geral	103	33,75	766,25	36	8,13	3,61		1/19/82	19	3	0,39jtu	6,8	90	42	51	51	15,81	0,14	0,01	
SA15	7247013	352215	650	Laranjal	Palmital	Serra Geral	200	128	522	133,4	8,5	1,57		1/22/88		17,5	3,5	9,1	185	9	110	84		0,14		
SA16	7245992	351488	679	Laranjal	Sede Municipal	Serra Geral	198	131,64	547,36	160	20	0,71	20	11/24/03		5	1	8,28	211	61,12	121,77	148,56		0,79	0,3	
SA17	7342338	396522	329,7	Barbosa Ferraz	Sede Municipal	Serra Geral	130	37,8	291,9	42	20	4,76		5/20/84		2,5	0,21	7,2	181	80	87	87				
SA18	7342687	397367	328,6	Barbosa Ferraz	Sede Municipal	Serra Geral	100	40,6	288	41	17	42,50		6/26/92		0	0,16	7,4	20	116,6	108	108				
SA19	7342938	397653	333	Barbosa Ferraz	Sede Municipal	Serra Geral	103	16,5	316,5	28	40	3,48		6/27/94		35	8,4unt	6,6	197,8	156,2	75	75		7,9		
SA20	7340135	397192	201,3	Barbosa Ferraz	Sede Municipal	Serra Geral	100	3,89	197,41	11	55	7,74	55	6/12/94		2,5	0,38	7,8	306	350,2	124	124		0,9		
SA21	7324895	376054	715	Barbosa Ferraz	Bourbônia	Serra Geral	120	41,22	673,78	60	26	1,38		9/10/82			0,85unt	7,3	118	58	69	69		0,35		
SA22	7324564	374195	664	Barbosa Ferraz	Bourbônia	Serra Geral	102	13,46	650,54	35,42	73,3	3,34	17,3	4/20/97			0,85unt	7,3	178	23	36	36				
SA23	7278250	371772	693,1	Roncador	Sede Municipal	Serra Geral	150	8,2	684,9	37	130	4,51	109	6/12/86		2,5	0,14	8,4	60	40	59	55		0,26	0,012	
SA24	7284331	388604	730,2	Roncador	Alto São João	Serra Geral		44,5	685,7	69,45	8	0,32	12	8/12/86		2,5	0,18	7,3	101	65	75	75		0,14		
SA25	7269735	353715	610	Nova Cantú	Santo Rei	Serra Geral	81	12,57	597,43	20	7	0,94		9/19/89	21		16 unt	7,8	120	52	57	57		0,54	0,01	
SA26	7267363	383819	711	Mato Rico	Sede Municipal	Serra Geral	66	8,5	702,5	42	6,5	0,19		7/17/95		0	0,06	7,5	198	120,8	134	134		1,46		
SA27	7299020	387800	551,7	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral	120	42,2	509,5	49,25	50	7,09	30	8/25/77			2,5	0,49	7,9	157	71,2	80	80		0,87	0,02
SA28	7297722	385756	577	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral	150	8,3	568,7	52,1	14	0,32					2,5	1,1ut	7,8	166	94	107	107		0,16	
SA29	7299286	388474	508,7	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral	150	14,4	494,3	23	73	8,49	73	10/22/97			2,5	0,14unt	7,6	153	94	107	107			
SA30	7298902	389462	489	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral	150	8,7	480,3	56,3	28,28	0,59		9/25/00			0,26	7	128	78,3	98	98		0,35		
SA31	7303006	439642	723,6	Aranha do Ivaí	Sede Municipal	Serra Geral	210	2	721,6	50	13	0,27		12/6/82	20	5	2jtu	8,1	146	53	77	77	1,19	<0,01	0,13	
SA32	7333722	352523	569,8	Farol	Farol	Serra Geral	150	2,5	567,3	40	60	1,60		10/20/82		3	1,1jtu	7,8	96	40	48	48	1,44	0,2	<0,01	
SA33	7263517	425287	848	Pitanga	Sede Municipal	Serra Geral	178	4,8	843,2	53,09	180	3,73	180	2/4/03		100uh	<1ut	6,47	47	39,87	36,33	44,32	7,14	5,25	0,03	
SA34	7288140	433620	819,3	Manoel Ribas	Sede Municipal	Serra Geral	72	4,35	814,95	50	60	1,31	60	9/1/89		5uh	0,44unt	7,6	65	56,1	67,8	67,8	3,46	0,17		
SA35	7289135	432546	844	Manoel Ribas	Sede Municipal	Serra Geral	150	4,36	839,64	60,95	60	1,06		9/15/87		2,5	1,30unt	8	95	32	47	47	0,94	0,17		
SA36	7292424	405412	540,5	Nova Tebas	Catuporanga	Serra Geral	96	16,36	524,14	72	4	0,07	12	2/7/00		<5	1,5ntu	9,49	183	27	138,33	80,47		<0,04	0,02	
SA37	7293069	400519	537	Nova Tebas	Catuporanga	Serra Geral	150	32,47	504,53	48	20	1,29		12/14/04		<5	1ut	8,92	213	43,97	133,76	114,09		1,19	0,01	
SA38	7298829	405366	592	Nova Tebas	Sede Municipal	Serra Geral	250	7,18	584,82	54	10	0,21		2/28/02		<5	<1ut	8,9	138	32,68	125,25	86,5		1,86	<0,01	
SA39	7296583	404065	597,8	Nova Tebas	Sede Municipal	Serra Geral	150	5,82	591,98	74				4/6/93		0	0,11unt	8,1		50,2	74	68	1,3			
SA40	7297040	403922	642,5	Nova Tebas	Sede Municipal	Serra Geral	200	42,38	600,12	140	3	0,03	3	12/16/98			2,5	1,6ntu	6,7	151	65	86,9	86,9	34,8	2	
SA41	7296345	404444	591,7	Nova Tebas	Sede Municipal	Serra Geral	57	2,92	588,78	40	4,5	0,12		7/9/91			5	0,9jtu	9	234	4	140	80		<0,01	0,02
SA42	7311692	404197	380	Nova Tebas	Poema	Serra Geral	100	16	364	55	15,29	0,39		11/8/04		<5	<1ut	10,04	272	2,96	125,45			<0,04	<0,01	
SA43	7308262	399803	406,8	Nova Tebas	Poema	Serra Geral	102	3,4	403,4	70,5	6	0,09		3/8/93		5	0,30fju	9,26		2	124					
SA44	7307954	401549	489,6	Nova Tebas	Poema	Serra Geral	150	34,76	454,84	57,73	8,5	0,37		5/10/88			5	2,9unt	9,5	93	4	138	88		0,07	
SA45	7339572	442815	437,5	Faxinal	Dinizópolis	Serra Geral	200	44,77	392,73	134	9	0,10		6/29/94		2,5	0,15unt	8	224	112	151	151	3,1	0,2		
SA48	7339473	427263	369	Lunardeli	Sede Municipal	Serra Geral	240	0,94	368,06	44	10	0,23	10	9/20/00		5	0,4unt	6,6	197	75,7	68	68	35,1	0,05		
SA49	7340903	428148	424,3	Lunardeli	Guaretá	Serra Geral	80	2,84	421,46	18,8	72	4,51		12/24/86			2,5	1,6	7,4	161	78	97	97	7,8	0,02	
SA50	7338684	425512	499,8	Lunardeli	Sede Municipal	Serra Geral	150	2,5	497,3	46	13	0,30		12/6/02		20	26ut	8,41	192	41,35	163,75	162,33		4,42	0,06	
SA51	7308564	430300	696,7	Ivaiporã	Alto Porã	Serra Geral	150	3,62	693,08	25,68	12	0,54		10/8/85			2,5	0,99ut	8,3	137	54	68	60		0,16	
SA52	7318292	441213	620	Ivaiporã	Jacutinga	Serra Geral	120	15,27	604,73	47,49	38	1,18		10/1/85			2,5	1,1ut	8,3	114	30	52	46		0,19	
SA53	7345597	417531	374	São João do Ivaí	Sede Municipal	Serra Geral	150	74,4	299,6	99,8	21,9	0,86		1/19/78			5,5	8jtu	9,3	260	17,1	108	66		2	0,055
SA54	7345440	417448	440,8	São João do Ivaí	Sede Municipal	Serra Geral	150	32,8	408	102	20	0,29		10/8/01		5	0,81ntu	8,6	258	52,9	168	140	0,8	2,81		
SA56	7327108	430871	582,6	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	152	36,23	546,37	41	35	7,34		9/1/80	22	3	0,5jtu	7,9	95	44	58	58	1,39	0,12	<0,01	
SA57	7326629	430199	615,7	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	80	10,7	605	41	25	0,83		1/31/89		2,5	0,4unt	7,8	112	58	59	59	1,8	0,13		
SA58	7324930	430090	633	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	180	10,2	622,8	56	15	0,33	15	8/2/00		5	0,11ntu	8,4	149	77,6	78	65	5	3,03		
SA59	7325533	428232	519	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	300	22	497	112	25	0,28		4/16/03		5	<1ut	7,58	150	103,73	127,02	154,96	2,68	1,9	0,06	
SA60	7340728	436145	375,4	Jardim Alegre	Porto Ubá	Serra Geral	250	4,34	371,06	54,34	5	0,10		5/28/81	2											

cod ale	Nitrito	Nitrog Org	Cloreto	Sulfatos	carbonatos	Carb+Bicarb	Fluoretos	SiO2	ferro Total	manganes	calcio	magnesio	Sodio	Potassio	Na+K	Na+K/Ca	Na/K	EA 01	EA 02	EA 03	EA 04	EA 05	EA06	Lit 1	Lit 2	Lit 3	Lit 4	prof basalto
SA1			1						0,03		31,46	10,61						25	33	81	94			solo	basalto			3,6
SA2	0,001	0,37				46		31	<0,05		10,5	2,75	5,5	0,5	6	0,57	11,00	35	42					solo	basalto			9
SA3		<0,01	<1	0,7	4	62	0,5	18,8			2,37	0,77	33	0,14	33,14	13,98	235,71	47	90					solo	basalto			12
SA4	0,001	0,05	<1			37		28			8,24	2,55	2,72	0,88	3,6	0,44	3,09	22	43	46				solo	basalto			0,27
SA5		0,03	<1	1		67	0,1	3,75			14,99	0,94	14,25	0,57	14,82	0,99	25,00	58						solo	basalto			18
SA6						48,4					10,42	4,38						38	116					solo	basalto			2
SA7			2		28	56					4,08	4,32						60	135					solo	regolito	basalto		14
SA8						44					10,82	0,24						13										
SA9					10,86	66,25	0,14				7,61	1,46						38	75	110				solo	basalto			12
SA11						76					20,8	4,9						42	64					solo	regolito	basalto		18
SA12			2			51			1,6		15,25	5,81						12	54					solo	basalto			12
SA13				0,2		36					8	1,9						43						solo	basalto			14
SA14	0,004	0,7	2			51		11			12,29	2,82	5,85	0,58	6,43	0,52	10,09	36	39	57	68			solo	basalto			0,8
SA15	0,05			3	26	11					32	0,29						32,4	128	141	169	175		solo	basalto			1
SA16	<0,01	0,03	1,55	<1		148,56	0,05	69,6	0,2		15,63	5,3	29,7	0,4	3,1	0,20	74,25	47	180					solo	basalto			3,05
SA17		0,21		28,8		87					24	4,9						52						solo	basalto			50
SA18			1			18					27,49	11,67						38	39					solo	basalto			2
SA19			4			75			0,4		35,83	16,24						39	42					solo	basalto			3
SA20			25			119,28	1,5				119,28	12,79						19	40	66	85			solo	basalto			3
SA21			1			69		22			16,21	25	5,2	0,65	5,85	0,36	8,00	17	41	71				solo	basalto			12
SA22			1			36					7,21	1,22						76						solo	basalto			20
SA23	0,04	0,12	5,5		4	59	0,1	24			15,2	0,5						49,57	110					solo	basalto			11
SA24						75			0,05		21,2	3,48						20						solo	basalto			9
SA25	0,02	0,16	1			57		31	0,16		13,52	4,51		0,4	0,4	0,03								solo	basalto			3
SA26			3			134	0,2		0,018		28,61	12,01						17	32	64	66			solo	basalto			6
SA27		0,01	3,5			8		36	0,5		19,86	5,25	9,28	0,51	9,79	0,49	18,20	15	53	95								
SA28		0,21		0,5		17	0,1				24	8,3						9	19	60				solo	basalto			2
SA29			4			17	0,3				31,3	3,9	21	0,3	21,3	0,68	70,00	55	75					solo	basalto			3
SA30			3	5,6		98					20	6						42	60					solo	basalto			3
SA31		0,05		1		77					19,09	1,33	11,9	0,75	12,65	0,66	15,87	56	93	112				solo	basalto			1
SA32		0,04				48		23	<0,05		13,53	1,49	2,8	1,8	4,6	0,34	1,56	122	137									
SA33	0,02	0,09	0,71	<1		44,32	<0,01	11,8	<0,01		10,12	3,5	2	1	3	0,30	2,00	63						solo	regolito	basalto		9
SA34			1	2,37		67,8	0,3	14,2	0,02		16,39	3,7	8,5		8,5	0,52		52						solo	basalto	basalto		6
SA35				1		47					10,4	1,74						42	54	141				solo	basalto			3
SA36	0,006	0,21	0,61	<1	43,42	123,89	2,24	43,83	0,05	0,07	9,62	0,73	45,1	0,3	45,4	4,72	150,33	11	18	73				solo	basalto			5
SA37	<0,01	0,02	0,1	<1	24,14	138,23	0,63	57,4	0,01		12,39	3,28	44,6	0,8	45,4	3,66	55,75	38	44	116	126			solo	basalto			2
SA38	0,01	<0,01	0,29	<1		23,25	0,38	54,8	0,02		9,26	2,4	38	1	39	4,21	38,00	12	36	57				solo	basalto			2
SA39					6	74					13,62	3,94						47	121					solo	basalto			3
SA40			6			86,9					17	5						50						solo	basalto			
SA41	0,025	0,09				8	0,6	26,7	1,1		1,3	0,2	66	0,3	66,3	51,00	220,00	50						solo	basalto			6
SA42	<0,01	<0,01	1,22	27,55	65,07	65,7	10,8	88,7	0,18		1,13	0,05	74,2	0,1	74,3	65,75	742,00	48	60					solo	basalto			48
SA43			2,1				0,41	44,1	0,08	<0,01	0,9	<0,01	59	0,3	59,3	65,89	196,67	21	51	87				solo	basalto			3
SA44	0,012				50	138			0,2		1,6	0						130	140					solo	basalto			3
SA45			5	4		151	<0,1				40,9	2,4	28	1,4	29,4	0,72	20,00							solo	basalto			10
SA48			1	7		68			0,125		18	7						10	16	35,5	120			solo	basalto			4
SA49		0,056		1,5		97	0,59		0,2		21,6	5,8												solo	basalto			2
SA50	0,25	0,06	6,31	10,97	18,41	18,74	0,44	22,3	0,95		13	2,14	66,2	1	67,2	5,17	66,20	33	48	61				solo	basalto			8
SA51					8	68			0,2		11,2	6,3						6	25	122				solo	basalto			3
SA52				0,5	6	52					8,8	1,9						14	28	69				solo	basalto			8
SA53	0,425	0,275	8	4,5	42	18	0,8	35	2,96		6,36	0,29	57,55	1,2	58,75	9,24	47,96	85	115				solo	regolito	basalto			11
SA54			14	10,5	28	168	1,6				12	5						103	106					solo	basalto			6
SA56		<0,01	<1			58		18	<0,05		12,09	3,36	5,79	0,4	6,19	0,51	14,48	59	80					solo	basalto			6
SA57				1		59	<0,1				16	4,4						27	63					solo	basalto			3
SA58			8	7,4	13	78					22	5	15		15	0,68		32	70					solo	basalto			8
SA59	<0,01	0,04	1,46	<1		154,96	0,76	32	<0,01		29,85	7	17,3	0,8	18,1	0,61	21,63	16	34	52	127	167	249	solo	basalto			3
SA60	0,004	0,11	1	6	32	151	0,6	28	0,05		2,44	1,21	68,4	0,4	68,8	28,20	171,00	95	172					solo	basalto			6
SA61	0,02	<0,01	1			186		96	1,87		31,95	11,04	31,1	0,45	31,55	0,99	69,11	41	135					solo	basalto			19
SA62		<0,01	2			32		32	0,11		8,32	1,26	2,66	0,8	3,46	0,42	3,33	31						solo	basalto			19
SA63				1,5		3	<0,1				6,4	2,4						27						solo	basalto			9
SA64	0,003					86			0,05		19,6	6,96						28						solo	basalto			6
SA65		0,05	<1			33		23	0,05		10,61	1,28	2,65	0,45	3,1	0,29	5,89	40	54	79				regolito	basalto			5
SA66		0,06	1	2		59		35	0,06		14,61	2,48	6,91		6,91	0,47		44	54	92				solo	basalto			2
SA67			1			59,1			0,19		12,78	4,04						36						solo	basalto			5
SA68		0,05	1,5	10,6	88	1,7	0,5	25	<0,05	<0,005	0,32	0,34	47,27	0,1	47,37	148,03	472,70	31						colúvio	regolito	basalto		15
SA69	0,012	0,06				36					8	2,9						24						solo	basalto			16

ANEXO II – TABELA DOS POÇOS COM BALANÇO IÔNICO

cod ale	Código	UTM N-S	UTM L-O	Altitude	Município	Localidade	Aquífero	Prof	NE	Nível			Capacidade	
										Potenciométrico	ND	Vazão	Específica	Vaz Outorga
SA4	SA4	7328015	348788	660	Campo Mourão	Piquirivá	Serra Geral	68	6,49	653,51	21	10	0,69	
SA6	SA6	7339150	359600	543,9	Campo Mourão	Sede Municipal	Serra Geral	154	4,92	538,98	18	80	6,12	80
SA10	SA10	7283337	467153	465	Candido de Abreu	Sede Municipal	Serra Geral	400	8,25	456,75	130	2,5	0,02	
SA11	SA11	7322858	300429	463,2	Goioerê	Jaracatiá	Serra Geral	80	4,3	458,9	32,3	170	6,07	42
SA13	SA13	7246721	378621	832	Palmital	Boa Esperança	Serra Geral	150	27	805	47	5,6	0,28	
SA14	SA14	7246285	378119	800	Palmital	Sede Municipal	Serra Geral	103	33,75	766,25	36	8,13	3,61	
SA16	SA16	7245992	351488	679	Laranjal	Sede Municipal	Serra Geral	198	131,64	547,36	160	20	0,71	20
SA24	SA24	7284331	388604	730,2	Roncador	Alto São João	Serra Geral		44,5	685,7	69,45	8	0,32	12
SA25	SA25	7269735	353715	610	Nova Cantú	Santo Rei	Serra Geral	81	12,57	597,43	20	7	0,94	
SA26	SA26	7267363	383819	711	Mato Rico	Sede Municipal	Serra Geral	66	8,5	702,5	42	6,5	0,19	
SA28	SA28	7297722	385756	577	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral	150	8,3	568,7	52,1	14	0,32	
SA30	SA30	7298902	389462	489	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral	210	8,7	480,3	56,3	28,28	0,59	
SA32	SA32	7333722	335253	569,8	Farol	Farol	Serra Geral	150	2,5	567,3	40	60	1,60	
SA33	SA33	7263517	425287	848	Pitanga	Sede Municipal	Serra Geral	178	4,8	843,2	53,09	180	3,73	180
SA34	SA34	7288140	433620	819,3	Manoel Ribas	Sede Municipal	Serra Geral	72	4,35	814,95	50	60	1,31	60
SA35	SA35	7289135	432546	844	Manoel Ribas	Sede Municipal	Serra Geral	150	4,36	839,64	60,95	60	1,06	
SA36	SA36	7292424	405412	540,5	Nova Tebas	Catuporanga	Serra Geral	96	16,36	524,14	72	4	0,07	12
SA37	SA37	7293069	400519	537	Nova Tebas	Catuporanga	Serra Geral	150	32,47	504,53	48	20	1,29	
SA38	SA38	7298829	405366	592	Nova Tebas	Sede Municipal	Serra Geral	250	7,18	584,82	54	10	0,21	
SA42	SA42	7311692	404197	380	Nova Tebas	Poema	Serra Geral	100	16	364	55	15,29	0,39	
SA47	SA47	7309072	484581	620,3	Rosário do Ivaí	Campineiros do Sul	Serra Geral	103	10,28	610,02	33,28	9	0,39	
SA48	SA48	7339473	427263	369	Lunardeli	Sede Municipal	Serra Geral	240	0,94	368,06	44	10	0,23	10
SA49	SA49	7340903	428148	424,3	Lunardeli	Guaretá	Serra Geral	80	2,84	421,46	18,8	72	4,51	
SA50	SA50	7338684	425512	499,8	Lunardeli	Sede Municipal	Serra Geral	150	2,5	497,3	46	13	0,30	
SA51	SA51	7308564	430300	696,7	Ivaiporã	Alto Porã	Serra Geral	150	3,62	693,08	25,68	12	0,54	
SA53	SA53	7345597	417531	374	São João do Ivaí	Sede Municipal	Serra Geral	150	74,4	299,6	99,8	21,9	0,86	
SA55	SA55	7326492	429867	607,9	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	426	140,71	467,19	180	30	0,76	
SA56	SA56	7327108	430871	582,6	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	152	36,23	546,37	41	35	7,34	
SA57	SA57	7326629	430199	615,7	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	80	10,7	605	41	25	0,83	
SA58	SA58	7324930	430090	633	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	180	10,2	622,8	56	15	0,33	15
SA59	SA59	7325533	428232	519	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral	300	22	497	112	25	0,28	
SA60	SA60	7340728	436145	375,4	Jardim Alegre	Porto Ubá	Serra Geral	250	4,34	371,06	54,34	5	0,10	
SA62	SA62	7317192	317976	378,7	Boa Esperança	Sede Municipal	Serra Geral	100	3,8	374,9	18,8	40,71	2,71	40
SA63	SA63	7316066	312368	495,3	Boa Esperança	Arapuã	Serra Geral	80	4,74	490,56	24,74	24	1,20	
SA64	SA64	7270438	309486	401,1	Campina da Lagoa	Bela Vista do Piquiri	Serra Geral	150	22,22	378,88	62	125,5	3,15	
SA66	SA66	7278379	318484	529,8	Campina da Lagoa	Sede Municipal	Serra Geral	100	34,7	495,1	42	35,87	4,91	23
SA67	SA67	7274959	316112	418,7	Campina da Lagoa	Sede Municipal	Serra Geral	150	33,23	385,47	44	28,4	2,64	23
SA69	SA69	7328861	320307	505,1	Janiópolis	Sede Municipal	Serra Geral	150	9,14	495,96	44,03	34	0,97	34
SA70	SA70	7307406	304063	505,2	Juranda	Primavera	Serra Geral	100	18,36	486,84	27	7	0,81	
SA73	SA73	7292312	310048	575,1	Juranda	Rio Verde	Serra Geral	100	22,77	552,33	90,72	4	0,06	4
SA76	SA76	7264172	334756	460,5	Nova Cantú	Geremias Lunardelli	Serra Geral	42	1,4	459,1	30	7,2	0,25	
SA77	SA77	7270128	339836	461,6	Nova Cantú	Sede Municipal	Serra Geral	126	20,29	441,31	32	72	6,15	30
SA78	SA78	7304570	337624	660	Mamborê	Lageado	Serra Geral	54	6,21	653,79	15,6	5	0,53	
SA79	SA79	7294382	340658	613,1	Mamborê	Guarani	Serra Geral	69,9	35,53	577,57	47	17	1,48	17
SA80	SA80	7311075	344358	694,2	Mamborê	Sede Municipal	Serra Geral	120	3,25	690,95	20,36	60	3,51	43
SA83	SA83	7325487	455811	661,3	Grandes Rios	Ribeirão Bonito	Serra Geral	150	108,72	552,58	115,6	8	1,16	
SA85	SA85	7328971	446443	555	Grandes Rios	Sede Municipal	Serra Geral	266	87,6	467,4	186	10	0,10	
SA89	SA89	7313826	368157	603,5	Luiziana	Sede Municipal	Serra Geral	93	5,66	597,84	15	45,2	4,84	
SA90	SA90	7308034	302641	422,1	Rancho Alegre D'oeste	Sede Municipal	Serra Geral	150	3,35	418,75	10,6	21	2,90	
SA91	SA91	7308006	302910	424,9	Rancho Alegre D'oeste	Sede Municipal	Serra Geral	120	4,7	420,2	8	16,66	5,05	16,66
SA95	SA95	7334158	433667	561,6	Lidianópolis	Sede Municipal	Serra Geral	95	44,35	517,25	60	7,82	0,50	
SA96	SA96	7335146	432711	457,6	Lidianópolis	Sede Municipal	Serra Geral	150	12	445,6	43	19	0,61	
SD98	SD98	7288900	374750	856	Roncador	Rio Formoso	Serra Geral N	60	27,53	828,47	45	2,328	0,13	2

cod ale	Código	UTM N-S	UTM L-O	Altitude	Município	Localidade	Aquífero	Prof	NE	Nível			Capacidade	
										Potenciométric	ND	Vazão	Específica	Vaz Outorga
SD99	SD99	7286500	373200	855	Roncador	Santo Antônio	Serra Geral N	42	7,9	847,1	18	3	0,30	3
SD100	SD100	7280550	374150	719	Roncador	Faxinalzinho	Serra Geral N	120	4,82	714,18	8	3,5	1,10	3,5
SD102	SD102	7276800	376500	760	Roncador	Rio Macaco	Serra Geral N	160	7,35	752,65	140	1,5	0,01	1,5
SD103	SD103	7289500	385500	671	Roncador	Cruzamento	Serra Geral N	70	19,8	651,2	25	5	0,96	4
SD105	SD105	7248800	366050	699	Palmital	Água Quente	Serra Geral N	174	60,57	638,43	64	6	1,75	5
SD107	SD107	7251400	373600	656	Palmital	Arroio Grande	Serra Geral N	120	6,89	649,11	17	9	0,89	6
SD108	SD108	7274700	301100	415	Ubiratã	Jandainha	Serra Geral N	140,4	40	375	110	2	0,03	2
SD109	SD109	7277800	297250	456	Ubiratã	Santa Terezinha	Serra Geral N	100	47,95	408,05	50	8	3,90	4
SD110	SD110	7268500	366100	640	Mato Rico	Alto Alegre	Serra Geral N	90	66,57	573,43	75	8,8	1,04	4
SD112	SD112	7325000	373600	662	Barboza Ferraz	Bourbônia	Serra Geral N	100	13,46	648,54	35	55	2,55	17,3
SD117	SD117	7344000	356800	544	Campo Mourão	Vila Rural	Serra Geral	118	15,32	528,68				12
SD122	SD122	7303600	439600	600	Ariranha do Ivaí	Sede Municipal	Serra Geral N	150	2	598	50	13	0,27	13
SD123	SD123	7338800	442800	508	Faxinal	Dizinópolis	Serra Geral N	200	196	312	134	9	-0,15	9
SD126	SD126	7312250	486300	580	Rosário do Ivaí	Campineiros do Norte	PASSA DOIS	103	10,28	569,72	33,28	9	0,39	9
SD128	SD128	7286100	410600	727	Nova Tebas	Santa Clara	Serra Geral N	113	17,7	709,3	33,93	10,84	0,67	6
SD130	SD130	7295500	411200	676	Nova Tebas	Nova Pitanga	Serra Geral N	206	22	654	43,29	2,4	0,11	2,4
SD139	SD139	7325500	428500	582	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral N	90	22	560	31,2	47	5,11	47
SD140	SD140	7327000	431350	577	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral N	80	10,7	566,3	41	25	0,83	25
SD142	SD142	7326200	404200	419	Godoy Moreira	Porto Gaucho	Serra Geral	150	20,78	398,22				1,6
SD143	SD143	7323200	402100	371	Godoy Moreira	Ferradura	Serra Geral	80	14,45	356,55				4
SD144	SD144	7331000	411200	373	Godoy Moreira	Julio Prestes	Serra Geral	52	8,18	364,82				2
SD145	SD145	7327800	408300	354	Godoy Moreira	Bananeira	Serra Geral	63	6,58	347,42				4
B146	B146	7318005	336679	500	Boa Esp. Do Iguaçu	Sede Municipal	Serra Geral							
B150	B150	7311472	300008	460	Goioerê	Rancho Alegre	Serra Geral							
B152	B152	7340043	312379	520	Janiópolis	Bredópolis	Serra Geral							
B154	B154	7306203	303918	506	Juranda	Primavera	Serra Geral							
B155	B155	7293989	340534	620	Mamborê	Guarani	Serra Geral							
B156	B156	7306848	335032	648	Mamborê	Água Grande	Serra Geral							
B157	B157	7319828	337335	650	Mamborê	Cajarana	Serra Geral							
B158	B158	7280912	335196	500	Nova Cantu	Geremias Lunardelli	Serra Geral							
B162	B162	7335512	328880	540	Campo Mourão	Martinópolis	Serra Geral							
B163	B163	7245829	402231	910	Pitanga	São Manoel	Serra Geral							
B166	B166	7340678	383686	540	Barboza Ferraz	Ourlândia	Serra Geral							
B167	B167	7330188	399720	420	Barboza Ferraz	Tereza Breda	Serra Geral							
B168	B168	7324581	378851	600	Barboza Ferraz	Bourbônia	Serra Geral							
B170	B170	7339073	359151	560	Campo Mourão	C. Ruamourense	Serra Geral							
B171	B171	7312260	366776	675	Campo Mourão	Luiziana	Serra Geral							
B172	B172	7329600	448200	670	Grandes Rios	Sede Municipal	Serra Geral							
B173	B173	7330915	450043	670	Grandes Rios	Sede Municipal	Serra Geral							
B174	B174	7299490	387600	547	Iretama	Sede Municipal	Serra Geral							
B175	B175	7334900	434200	540	Jardim Alegre	Lidianópolis	Serra Geral							
B176	B176	7327404	421780	432	Jardim Alegre	Brasinha	Serra Geral							
B177	B177	7330945	428337	555	Jardim Alegre	Placa Luar	Serra Geral							
B178	B178	7327142	430586	720	Jardim Alegre	Sede Municipal	Serra Geral							
B179	B179	7331159	411654	428	Lunardeli	Água Feia	Serra Geral							
B181	B181	7288451	404773	600	Pitanga	Catuporanga	Serra Geral							
B182	B182	7286475	418208	780	Pitanga	Vila Nova	Serra Geral							
B183	B183	7248739	436979	840	Pitanga	Boa Ventura	Serra Geral							

Código	Temp	Cor	Turb	pH	STD	Dureza	Alcal Tot	Bicarb	CO2 Livre	Nitrato	Nitrog Amon	Nitrito	Nitrog Org	Cloreto	Sulfatos	Carbonatos	Carb+Bicarb	Fluoretos	SiO2	Ferro Total
SA4	22	5	0,4 jtu	7,3	94	31	37	37	3,62	0,08	0,01	0,001	0,05	<1			37		28	
SA6		5	0,10unt	7,2	91	44	48,4	48,4	6,2	0,11							48,4			
SA10		<5	<1 ut	9,71	280	4,5	203,77	176,14		<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	1,45	25,2	35,27	211,41	3,5	18,1	0,06
SA11		2,5	0,08ut	7	90	72	76	76	14,7	0,62							76			
SA13		2,5	0,12jtu	6,9	90		36	36							0,2		36			
SA14	19	3	0,39jtu	6,8	90	42	51	51	15,81	0,14	0,01	0,004	0,7	2			51		11	
SA16		5	1	8,28	211	61,12	121,77	148,56		0,79	0,3	<0,01	0,03	1,55	<1		148,56	0,05	69,6	0,2
SA24		2,5	0,18	7,3	101	65	75	75		0,14							75			0,05
SA25	21		16 utn	7,8	120	52	57	57		0,54	0,01	0,02	0,16	1			57		31	0,16
SA26		0	0,06	7,5	198	120,8	134	134		1,46				3			134	0,2		0,018
SA28		2,5	1,1ut	7,8	166	94	107	107		0,16			0,21		0,5		17	0,1		
SA30			0,26	7	128	78,3	98	98		0,35				3	5,6		98			
SA32		3	1,1jtu	7,8	96	40	48	48	1,44	0,2	<0,01		0,04				48		23	<0,05
SA33		10uh	<1ut	6,47	47	39,87	36,33	44,32	7,14	5,25	0,03	0,02	0,09	0,71	<1		44,32	<0,01	11,8	<0,01
SA34		5uh	0,44unt	7,6	65	56,1	67,8	67,8	3,46	0,17				1	2,37		67,8	0,3	14,2	0,02
SA35		2,5	1,30utn	8	95	32	47	47	0,94	0,17					1		47			
SA36		<5	1,5ntu	9,49	183	27	138,33	80,47		<0,04	0,02	0,006	0,21	0,61	<1	43,42	123,89	2,24	43,83	0,05
SA37		<5	1ut	8,92	213	43,97	133,76	114,09		1,19	0,01	<0,01	0,02	0,1	<1	24,14	138,23	0,63	57,4	0,01
SA38		<5	<1ut	8,9	138	32,68	125,25	86,5		1,86	<0,01	0,01	<0,01	0,29	<1	23,25	19,75	0,38	54,8	0,02
SA42		<5	<1ut	10,04	272	2,96	125,45			<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	1,22	27,55	65,07	65,7	10,8	88,7	0,18
SA47	19	5	0,7jtu	7,5	322	161	208	208	12,89		0,01		0,01	2	15		28		12	0,08
SA48		5	0,4ntu	6,6	197	75,7	68	68	35,1	0,05				1	7		68			0,125
SA49		2,5	1,6	7,4	161	78	97	97	7,8	0,02			0,056		1,5		97	0,59		0,2
SA50		20	26ut	8,41	192	41,35	163,75	162,33		4,42	0,06	0,25	0,06	6,31	10,97	18,41	18,74	0,44	22,3	0,95
SA51		2,5	0,99ut	8,3	137	54	68	60		0,16						8	68			0,2
SA53		55	8jtu	9,3	260	17,1	108	66		2	0,055	0,425	0,275	8	4,5	42	18	0,8	35	2,96
SA55		5	4,08unt	9,7	942	286	44	12				0,018		187	442,4	32	44	1,5		
SA56	22	3	0,5jtu	7,9	95	44	58	58	1,39	0,12	<0,01		<0,01	<1			58		18	<0,05
SA57		2,5	0,4utn	7,8	112	58	59	59	1,8	0,13					1		59	<0,1		
SA58		5	0,11ntu	8,4	149	77,6	78	65	5	3,03				8	7,4	13	78			
SA59		5	<1ut	7,58	150	103,73	127,02	154,96	2,68	1,9	0,06	<0,01	0,04	1,46	<1		154,96	0,76	32	<0,01
SA60	26	2,5	0,7jtu	9	227	11	151	119		0,3	<0,01	0,004	0,11	1	6	32	151	0,6	28	0,05
SA62	22	2,5	1,7jtu	7,2	52	26	32	32	3,9	0,14	<0,01		<0,01	2			32		32	0,11
SA63		5	1,6utn	7	70	26	30	30	5,8						1,5		3	<0,1		
SA64		5	1,7ut	7,8	104	73	86	86	2,66	0,33		0,003					86			0,05
SA66		5	2,6jtu	6,95	110	46,7	59	59	11,44		<0,01		0,06	1	2		59		35	0,06
SA67		5	2,3unt	7,4	109	48,5	59,1	59,1	4,78	0,13				1			59,1			0,19
SA69		2,5	0,31utn	7,2	54	32	36	36	4,4	0,07		0,012	0,06				36			
SA70		5	1,5jtu	6	37	7	8	8	15,6	0,06	<0,01		0,36	<1			8		10,6	0,29
SA73		10	6jtu	6,8	100	13	18	18	5,58	0,06	0,07		0,2	<1			18		10	0,4
SA76	18,5	5	0,9jtu	8	138	66	72	72	1,37	3,27	0,07	0,004	0,37	3			72		25	0,05
SA77		0	1utn	7,4		38,6	38	38	2,8	0,01		0,84		1			38			
SA78	22	2,5	0,6jtu	6,6	70	33	38	38	18,62	0,1	0,01	0,004	0,01	<1			38		36,5	0,08
SA79	13	5	0,9jtu	7,1	89	22	30	30	4,62	0,07	0,01	0,004	0,21	<1			3		25	0,16
SA80		2,5	0,07utn	6,8	79	40	39	39	12,1	0,04				3			39	<0,1		
SA83		2,5	0,86utn	6,7	101	66	72	72	27,4				0,06	1			72	<0,1		
SA85		10	5,4ut	7,11	187	77,26	96,91	118,23	8,8	1,64	<0,01	0,01	<0,01	2,75	<1		118,23	0,26	67	0,48
SA89		3	1,3jtu	7,3	120	45	56	56	5,49	0,26	<0,01		0,14	<1		0	56		22	0,15
SA90		10	<1ut	7,83	109	54,14	79,2	91,54		4,15	<0,01	0,01	0,04	4,44	15,49	2,5	94,4	0,57	13,1	<0,01
SA91		5	4,3utn	6,67	54	14	15,87	15,87	7			0,003					15,87			0,24
SA95	20	2,5	0,4jtu	7,3	73	36	44,5	44,5	4,36	0,42	0,01	0,007	0,08	3			44,5		38,4	
SA96		2,5	0,21ut	7,3	180	84	109	109	10,7			0,007			0,2		19			
SD98		2,5	6,9	7,86		75	95	95						0,5			95			

Código	Temp	Cor	Turb	pH	STD	Dureza	Alcal Tot	Bicarb	CO2 Livre	Nitrato	Nitrog Amon	Nitrato	Nitrog Org	Cloreto	Sulfatos	Carbonatos	Carb+Bicarb	Fluoretos	SiO2	Ferro Total
SD99		2,5	0,14	7,2	85	36,8	46,2	46,2	6	0,18					0,5		46,2			0,1
SD100		0	3,3	7,8	30	80,4	79	79						3			79			0,4
SD102		0	1,3	7,6	16	76,8	74	74						3			74			
SD103		2,5	4	8,36		74	93	89						0,5			89			
SD105		0	0,11	7,4		100	114	114	9								114			
SD107		0	0,08	7,8		90,2	103	103	3,2	0,12							13			
SD108		0	0,11	8,2		2,2	49	43	0,4	1				4			43			
SD109		2,5	1,11	8,7	9	37,2	41	41	0					2			41			
SD110		2,5	0,14	8,5	92	51	67,46	65,5							1		65,5			
SD112			2,5	7,3		73	45	45	4,58								45			
SD117		5	0,07	7,1	84	30	35,8	35,8	5,77					1			35,8			
SD122	20	3	0,9	8,2	135	55	81	81	0,97	0,05	0,09	0,005	0,03	1	1		81		27	0,05
SD123		2,5	2	6,9	169	106	108	108	25,9	0,03		0,034		3	1,5		18	0,1		
SD126	19	5	0,7	7,5	322	161	208	208	12,89		0,01		0,01	2	15		28			0,08
SD128		0	0,16	7,2		63,6	63,8	63,8	9					3			63,8			
SD130		0	0,19	7,6		149	183	183	9,5	0,84		0,024		3			183	0,2		
SD139		2,5	1,9	7,5	202	126	133	133	8,9				0,06				133	0,1		
SD140		2,5	0,4	7,8	112	58	59	59	1,8	0,13					1		59	0,1		
SD142		5	2,6	7,5	191	108	114	114	7,4	0,1					1,2		114	0,4		0,2
SD143		3	6,2	9,1	399	19	112	74		0,08	0,002	0,003	0,051	36	60		74	0,1		0,3
SD144		3	1,7	7,2	226	133	154	154		2,45	0,002	0,003	0,037	4			154	0,1		0,1
SD145		2,5	1,1	8,2	185	57,4	98,8	83,4	1,2	0,2					6,5		83,4			3
B146	22			7,2	52			32						2			32		32	
B150	22			6,9	117			55						1			55		22	
B152	22,5			6,2	69			20						1			2		15	
B154				6	37			8						1			8		10,6	
B155				7,1	83			29						1			29		20	
B156	20			6,7	86			27						1			27		25	
B157	22			7,8	187			38						1			38		52,2	
B158	18,5			8	138			72						3			72		25	
B162	20			7	23			11						1			11		15	
B163				7,4	115			81									81		42	
B166	21			7,5	267			180						2			18		23	
B167	20,5			8,4	337			233						1			233		25	
B168	19			7,3	118			69						1			69		22	
B170	20			7,5	50			23						1			23		20	
B171				7,55	134			81						1			81		32	
B172	21			7,9	178			105						3			15		34	
B173	28			7,05	160			80							1		8		35	
B174	20			7,95	157			80						3,5			8		36	
B175	20			7,3	73			44,5						3			44,5		38,4	
B176				8,5	215			153							34		153			
B177				7,6	178			132						3	3		132			
B178	20			7,45	93			27						4	0,5		27		20	
B179				7,8	252			170						4	6		17		43,3	
B181				7,3	126			81						2			81		25	
B182	18			6,9	147			70						14			7		25	
B183	17			7,1	102			44						5			44		25	

ANEXO III – FICHAS DE DESCRIÇÃO DOS AFLORAMENTOS

FICHA DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS			
Roteiro: Curitiba-C Abreu-Pitanga-M Ribas-Campo Mourão-Cascavel-Curitiba		Período: 06/03/06 a 09/03/06	
Projeto : Mestrado - LPGA			
Motivo : Localização de Pedreiras de Basalto e Medidas Estruturais		Executantes : Alessandra de Barros e Silva e Gilson Bongioiolo	
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A1	7273512	477480	766
Localização:			
Ponto de controle na estrada PR- 239 sentido Cândido de Abreu			
Descrição:			
Geomorfologia com cristas de composição basáltica e direção NW.			
Medidas:			
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A2	7281764	460930	
Localização:			
Pedreira em estrada secundária próximo a Cândido de Abreu. Contatos Eduardo (dono do terreno) e Olga (mãe).			
Descrição:			
Basalto extremamente fraturado e com presença de amígdalas. Corte da pedreira EW.			
Medidas:			
N56W/38SW	N50W/32NE	NS/65W	N48E/84NW
N33W/55SW	N38W/42NE		N80E/65SE
N55W/56SW	N58W/33NE		N42E/80NW
	N51W/37NE		N80E/75SE
	N65W/26NE		N30E/SUBV
	N63W/31NE		N19E/65NW
			N87E/50NW
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A3	7262417	423946	892
Localização:			
Pedreira localizada dentro da cidade de Pitanga. O Rio Pitanga fica na borda do patio da lavra co direção EW.			
Descrição:			
Pequena frente abandonada de basalto maciço, medianamente fraturado. Corte da pedreira EW.			
Medidas:			
N85W/SUBV COM ESTRIAS PARA E	N60W/85NE	N30E/82NW	
N80W/SUBV	N10W/84NE	N28E/82NW	
N66W/83SW	N20W/80NE	N29E/70SE	
		N51E/83SE	
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A4	7256703	423129	968
Localização:			
Pedreira Martins e Portes Ltda, Sr. Juarez. Localizada ao sul da cidade de Pitanga na rodovia PR-460 km 80. Lavra em atividade com britador anexo.			
Descrição:			
Basalto maciço muito quebrado, sem planos definidos próximo a camda de alteração. Apresenta níveis amigdalóides.			
Medidas:			
N80W/SUBV COM ESTRIAS PARA E	N80W/68NE	N52E/76SE	
N84W/84SW		N68E/74SE	
N40W/84SW		N36E/80SE	
N50W/84SW		N70E/SUBV	
		N77E/85SE	

Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A5	7272433	416415	892
Localização:			
Lavra abandonada na beira da PR-460 na localidade de Arroio Grande. Direção da frente NW/SE (paralela a estrada)			
Descrição:			
Basalto com camada de alteração espessa no topo da bancada principal, apresenta fraturas preenchidas por calcita.			
Medidas:			
N68W/85NE	N70W/80SW	EW/73S	N55E/88SUBV
N75W/78NE		EW/SUBV	N75E/74SE
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A6	7289237	432140	893
Localização:			
Saibreira abandonada da prefeitura de Manoel Ribas.			
Descrição:			
Andesitos e Traquitos alterados e cataclados com vesículas preenchidas por material talcoso. Grande quantidade de minerais metálicos dando brilho à rocha			
Medidas:			
N33W/SUBV	N70W/84SW	N66E/85SE	N20E/60NW
N45W/69NE	N86W/73SW		N20E/70NW
N82W/77NE			N30E/75NW
N40W/76NE			
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A7	7321989	435731	894
Localização:			
Frente de lavra nas proximidades de Ivaiporã. Propriedade Comercial Ivaiporã, encarregado Euclides.			
Descrição:			
Rocha de composição basáltica, maciça, bastante fraturada.			
Medidas:			
N70E/SUBV	N71W/82SW	N30W/82NE	
N49E/SUBV	N40W/SUBV	N78W/82NE	
N42E/SUBV	N25W/55SW		
N65E/84SE			
N78E/SUBV			
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A8	7341016	437035	391
Localização:			
A margem da BR 369. Limite norte da área com o Rio Ivaí.			
Descrição:			
Afloramento de basalto			
Medidas:			
N55E/SUBV	N73W/85NE	N16W/85SW	N08E/85SE
N60E/SUBV	N85W/SUBV	N33W/73SW	EW/70SW
N75E/85NW		N76W/78SW	
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A9	7330039	429142	612
Localização:			
Mineração Estrela do Ivaí. Britador anexo			
Descrição:			
Pedreira ativa de basalto			
Medidas:			
N60E/80SE	N40W/80NE		
N53E/85SE	N45W/81NE		
N20E/76SE	N50W/78NE		
N10E/75SE	N80W/86NE		
N50E/SUBV	N62W/40NE		
N15E/SUBV			

Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A10	7343269	363115	513
Localização:			
Pedreira e Usina de Asfalto Casali, Campus Mourão. Matilde contato. Tuta dono.			
Descrição:			
Basalto cinza claro de composição mais ácida. Apresenta planos de fratura NW com preenchimento de calcita.			
Medidas:			
N75W/80NE	N35E/85SE		
N77W/SUBV	N42E/SUBV		
N60W/85NE	N38E/SUBV		
N83W/82NE			
N50W/SUBV			
N15W/82NE			
N15W/85NE			
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A11	7316067	377465	473
Localização:			
Pedreira Luca. Encarregado Ronaldo. Britador Anexo. Município de Luiziana.			
Descrição:			
Basalto com grande quantidade de vesículas e amígdalas preenchidas por carbonato. Apresenta no piso material brechado com veios de quartzo e calcita preenchendo fraturas e vazios.			
Medidas:			
N54W/75NE	EW/SUBV	N5E/SUBV	N65E/84NW
N15W/SUBV	EW/72SE		N72E/82NW
N12W/85NE	EW/85NE		
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A12	7280237	368563	673
Localização:			
Pedreira abandonada da Prefeitura de Roncador, local junto a drenagem de grande porte.			
Descrição:			
Basalto.			
Medidas:			
N08E/SUBV	N42W/75SW	N40W/83NE	
N80E/SUBV	N70W/SUBV	N70W/84NE	
N30E/SUBV	N43W/SUBV	N67W/SUBV	
N78E/SUBV			
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A13	7257611	324100	502
Localização:			
Pedreira abandonada de prefeitura de Altamira do Paraná. Acesso à pé.			
Descrição:			
Basalto maciço e amígdalóide.			
Medidas:			
N25W/SUBV	N50E/SUBV	N15E/SUBV	
N05W/SUBV	N51E/83NW	N85E/76SE	
N05W/78NE		N05E/80SE	
N26W/SUBV			
N35W/73NE			

Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A14	7263757	322164	346
Localização:			
Rio Cantú			
Descrição:			
Alinhamento NE/SW. Geomorfologia de vales e topos com cristas alinhadas.			
Medidas:			
Ponto:	UTM N	UTM E	Altitude
A15	7287644	307713	400
Localização:			
Pedreira Ubiratã. Com britador anexo. Não foi permitida a entrada.			
Descrição:			
Medidas tomadas em barranco de estrada.			
Medidas:			
NS/SUBV	N54E/83NW	N65E/74SE	N30W/82SW
NS/SUBV	N50E/SUBV	N20E/60SE	
	N66E/83NW	N45E/SUBV	
	N55E/74NW		