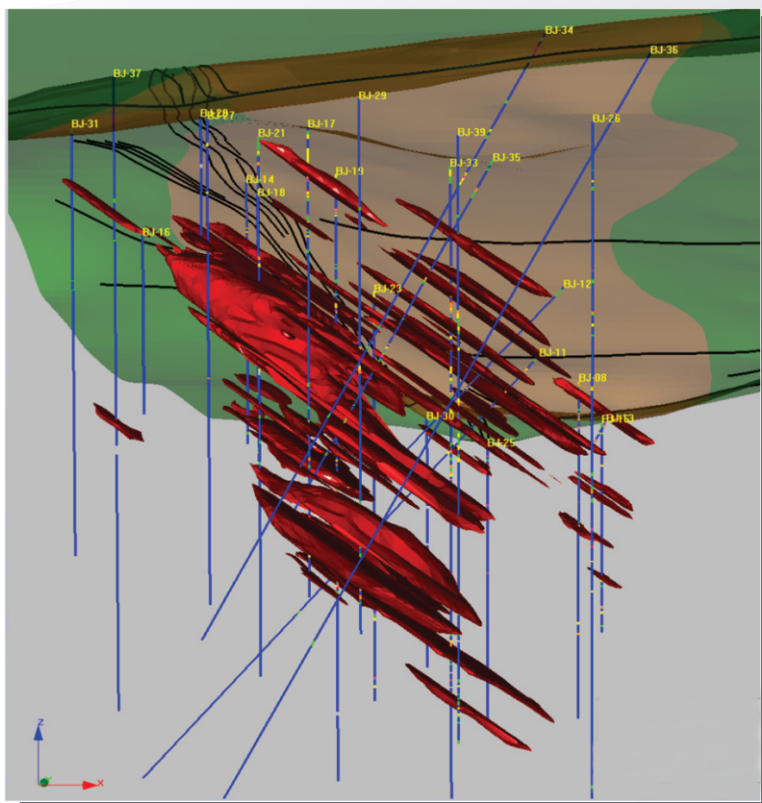
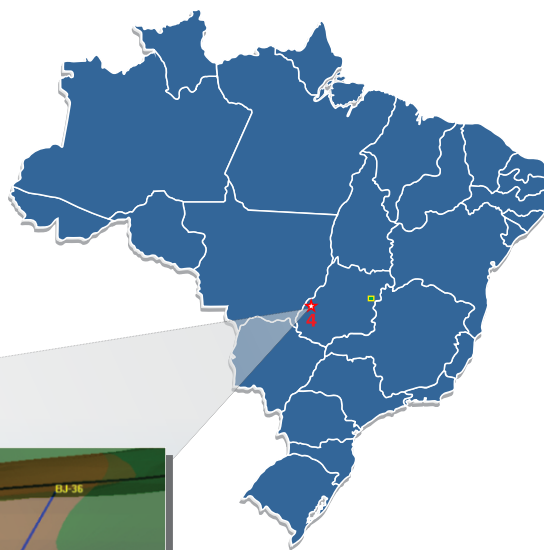




SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Reavaliação do Patrimônio Mineral

PROJETO BOM JARDIM - COBRE -



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais
Departamento de Recursos Minerais
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

RELATÓRIO DE REAVALIAÇÃO DO PATRIMÔNIO MINERAL

BOM JARDIM – GOIÁS

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
Fernando Bezerra de Sousa Coelho Filho
Ministro de Estado

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Vicente Humberto Lôbo Cruz
Secretário

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
Eduardo Jorge Ledsham
Diretor-Presidente

José Leonardo Silva Andriotti (interino)
Diretor de Geologia e Recursos Minerais
Stênio Petrovich Pereira

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial
Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento
Nelson Victor Le Cocq d'Oliveira

Diretor de Administração e Finanças
Marco Túlio Naves de Carvalho (interino)
Chefe do Departamento de Geologia
José Leonardo Silva Andriotti (interino)

Chefe do Departamento de Recursos Minerais
Ruben Sardou Filho

Chefe da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória
José Márcio Henriques Soares (interino)

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação
José Márcio Henriques Soares

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Superintendência Regional de Goiânia
Luiz Fernando Magalhães
Superintendente Regional
Luciana Felício Pereira

Gerente de Geologia e Recursos Minerais
Marcelo Henrique da Silva Rosa
Gerente de Administração e Finanças
Cíntia de Lima Vilas Boas

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial
Sheila Soraya Alves Knust

Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais
Departamento de Recursos Minerais
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

RELATÓRIO DE REAVALIAÇÃO DO PATRIMÔNIO MINERAL

BOM JARDIM – GOIÁS

**EQUIPE TÉCNICA
(Executores do Informe)**

Coordenação Geral
Francisco Valdir Silveira

Supervisão Técnica Nacional
Maísa Bastos Abram

Chefe do Projeto
Ricardo Wosniak

Equipe Técnica (Executores do Informe)

Pesquisadores em Geociências
Stella Bijos Guimarães (Geologia)
Diogo Alves de Sordi (Geofísica)

Eduardo Duarte Marques (Geoquímica)

Leandro Guimarães Silva (QA/QC)

Luiza Lopes de Araújo (Modelagem 3D e Estimativa de Recursos)

Angeval Alves de Brito (Avaliação Econômica)

Luciana Felício Pereira (Socioambiental)

Élcio Rodrigues (Direitos Minerários)

Compatibilização e Revisão

Ricardo Wosniak

Stella Bijos Guimarães

Diogo Alves de Sordi

Ruben Sardou Filho

COLABORADORES TÉCNICOS

Pesquisadores em Geociências

Gerson Manoel Muniz de Matos

Gilmar José Rizzotto

Cláudio Gerheim Porto

Lília Mascarenhas Sant'Agostino (DNPM)

Departamento de Geologia e Produção Mineral – DGPM

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGB

APOIO TÉCNICO

Fábio Silva da Costa (Topografia)

Rubens Esteves Kenup (Topografia)

Jônathan Nereu Lisbôa Rojas (Litoteca e Ensaios
Densidade)

Rogério Celestino de Almeida (Geoprocessamento)

Davi Cerqueira Grilo (Geoprocessamento)

Lucas Camargo Marquezini (Geoprocessamento)

Carlos Vinícius Torres (Litoteca e Ensaios Densidade)

APOIO ADMINISTRATIVO

Maria Madalena Figuerêdo de Lima

Luciana Pinheiro

ESTAGIÁRIOS

Vitor do Sacramento

Adriana Santos Albergaria

Marcéu Barreto Oliveira

Ricardo dos Santos Ribeiro

Camila Evangelista Fonseca

REVISÃO FINAL

Marco Túlio Naves de Carvalho (interino)

Chefe do Departamento de Geologia

REVISÃO ORTOGRÁFICO-GRAMATICAL

Sueli Cardoso de Araújo

	SUMÁRIO	1
1	INTRODUÇÃO	1
2	LOCALIZAÇÃO, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA	2
2.1	Rodovias	2
2.2	Portos	3
2.3	Ferrovias	5
2.4	Aeroportos	6
2.5	Recursos Energéticos	6
3	HISTÓRICO DO PROJETO	7
3.1	Estimativa Histórica de Recursos	8
3.2	Informe de Recursos Minerais	8
4	ASPECTOS LEGAIS	10
5	FISIOGRAFIA	12
5.1	Clima, Qualidade do Ar e Emissões Sonoras	12
5.2	Geomorfologia e Solos	12
5.3	Águas Superficiais e Subterrâneas	13
6	GEOLOGIA REGIONAL	15
7	GEOLOGIA LOCAL	17
7.1	Histórico	17
7.2	Unidades Geológicas	18
7.3	Geologia Estrutural	22
8	TIPO DE DEPÓSITO	24
8.1	Mineralização	24
8.2	Modelo Metalogenético	27
9	PROCEDIMENTOS DE RESGATE DE DADOS ANALÓGICOS	29
9.1	Testemunhos de Sondagem	29
9.2	Resgate de Dados de Logs de Sondagem	31
9.3	Resgate de Resultados Analíticos	32
9.4	Resgate de Descrições Petrográficas e Calcográficas de Amostras de Furos de Sondagem	33
9.5	Levantamento de Coordenadas em Campo	34
9.5.1	Equipamento	35
9.5.2	Estabelecimento de ponto-base	35
9.5.3	Localização de furos de sondagem	36
9.5.4	Estabelecimento de coordenadas de furos de sondagem	36
9.5.5	Cálculo das altitudes ortométricas (H)	37

9.6	Espacialização dos Dados	38
9.6.1	Ajustamento das coordenadas dos furos de sondagem	39
9.6.2	Ajustamento das coordenadas das estações geoquímicas	41
9.7	Topografia	43
9.8	Redescrição de Furos	45
9.9	Perfis Descritivos de Sondagem	48
10	PROSPECÇÃO GEOFÍSICA	49
10.1	Recuperação de Dados do Levantamento Geofísico Terrestre no Alvo 01 (Capibaribe)	49
10.1.1	Magnetometria	49
10.1.2	VLF	51
10.1.3	Polarização induzida	51
10.2	Interpretação de Dados Aerogeofísicos	52
10.2.1	Aerogamaespectrometria	53
10.2.1.1	<i>Produtos gamaespectrométricos</i>	<i>53</i>
10.2.1.2	<i>Domínios gamaespectrométricos</i>	<i>60</i>
10.2.1.3	<i>Lineamentos gamaespectrométricos</i>	<i>61</i>
10.2.2	Aeromagnetometria	62
10.2.2.1	<i>Produtos magnetométricos</i>	<i>62</i>
10.2.2.2	<i>Interpretação de dados magnetométricos</i>	<i>68</i>
10.2.2.3	<i>Domínios aeromagnetométricos</i>	<i>69</i>
10.2.3	Integração de dados magnetométricos e gamaespectrométricos	70
10.3	Reinterpretação de Dados Terrestres e Integração com Dados Aerogeofísicos na Área da CPRM	71
10.3.1	Magnetometria	71
10.3.2	VLF	74
10.3.3	Polarização induzida	75
10.4	Resultados	76
11	PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA	79
11.1	Metodologia	79
11.2	Resultados	81
11.3	Discussão	87
12	ANÁLISES E QA/QC	111
12.1	Ensaio de Densidade	111
12.1.1	Metodologia	111
12.1.2	Resultados	112

12.2	Reanálises	113
12.2.1	Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)	114
12.2.2	Comparativo entre laboratórios	115
12.2.3	Amostras-padrão	117
12.2.4	Duplicatas de polpa	122
12.4	Resultados	125
13	MODELAGEM GEOLÓGICA	126
13.1	Metodologia	126
14	ESTIMATIVA DE RECURSOS	136
14.1	Definição de Modelo de Blocos	136
14.2	Compositagem das Amostras	137
14.3	Análise Estatística	140
14.4	Estimativa de Recursos e Teores	141
14.5	Classificação de Recursos	143
14.6	Curva de Parametrização	143
15	ESTUDOS DE BENEFICIAMENTO	144
15.1	Material Utilizado	144
15.1.1	Amostragem	144
15.1.2	Preparação de amostra	144
15.2	Caracterização do Minério	145
15.2.1	Caracterização petrográfica	145
15.2.2	Caracterização química e mineralógica	145
15.2.2.1	<i>Distribuição de cobre nas diversas frações granulométricas</i>	<i>146</i>
15.2.2.2	<i>Estudo de liberação</i>	<i>147</i>
15.2.2.3	<i>Estudo de composição mineralógica</i>	<i>149</i>
15.3	Ensaio de Flotação	150
15.3.1	Metodologia	150
15.3.2	Resultados obtidos em dois estágios	151
15.3.3	Resultados obtidos em três estágios	154
16	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	157
16.1	Aspectos Mercadológicos do Cobre no Mundo	157
16.1.1	Reservas	157
16.1.2	Produção	157
16.1.3	Balança comercial	162
16.1.4	Preços	163
16.2	Panorama Nacional	164

16.2.1	Reservas	164
16.2.2	Balança comercial	165
16.2.3	Arrecadação	165
16.3	Investimentos e Projetos em Andamento e/ou Previstos	167
17	DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL	168
17.1	Legislação Ambiental Pertinente	168
17.2	Diagnóstico Ambiental Expedito	168
17.2.1	Metodologia	168
17.3	Ecosistemas e Biodiversidade	171
17.4	Socioeconomia	172
17.5	Espaços Territoriais Protegidos	176
17.6	Impactos Prováveis	177
18	RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES	179
	REFERÊNCIAS	180

LISTA DE FIGURAS

Nº	LEGENDA	
1 –	Mapa de localização, modal e infraestrutura de apoio da região de influência do projeto Bom Jardim	2
2 –	Mapa de localização da área do projeto (retângulo verde) e vias de acesso à região de Bom Jardim de Goiás	3
3 –	Mapa hidroviário na região de influência do projeto Bom Jardim	4
4 –	Fluxo de carregamento (t) projetado para 2030 na hidrovía Tocantins-Araguaia (porto de Aruanã destacado pelo círculo vermelho)	4
5 –	Mapa ferroviário da região do projeto Bom Jardim	5
6 –	Rede de transmissão e subtransmissão de energia elétrica em Goiás no ano de 2012	6
7 –	Localização e situação das áreas da CPRM no ano de 1980	8
8 –	Situação legal atual dos processos do DNPM na região do projeto	10
9 –	Área com relevo em <i>cuesta</i> em sedimentos da bacia do Paraná	12
10 –	Formas côncavas e arredondadas sobre granitoides da suíte Serra Negra .	13
11 –	Mapa geológico regional da porção norte da província Tocantins	15
12 –	Mapa geológico do arco magmático de Goiás na região sudoeste de Goiás	16
13 –	Mapa geológico simplificado da área do projeto Bom Jardim	18
14 –	Coluna estratigráfica do grupo Bom Jardim de Goiás (espessuras estimadas)	19
15 –	Mapa geológico do depósito de Bom Jardim, com localização dos furos de sonda realizados pela CPRM	20
16 –	A) Afloramento de rocha vulcânica na área do depósito de Bom Jardim, delimitado pela CPRM, com moderada presença de vênulas e B) abundantes venulações. C) Fotomicrografia (BJ-22 – 23,87 m) de tufo cinerítico mostrando matriz cinerítica. D) Fotomicrografia (BJ-39 – 39,72 m) de tufo de cristais mostrando cristais de quartzo, feldspato e pirita em matriz cinerítica. E) Fotomicrografia (BJ-22 – 20,0 m) de tufo de cristais exibindo fragmentos de púmice. F) Fotomicrografia (BJ-22 – 201,45m) de tufos cineríticos com amígdalas preenchidas por material vítreo	21
17 –	Mapa geológico simplificado, com as principais falhas da região	23
18 –	Formas de ocorrência dos sulfetos no depósito de Bom Jardim	25
19 –	Tipos de vênulas e alterações provocadas nos tufos	26
20 –	Prateleiras de armazenamento das caixas de acondicionamento dos furos de	

	sondagem na litoteca regional de Caeté (MG)	31
21 –	Log original escaneado	31
22 –	Tabela original escaneada com os resultados analíticos das amostras dos furos de sondagem	33
23 –	Certificado original com os resultados analíticos de geoquímica de solos ...	33
24 –	Formulários de descrição petrográfica e calcográfica escaneados	34
25 –	Ponto-base para levantamento topográfico da boca dos furos de sonda	35
26 –	Ocupação e rastreio dos furos de sondagem	36
27 –	Modelo de interpolação de ondulação geoidal – MAPGEO2010	37
28 –	Mapa com a localização do ponto de amarração utilizado no sistema de coordenadas locais do projeto Bom Jardim	38
29 –	Mapa geológico do alvo 01 (escaneado) utilizado como referência para georreferenciamento, digitalização e extração das coordenadas dos furos não encontrados	40
30 –	Ajustamento dos pontos de geoquímica das coordenadas locais às coordenadas UTM	42
31 –	Resultado da interpolação do modelo digital de terreno	44
32 –	<i>Box plot</i> com a distribuição dos teores de cobre por todos os litotipos	45
33 –	A) Caixa 4114 do furo BJ-18 (31,65 m a 35,63 m)*. B) Caixa 4159 do furo BJ-19 (67,25 m a 70,25 m)**	47
34 –	Modelo do log de sondagem criado para o projeto	48
35 –	Mapa digitalizado dos dados magnetométricos terrestres	50
36 –	Imagem dos dados VLF digitalizados	51
37 –	Imagem dos dados de polarização induzida digitalizados	52
38 –	Imagem do canal de potássio (K)	54
39 –	Imagem do modelo digital de terreno (MDT)	55
40 –	Imagem do canal de tório (Th)	56
41 –	Imagem do canal de urânio (U)	57
42 –	Imagem do canal de contagem total (CT)	58
43 –	Imagem da composição ternária RGB	59
44 –	Imagem da composição ternária CMY	60
45 –	Interpretação de domínios gamaespectrométricos	61
46 –	Interpretação de lineamentos gamaespectrométricos	62
47 –	Imagem do campo magnético anômalo (CMA)	63
48 –	Imagem do campo magnético anômalo (CMA) com as principais anomalias (A/B)	64

49 –	Imagem da inclinação do sinal analítico (ISA)	65
50 –	Imagem da primeira derivada vertical do CMA (DZ1-CMA)	66
51 –	Imagem da amplitude do sinal analítico (ASA)	67
52 –	Imagem da amplitude do gradiente horizontal total (AGHT)	68
53 –	Interpretação dos lineamentos magnetométricos sobre a imagem da primeira derivada vertical (DZ)	69
54 –	Interpretação dos três principais domínios magnetométricos sobre a imagem de CMA	70
55 –	Integração de lineamentos magnetométricos e gamaespectrométricos	71
56 –	Mapa de interpretação e integração de dados magnetométricos terrestres e aéreos	73
57 –	Imagem do parâmetro F sobreposto aos lineamentos magnetométricos terrestres reinterpretados e aéreos, indicando as regiões de enriquecimento de potássio na parte sul do corpo mineralizado e de urânio na parte norte do corpo	74
58 –	Interpretação e integração de dados VLF com dados magnetométricos e IP e o corpo de minério inferido pelos furos de sondagem	75
59 –	Imagem de integrações geofísicas relacionadas às interpretações de IP	76
60 –	Mapa de integração das interpretações geofísicas terrestres e aéreas	78
61 –	Histogramas para os elementos analisados na forma bruta e log normalizados (levantamento regional)	80
62 –	Gráficos de probabilidade normal para os elementos analisados na forma bruta e log normalizados (levantamento regional)	81
63 –	Mapa geológico simplificado da área do projeto	83
64 –	Distribuição da malha de solos no levantamento regional	83
65 –	Distribuição da malha de solos nos levantamentos de detalhe	84
66 –	Distribuição da malha de solos no levantamento por unidades geológicas baseado no levantamento regional	85
67 –	Representação da simbologia para compor os mapas geoquímicos unielementares baseados em gráficos <i>box plot</i>	86
68 –	Mapa geoquímico unielementar de Cu para o levantamento regional	88
69 –	Mapa geoquímico unielementar de Pb para o levantamento regional	89
70 –	Mapa geoquímico unielementar de Zn para o levantamento regional	89
71 –	Mapa geoquímico unielementar de Ni para o levantamento regional	90
72 –	Mapa geoquímico unielementar de Mn para o levantamento regional	90
73 –	Mapa geoquímico unielementar de Fe para o levantamento regional	91

74 –	Mapa geoquímico unielementar de Cu para o levantamento de detalhe	91
75 –	Mapa geoquímico unielementar de Pb para o levantamento de detalhe	92
76 –	Mapa geoquímico unielementar de Zn para o levantamento de detalhe	92
77 –	Mapa geoquímico unielementar de Mn para o levantamento de detalhe	93
78 –	Mapa geoquímico unielementar de Fe para o levantamento de detalhe	93
79 –	Gráficos de dispersão das melhores correlações obtidas para o levantamento regional	95
80 –	Gráficos de dispersão das melhores correlações obtidas para o levantamento por subunidades	96
81 –	Mapa de associação geoquímica de Pb-Zn extraído da análise fatorial para as amostras das subunidades 4, 5 e 6 (área destacada em vermelho no mapa geológico)	98
82 –	Mapa geoquímico unielementar de Cu para a subunidade 1 (destacada em hachuras no mapa geológico)	99
83 –	Mapa geoquímico unielementar de Pb para a subunidade 1 (destacada em hachuras no mapa geológico)	100
84 –	Mapa geoquímico unielementar de Zn para a subunidade 1 (destacada em hachuras no mapa geológico)	101
85 –	Mapa geoquímico unielementar de Cu para a subunidade 2 (destacada em hachuras no mapa geológico)	102
86 –	Mapa geoquímico unielementar de Pb para a subunidade 2 (destacada em hachuras no mapa geológico)	103
87 –	Mapa geoquímico unielementar de Zn para a subunidade 2 (destacada em hachuras no mapa geológico)	104
88 –	Mapa geoquímico unielementar de Cu para a subunidade 3 (destacada em hachuras no mapa geológico)	105
89 –	Mapa geoquímico unielementar de Pb para a subunidade 3 (destacada em hachuras no mapa geológico)	106
90 –	Mapa geoquímico unielementar de Zn para a subunidade 3 (destacada em hachuras no mapa geológico)	107
91 –	Mapa geoquímico unielementar de Cu para as subunidades 4, 5 e 6 (destacadas em hachuras no mapa geológico)	108
92 –	Mapa geoquímico unielementar de Pb para as subunidades 4, 5 e 6 (destacadas em hachuras no mapa geológico)	109
93 –	Mapa geoquímico unielementar de Zn para as subunidades 4, 5 e 6 (destacadas em hachuras no mapa geológico)	110

94 –	Histograma de 191 amostras com resultados de densidade	113
95 –	Scatter plot mostrando a distribuição de 191 valores de densidade por teor	113
96 –	Histograma do comprimento das amostras	114
97 –	Comparativo entre laboratórios para análise de Cu	115
98 –	Comparativo entre laboratórios para análise de Pb	116
99 –	Comparativo entre laboratórios para análise de Zn	117
100 –	Gráfico de análise de Cu para o padrão BRP-1	118
101 –	Gráfico de Zn indicando viés negativo e dois <i>outliers</i>	118
102 –	Gráfico dos teores de Pb com viés dentro do limite aceitável	119
103 –	Gráfico de Al ₂ O ₃ indicando viés negativo	119
104 –	Gráfico de análise de Ba para o padrão BRP-1	120
105 –	Gráfico de Ce indicando alto viés positivo e dois <i>outliers</i> que caem sobre a reta do valor certificado	121
106 –	Gráfico de La indicando alto viés positivo	121
107 –	Gráfico de TiO ₂ indicando forte viés negativo	122
108 –	Gráfico comparativo entre análises de Cu realizadas por LAMIN e SGS Geosol	123
109 –	Gráfico comparativo para Pb	124
110 –	Gráfico comparativo para Zn	124
111 –	Mapa geológico do alvo 01 do projeto Bom Jardim, com locação de furos e seções verticais	127
112 –	Seção geológica 710S	128
113 –	Seções geológicas 715S e 725S*	129
114 –	Seções geológicas 730S e 745S*	130
115 –	Seções geológicas 750S e 760S	131
116 –	Seções geológicas 770S e 780S	132
117 –	Imagem com vista para leste evidenciando as seções verticais e os halos anômalos de Cu (teor maior do que 0,04% Cu) e os corpos mineralizados (teor maior do que 0,2% Cu)	134
118 –	Imagem tridimensional dos sólidos do corpo mineralizado final (vista para norte)	135
119 –	Imagem tridimensional dos sólidos do corpo mineralizado final (vista para leste)	135
120 –	Seção 760S: aderência do modelo de blocos aos sólidos interpretados	136
121 –	Distribuição do tamanho das amostras originais de minério	137

122 – Gráficos comparativos dos resultados obtidos nos testes de regularização das amostras	139
123 – Distribuição do tamanho das compostas geradas	140
124 – Histogramas de frequência com distribuição de Cu e densidade das amostras originais e amostras compostas posicionadas dentro dos sólidos mineralizados	141
125 – Imagem tridimensional dos recursos estimados classificados por faixas de teores de cobre (vista para leste)	142
126 – Imagem tridimensional dos recursos estimados classificados por faixas de teores de cobre (vista para norte)	142
127 – Parametrização de recurso total para cobre	143
128 – Fluxograma de preparação de amostra	145
129 – Histograma de distribuição de Cu nas faixas granulométricas	147
130 – Distribuição acumulativa de cobre	147
131 – Fluxograma de flotação do cobre em dois estágios	150
132 – Fluxograma de flotação de cobre em três estágios	155
133 – A) Evolução da produção mundial de cobre (mineração) de 1900 a 2015. B) Distribuição da produção mundial (2015) de cobre (mineração) por país. C) Trends da capacidade de mineração de cobre (concentrados e SX-EW) de 1999 até 2019	158
134 – A) Evolução da produção mundial de cobre por fundição (1980-2015). B) Distribuição da produção mundial de cobre (fundição) por país	160
135 – A) Evolução da produção mundial de cobre por refinarias (1960-2013). B) Distribuição da produção mundial de cobre (refinarias) por país	161
136 – Principais fluxos de comércio internacional de produtos de cobre*	162
137 – A) Evolução do consumo mundial de cobre refinado (1900-2013). B) Evolução do consumo mundial de cobre <i>per capita</i> de 1950 a 2015*	163
138 – Distribuição do consumo de cobre por região e por setor (2015)	163
139 – Variação anual do preço médio de cobre (metal) no período de 1960-2015	164
140 – Distribuição de exportações/importações brasileiras por produto do setor mineral extrativista	166
141 – Participação na arrecadação de CFEM das principais substâncias no primeiro semestre de 2016	166
142 – Pontos de caminhamento na área	170
143 – Vegetação de cerradão em áreas declivosas e de solo mais fértil	172
144 – Vereda com buritis	172

145 – Assentamentos rurais em Bom Jardim de Goiás	173
146 – Sinalização da entrada do assentamento Mixirica	174
147 – Casa de morador no assentamento Miceno Moreira de Barros	175
148 – Uso e ocupação do solo na área	175
149 – Mapa das áreas de preservação permanente dentro da área	177

LISTA DE QUADROS

Nº	LEGENDA	
1 –	Estimativa dos recursos do depósito de Bom Jardim	III
2 –	Dados físicos de produção dos trabalhos de pesquisa mineral no Projeto Bom Jardim	9
3 –	Alvarás de terceiros na região do projeto	11
4 –	Tipos, composição e orientação preferencial dos veios em furos de sondagem do depósito de Bom Jardim	26
5 –	Eventos tectônicos ocorridos na região do depósito de Bom Jardim	27
6 –	Comparativo entre os depósitos de sulfeto maciço vulcanogênico (VMS), epitermais, pórfiros e de Bom Jardim	28
7 –	Furos de sondagem executados no projeto Bom Jardim	30
8 –	Cabeçalho da tabela de geologia após a digitalização	32
9 –	Cabeçalho da tabela de petrografia	34
10 –	Coordenadas planialtimétricas dos furos de sondagem encontrados no alvo 01	37
11 –	Padrão de exatidão cartográfica para as escalas dos mapas	39
12 –	Comparação entre as coordenadas locais e coordenadas UTM (WGS 84, DATUM 22S) dos furos contidos no alvo 01	41
13 –	Intervalos ausentes dos furos de sondagem do alvo 01	46
14 –	Distribuição das amostras selecionadas para ensaios de densidade	111
15 –	Distribuição das amostras submetidas a ensaios de densidade	112
16 –	Amostras de controle das análises químicas dos testemunhos de sondagem	114
17 –	Intervalos mineralizados nos furos de sonda do alvo 01	133
18 –	Parâmetros utilizados no modelo de blocos	136
19 –	Comparação entre volumes calculados por <i>wireframes</i> e modelo de blocos	137
20 –	Parâmetros utilizados nos testes de regularização do tamanho das amostras	138
21 –	Resultados obtidos nos testes de regularização das amostras	139
22 –	Parâmetros utilizados na classificação de recursos	141
23 –	Ensaio densimétrico nas frações granulométricas	148
24 –	Composição mineralógica do minério de cobre	149
25 –	Composição dos sulfetos	149

26 –	Ensaio de flotação utilizando coletor Z-200	152
27 –	Ensaio de flotação utilizando coletor Isopropil Xantato (Z-11)	152
28 –	Ensaio de flotação utilizando coletor Minerec	153
29 –	Balanço metalúrgico do teste nº 11	153
30 –	Balanço metalúrgico do teste nº 12	154
31 –	Balanço metalúrgico do teste nº 13	154
32 –	Resultados dos ensaios de flotação em três estágios	155
33 –	Vinte maiores minas de cobre em capacidade no mundo	159
34 –	Vinte maiores <i>smelters</i> de cobre em capacidade no mundo	160
35 –	Vinte maiores refinarias de cobre em capacidade no mundo	161
36 –	Distribuição de reservas lavráveis brasileiras de cobre por estado da federação	164
37 –	Principais estatísticas de consumo interno de cobre no Brasil	165
38 –	Assentamentos rurais em Bom Jardim de Goiás	174

LISTA DE TABELAS

Nº	LEGENDA	
1	Dados de qualidade de água em estações à jusante da área	13
2	Parâmetros estatísticos pertinentes dos metais analisados para levantamento regional, de detalhe e por subunidades	86
3	Matriz de correlação de Spearman para os elementos analisados no levantamento regional	94
4	Matriz de correlação de Spearman para os elementos analisados no levantamento por subunidades	96
5	Resultados estatísticos obtidos a partir do tratamento dos dados de amostras originais e compostas posicionadas dentro dos sólidos mineralizados	140
6	Comparação entre teores médios e densidades médias do modelo de blocos e das compostas	143
7	Distribuição das amostras dos furos de sondagem	144
8	Distribuição da porcentagem de Cu total nas frações granulométricas	146
9	Resultados dos ensaios de flotação sequencial em intervalos de tempo de 0,5, 1,5, 2,5e 3,5 minutos, utilizando o coletor Z-200	151
10	Resultados dos ensaios de flotação sequencial em intervalos de tempo de 0,5, 1,0, 1,5 e 2 minutos, utilizando o coletor Minerec	151
11	Reservas e produção mundial de cobre contido	157

SUMÁRIO

O Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral da CPRM tem como objetivo resgatar e reavaliar dados e informações geológicas, geoquímicas e geofísicas geradas pela CPRM entre as décadas de 1970 e 1990 e que constituem o patrimônio mineral da empresa, validando-os, organizando-os em banco de dados em formato digital, integrando-os e reinterpretando-os à luz do conhecimento geológico atual.

Esses dados, tanto quanto possível, foram resgatados, integrados e modelados conforme preconizado no Código JORC (Joint Ore Reserves Committee), procurando-se, ao final, definir uma nova cubagem para as jazidas e classificar seus recursos e reservas.

Este estudo deverá servir de parâmetro para realização de avaliações econômicas em nível conceitual que permitam estimar o valor do ativo mineral e a melhor forma de atuação da CPRM em futuras licitações.

A região de Bom Jardim de Goiás foi explorada pela CPRM entre os anos de 1972 a 1980 para as substâncias Pb, Zn e Cu, à época em 17 alvarás de pesquisa outorgados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), área avaliada neste relatório. Após as pesquisas, apenas um direito minerário para cobre foi mantido pela empresa, o qual é apresentado com maior destaque ao longo do relatório.

Localização e Acesso

O Projeto Bom Jardim localiza-se 28 km a sul da cidade de Bom Jardim de Goiás, no extremo oeste do estado de Goiás. O acesso, a partir de Goiânia, é pela Rodovia GO-060 até a cidade de Piranhas (320 km), e daí para Bom Jardim de Goiás pela BR-158 (49 km).

Infraestrutura e Logística

A região na qual o Projeto Bom Jardim se insere possui infraestrutura básica, sendo atendida por aeroportos de pequeno e médio portes em Aragarças (GO) e Barra do Garças (MT), bem como por ferrovias, rodovias e hidrovias. O projeto está localizado no município de Bom Jardim de Goiás (GO), que tem uma população de 8.423 habitantes (IBGE, 2010) e atividade econômica baseada, essencialmente, na atividade agropastoril.

Titularidade (Situação Legal – DNPM)

A CPRM detém uma área requerida de 1.000 ha. Foram encaminhados ao DNPM dois relatórios finais de pesquisa: o primeiro em 1979, no qual está inserida a área que ainda permanece com a CPRM, e o segundo, em 1980. As demais áreas não mais compõem o patrimônio mineral da empresa. O relatório de pesquisa correspondente ao Alvará nº 4.492 (DNPM 812.488/74) teve sua aprovação publicada no Diário Oficial da União (DOU) de 24.07.1980. Não houve trabalhos subsequentes na área.

Geologia e Mineralização

A região do depósito de Bom Jardim está geologicamente inserida na porção oriental da Província Tocantins, interpretada como resultante da convergência dos crátons São Francisco e Amazônico no Neoproterozoico. Insere-se na borda oeste do Arco Magmático de Arenópolis, porção sul do Arco Magmático de Goiás (PIMENTEL; FUCK, 1992).

As rochas metavulcanossedimentares que ocorrem nessa região foram agrupadas no Grupo Bom Jardim de Goiás por Seer (1985). Regionalmente, as sequências metavulcanossedimentares são constituídas por rochas metavulcânicas com subvulcânicas

associadas, de composição variando de basaltos toleíticos a riolitos, que sofreram metamorfismo em fácies xisto-verde e anfíbolito. Nas unidades superiores dessas sequências foram identificadas, principalmente, rochas metassedimentares detríticas.

A mineralização ocorre nos metatufos da Formação Córrego da Aldeia do Grupo Bom Jardim de Goiás e está associada a sistema de vênulas e veios e, subordinadamente, brechas hidrotermais com concentrações variáveis de sulfetos, alcançando, localmente, características maciças. Os sulfetos, quando disseminados, ocorrem em pequenas concentrações na matriz dos tufos e não formam corpos de interesse econômico. Ressalta-se que, em superfície, localmente são encontrados gossans.

Acredita-se que o depósito de Bom Jardim representaria a zona de stockwork de um depósito vulcanogênico, deformado e reorientado de acordo com as deformações que foram a ele superimpostas.

Atividades de Exploração e Perfuração

No Projeto Bom Jardim foram desenvolvidos, à época, intensos trabalhos de pesquisa mineral, incluindo amostragem de sedimentos de corrente, abertura e amostragem de solos em malhas regionais e de detalhe, geofísica terrestre (magnetometria, IP, VLF) e 40 furos de sonda diamantada.

No que se refere à geoquímica, a distribuição da maioria dos elementos ora tratados possui importante relação com as estruturas mapeadas. As mais marcantes estruturas da área de estudo são o conjunto de falhas (zonas de cisalhamento) sinistrais de direção E-W/NW-SE interrompidas pelo lineamento de direção N-S, mostrando forte controle das estruturas regionais. Algumas anomalias definidas em malhas de solo para Pb e Zn e apresentadas no decorrer do trabalho apontam novas áreas de favorabilidade para jazimento e ocorrências minerais com controle estrutural, condicionadas ao grande lineamento N-S, limitadas, contudo, a unidades geológicas específicas.

A geofísica terrestre, de abrangência restrita aos alvos mais relevantes definidos à época, demonstra que as unidades litológicas estão alinhadas essencialmente na direção NNE, conforme definido a partir da magnetometria. Discordantemente, a direção dos condutores definidos no IP e VLF, os quais, possivelmente, coincidem com a direção das mineralizações sulfetadas, encontra-se alinhada, principalmente, na direção N-S. Esta é a direção principal, tanto das zonas de cisalhamento regionais quanto do eixo de maior alongamento do corpo de minério, o que indicaria forte controle estrutural da mineralização.

Na região de estudo, foram realizados 40 furos de sonda, entre 31.07.1976 e 28.03.1978, totalizando 8.001,5 m, distribuídos em quatro alvos diferentes. Desses 40 furos, 29 furos sondados no Alvo 01 (Capibaribe) foram utilizados na modelagem e estimativa de recursos, totalizando 6.725,40 m.

Recursos Minerais

O corpo mineralizado interpretado apresenta direção média N-S, mergulho aproximado de 30° para leste. A mineralização caracteriza-se por veios e vênulas de quartzo e sulfetos (principalmente pirita e calcopirita) associados a processos incipientes a moderados de alteração hidrotermal, formando corpos com espessura centimétrica a decamétrica, assimétricos e descontínuos, resultantes, provavelmente, de processo deformacional intenso sobre a zona de stockwork de um sistema hidrotermal do tipo VMS. A característica irregular desse depósito é retratada pela grande quantidade de lentes, mais de 60, que variam de 1,5 m a

38 m, sendo 5,5 m a espessura média. Apesar desse aspecto errático da mineralização, há concentração dessas zonas de minério na porção centro-sul do corpo interpretado.

Os recursos do corpo de Bom Jardim foram estimados em 4,43 milhões de toneladas de minério, com teor médio de 0,44% Cu, estando a mineralização aberta em profundidade e ao longo do strike, sendo necessário aprofundar os estudos estruturais e o programa de sondagem para melhor compreender sua extensão e geometria (Quadro 1).

Quadro 1 – Estimativa dos recursos do depósito de Bom Jardim

Quadro de Recursos – Projeto Bom Jardim				
	Toneladas	Densidade	Cu (%)	Metal Contido Cu (t)
Recursos Inferidos	4.434.637	2,59	0,44	19.284,37

Beneficiamento

Estudos preliminares de beneficiamento do minério do depósito de Bom Jardim foram realizados à época da pesquisa mineral pela CPRM. Ainda que sejam antigos, são de grande valia como indicadores da possibilidade de recuperação industrial do cobre.

Os resultados obtidos indicam que a flotação seria um eficiente método de beneficiamento do minério, com elevada recuperação do metal, alcançando-se 27% Cu no concentrado (recuperação de 62%) a partir da operação de recleaner. Considerando-se a recirculação de mistos, um cálculo aproximado indica que a recuperação poderia atingir 81%.

Para efeito de apreciação dos teores obtidos, deve-se levar em consideração que, dada a composição do minério estudado, o teor máximo teórico possível de se obter seria de 35% de Cu. Embora o teor do minério estudado seja relativamente baixo, sua composição mineralógica mostrou-se bastante favorável ao processo de flotação.

Meio Ambiente

Um breve diagnóstico ambiental realizado internamente pela equipe da CPRM indica que a área está, em geral, bastante antropizada, devido, principalmente, à pecuária extensiva de baixa produtividade. Não foi identificado qualquer aspecto ambiental, relativo aos meios físico, biótico ou socioeconômico, que possa vir a se caracterizar como impeditivo à exploração do depósito de cobre. Contudo, esse diagnóstico é preliminar e estudos mais específicos são necessários, conforme preconizado na legislação ambiental brasileira. Ressalta-se, ainda, que medidas mitigadoras e compensatórias deverão ser aplicadas aos impactos definidos nos estudos subsequentes.

Avaliação Econômica do Depósito

As reservas mundiais de minério de cobre registraram em 2013, de acordo com o United States Geological Survey (USGS, 2014), 685 milhões de toneladas em metal contido, apresentando ligeiro aumento em relação ao ano anterior, ao passo que as reservas lavráveis brasileiras de cobre em 2013, conforme o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2013), somaram 11,1 milhões de toneladas de Cu contido, apresentando diminuição de 2,4%, comparando-se com o ano de 2012.

1 INTRODUÇÃO

A CPRM detém, na atualidade, 376 processos de direitos minerários ativos no DNPM, em fases variáveis entre alvarás de pesquisa e relatórios finais de pesquisa aprovados, os quais constituem 30 blocos ou projetos, referentes a 14 bens minerais, distribuídos por todo o país. Dentre as substâncias que constituem o portfólio, incluem-se fosfato (1), cobre (1), chumbo (1), zinco (1), ouro (4), caulim (1), níquel laterítico (2), gipsita (1), carvão (5), turfa (8), diamante (2), nióbio (1), terras-raras (1) e calcário (1).

Esse conjunto de áreas constitui o patrimônio mineral da empresa, no qual o Bloco de Cobre de Bom Jardim está inserido. Atualmente, nesse bloco, a CPRM possui apenas um processo de direito minerário ativo no DNPM (812.488/74), compreendendo uma área de 1.000 ha.

Para reavaliação do depósito de Bom Jardim, a CPRM desenvolveu um amplo trabalho de resgate, validação e reinterpretação dos dados históricos do projeto e concluiu uma base de dados digitais de exploração mineral, geológicos, geoquímicos e geofísicos.

Com base no banco de dados de sondagem rotativa e amostragem de superfície e utilizando uma combinação de softwares técnicos de mineração, construíram-se sólidos detalhados dos corpos mineralizados, que constituíram a base para a estimativa de recursos. Todos os modelos dos corpos mineralizados foram ajustados a partir de amarração em campo de diversos furos com GPS diferencial (DGPS – Differential Global Positioning System), permitindo definir volumes de minério mais precisos. Em seguida, os dados foram validados estatisticamente e visualmente com as estimativas obtidas nos blocos, garantindo a representatividade da informação na amostragem original. Os modelos de blocos resultantes foram classificados como recursos na categoria inferida, de acordo com espaçamento amostral, qualidade e quantidade atual dos dados.

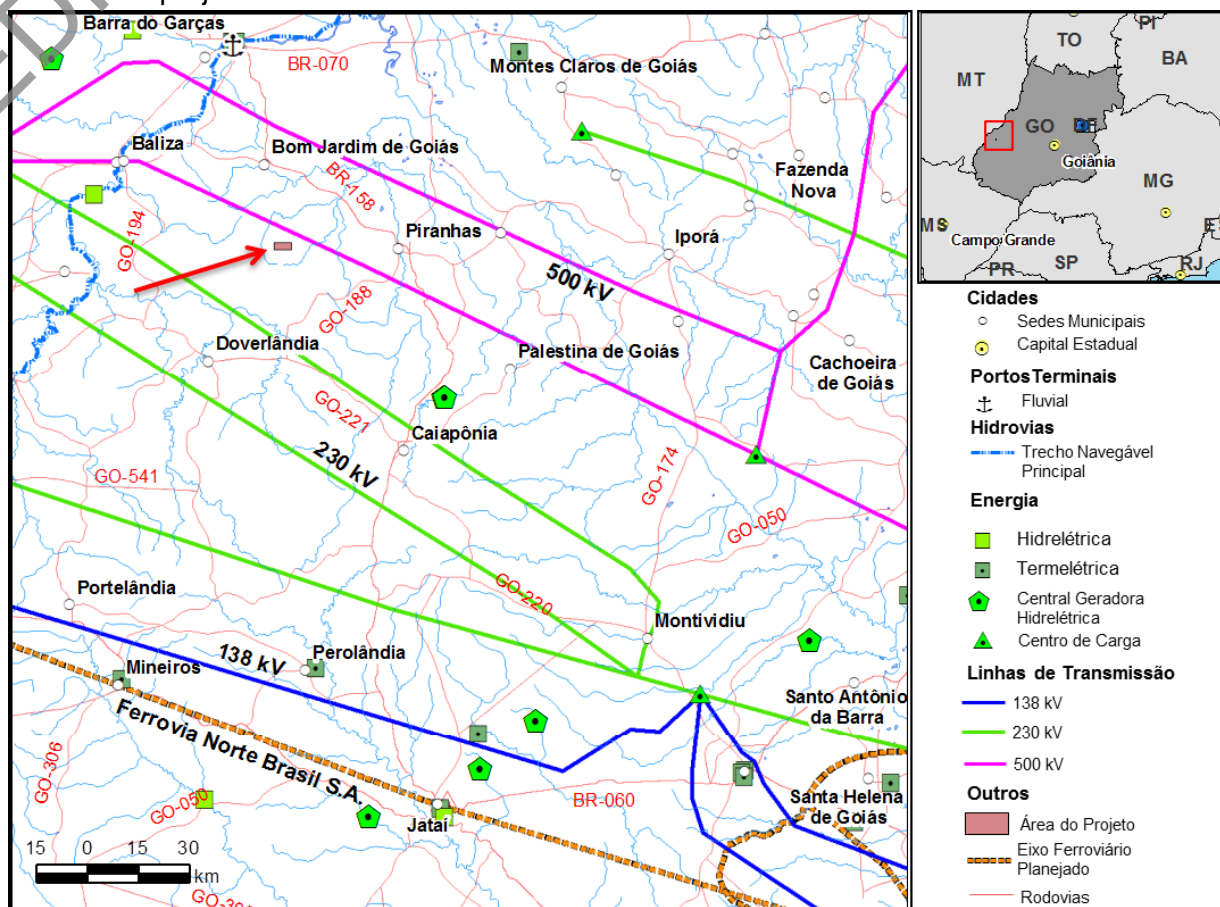
Procedeu-se, ainda, à atualização da situação econômica do mercado (mundial e interno) em termos de abastecimento e demanda pelo bem mineral, bem como à compilação de uma série de testes de flotação realizados à época da pesquisa mineral, de caráter preliminar. Concomitantemente, houve uma análise, em campo e escritório, de possíveis fragilidades socioambientais nas áreas do projeto, diagnosticadas por meio de mapas temáticos das unidades de conservação e de uso e ocupação do solo, destacando-se as áreas de preservação permanente e de comunidades tradicionais e indígenas, todas ausentes na área.

Com o objetivo de divulgar essa oportunidade mineral, são apresentadas, a seguir, de forma sistemática, as informações necessárias ao exame dos aspectos técnico-econômicos do depósito de Bom Jardim.

2 LOCALIZAÇÃO, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

O Projeto Bom Jardim localiza-se 28 km a sul da cidade de Bom Jardim de Goiás, no extremo oeste do estado de Goiás, próximo à divisa com o estado de Mato Grosso (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização, modal e infraestrutura de apoio da região de influência do projeto Bom Jardim.



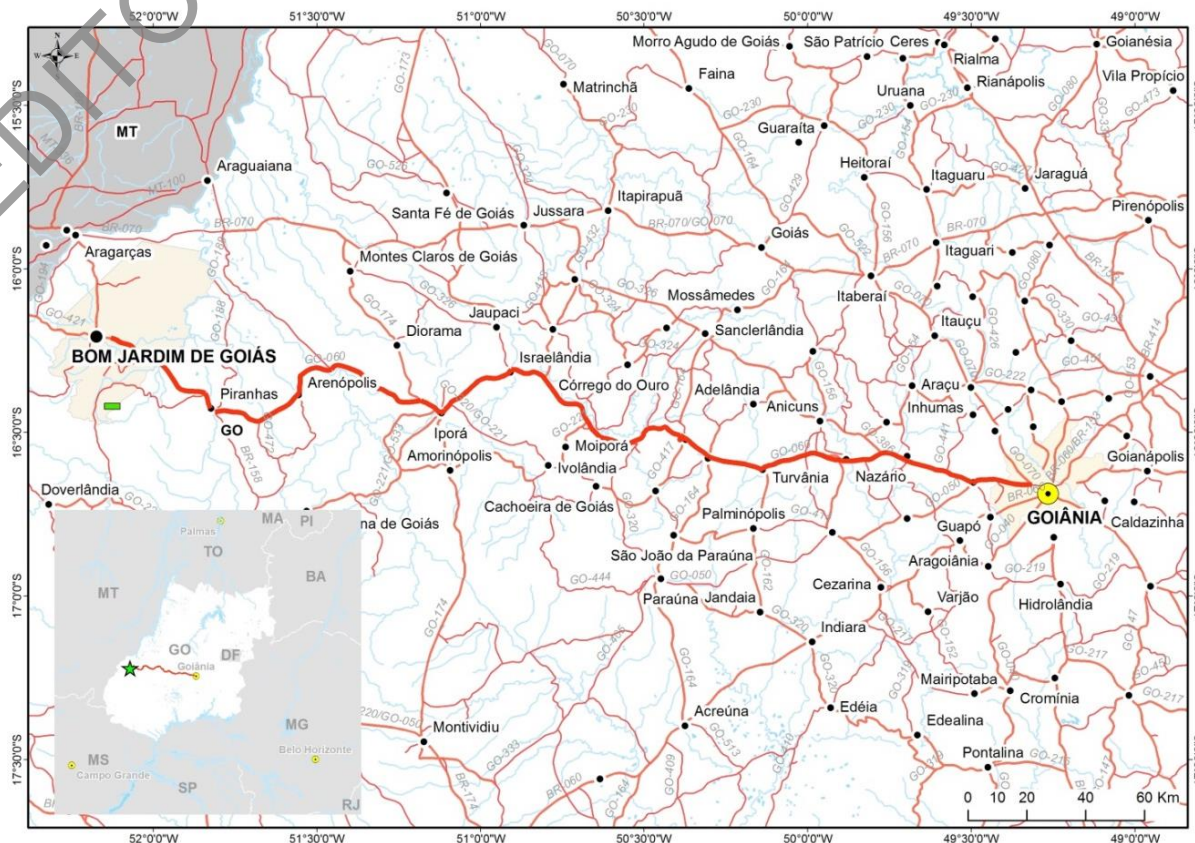
O acesso à área do projeto, a partir de Goiânia, é pela Rodovia GO-060 até a cidade de Piranhas (320 km) e daí para Bom Jardim de Goiás pela BR-158 (49 km), sendo ambos os trechos asfaltados (Figura 2).

Na região, desenvolve-se atividade tipicamente agropastoril (arroz, milho, feijão e gado bovino). O polo econômico compreende as cidades vizinhas de Barra do Garças (MT) e Aragarças (GO), distantes 58 km da área do projeto e acessíveis por estrada pavimentada a partir de Bom Jardim de Goiás. Nessas cidades há bons hotéis, hospitais, agências bancárias, comércio variado e aeroportos de pequeno e médio portes, ainda sem voos regulares.

2.1 RODOVIAS

O estado de Goiás possui extensa malha rodoviária, que se estende por 24.970 km (52% pavimentados), ligando os 246 municípios abrigados sob sua tutela. Desse total, 4.505 km correspondem a trechos de rodovias federais, 18.725 km a estradas estaduais e 1.739 km a rodovias estaduais coincidentes, ou seja, os traçados dessas rodovias estaduais coincidem com as diretrizes de rodovias federais planejadas (<http://www.goiias.gov.br/paginas/invista-em-goiias/infraestrutura-e-energia/>). Logo, percebe-se que o escoamento de eventual produção de minério ou seu concentrado teria no transporte rodoviário uma possibilidade mais que viável.

Figura 2 – Mapa de localização da área do projeto (retângulo verde) e vias de acesso à região de Bom Jardim de Goiás.

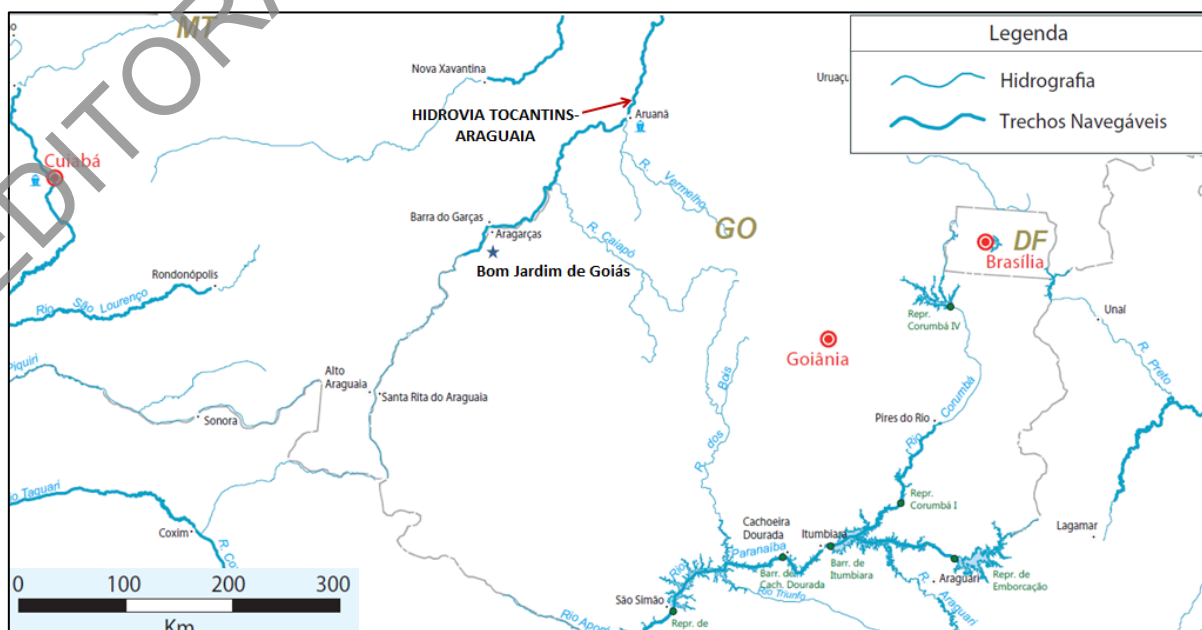


2.2 PORTOS

Entendemos ser válido apresentar a possibilidade de transporte hidroviário, já que a região fica a cerca de 50 km do rio Araguaia, que pertence à hidrovia Tocantins-Araguaia (Figura 3). Esse rio possui extensão de 2.115 km, dos quais 1.818 km são navegáveis durante os períodos de cheia (entre dezembro e maio). A navegação ocorre basicamente entre sua foz, no rio Tocantins, e a cidade de Baliza, em Goiás. O primeiro trecho viável possui profundidade mínima de 1 m e estende-se por 1.472 km, desde a foz até a cidade de Aruanã (GO), que possui um porto fluvial. O segundo trecho parte de Aruanã (GO) e vai até Barra do Garças (MT), em um trecho de 288 km de extensão e 0,9 m de profundidade mínima. Por fim, o trecho de Barra do Garças (MT) até o município de Baliza (GO) corresponde a mais 58 km de extensão navegável, com profundidade mínima de 0,8 m (ANTAQ, 2013). Apesar de o porto de Aruanã estar listado pelo Ministério dos Transportes como entroncamento intermodal (BR-251-hidrovia), o terminal portuário existente ainda não é autorizado pela ANTAQ.

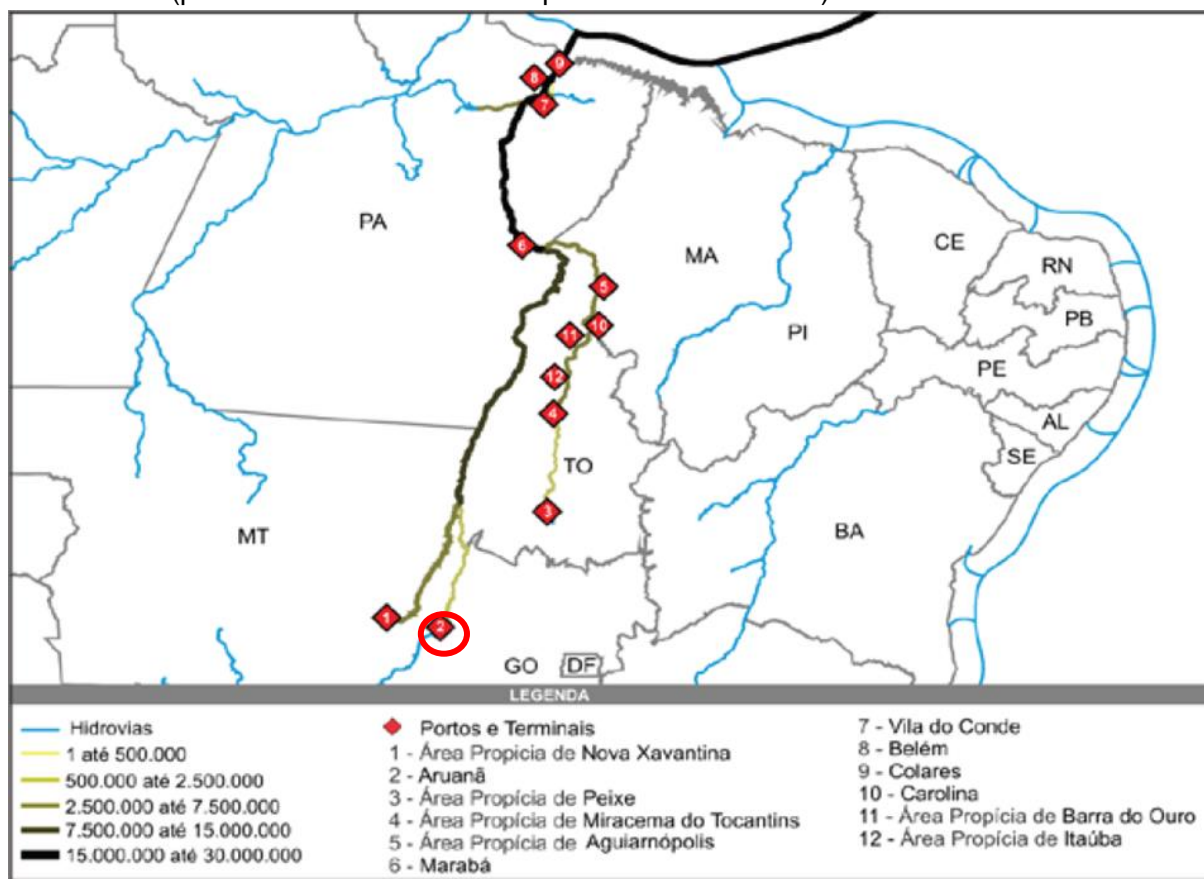
Apesar de o trecho do rio Araguaia entre Baliza e Aruanã ser navegável, atualmente não existem carregamentos na hidrovia. Porém, de acordo com a simulação realizada pela ANTAQ (2013), espera-se que, em 2030, depois de realizadas obras de melhoria de infraestrutura, esse trecho passe a suportar um fluxo de 500.000 a 2.500.000 t em carregamentos (Figura 4).

Figura 3 – Mapa hidroviário na região de influência do projeto Bom Jardim.



Fonte: Modificado de DEINT, 2013.

Figura 4 – Fluxo de carregamento (t) projetado para 2030 na hidrovia Tocantins-Araguaia (porto de Aruanã destacado pelo círculo vermelho).



Fonte: ANTAQ, 2013.

2.3 FERROVIAS

A ferrovia mais próxima da região é a Ferronorte, que dista cerca de 250 km da cidade de Bom Jardim de Goiás, e liga Rondonópolis (MT) a Santa Fé do Sul (SP), possuindo outros trechos planejados (Figura 5). Outra ferrovia próxima é a Centro-Atlântica, que atende à região sudeste do estado de Goiás e ao Distrito Federal, distante aproximadamente 300 km da área do Projeto Bom Jardim.

O estado de Goiás também abriga dois trechos da Ferrovia Norte-Sul (FNS), que distam cerca de 400 km da área do projeto: um trecho entre Anápolis (GO) e Palmas (TO), entregue em 2014, e um trecho entre Ouro Verde de Goiás (GO) e Estrela do Oeste (SP), que está em construção e tem previsão para conclusão das obras em junho de 2017 (http://www.valec.gov.br/acoes_programas/FNSFerroviaNorteSul.php).

A Ferrovia Norte-Sul – FNS de Barcarena (PA)-Rio Grande (RS) foi projetada para promover a integração nacional, minimizar custos de transporte e interligar as regiões brasileiras, por meio de suas conexões com ferrovias novas e as já existentes.

O estado está incluído, ainda, no projeto da Ferrovia de Integração Centro-Oeste (FICO), primeira parte do projeto da Ferrovia Transcontinental, com 4.400 km de extensão, que ligará o litoral fluminense à fronteira Brasil-Peru. Em solo goiano, a ferrovia terá cerca de 210 km, passando pelos municípios de Nova Iguaçu de Goiás (570 km do projeto), Pilar de Goiás (490 km do projeto), Santa Terezinha de Goiás (560 km do projeto), Crixás (540 km do projeto) e Nova Crixás (470 km do projeto), até alcançar a fronteira com Mato Grosso. Em resumo, apresentamos um cenário de deslocamento de 400 a 600 km em rodovia até essas ferrovias e daí seguir para grandes centros.

Figura 5 – Mapa ferroviário da região do projeto Bom Jardim.



Fonte: Modificado de DEINT, 2014.

2.4 AEROPORTOS

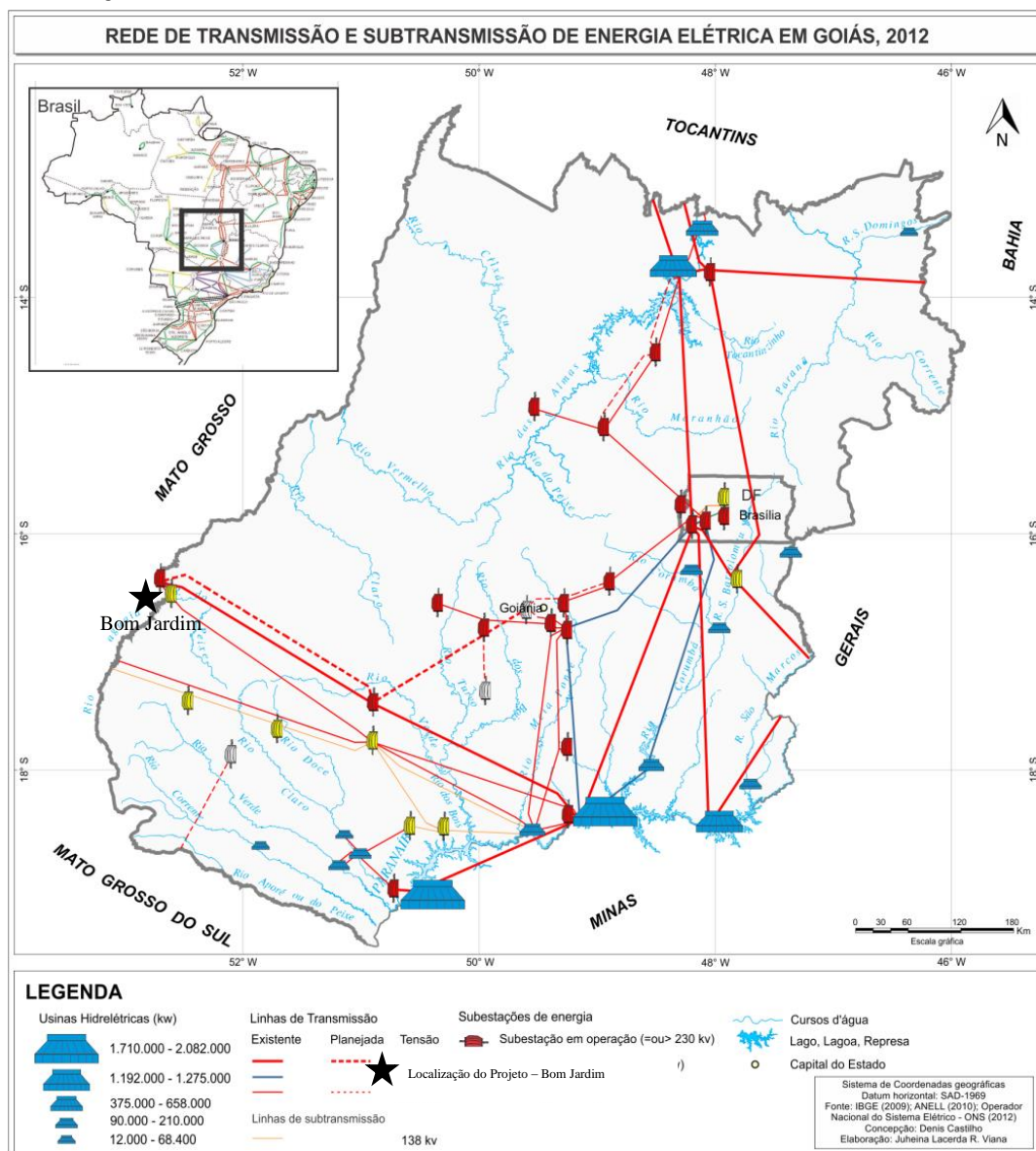
Os principais aeroportos comerciais da região são o Aeroporto Internacional de Brasília – Presidente Juscelino Kubitschek e o Aeroporto Internacional de Goiânia – Santa Genoveva, distantes, respectivamente, 560 km e 370 km do município de Bom Jesus de Goiás.

Na região do projeto, existem dois aeroportos, um de pequeno porte, na cidade de Aragarças (GO), e outro de médio porte, em Barra do Garças (MT), distantes 46 km e 47 km, respectivamente, do município de Bom Jardim de Goiás.

2.5 RECURSOS ENERGÉTICOS

A região em que o projeto está inserido é atendida por rede elétrica de alta tensão, interligada à rede nacional com linha de 500 kV de tensão, a aproximadamente 50 km de distância da área do projeto. Não há barragem de grande porte na região (Figura 6).

Figura 6 – Rede de transmissão e subtransmissão de energia elétrica em Goiás no ano de 2012.



Fonte: CASTILHO, 2013.

3 HISTÓRICO DO PROJETO

A região de Bom Jardim de Goiás tornou-se objeto de interesse de pesquisa a partir de 1972, durante a fase inicial do Levantamento Aerogeofísico do Projeto Iporá, executado pela Prospec Geologia, Prospecção e Aerofotogrametria S.A. Por meio desse levantamento, constatou-se a presença de anomalias no canal de potássio do levantamento gamaespectrométrico na borda oeste do Granito Serra Negra.

Ainda na primeira metade da década de 1970, a CPRM requereu 12 áreas de pesquisa mineral com 1.000 ha cada, abrangendo a superfície ocupada pelas rochas do então denominado Complexo Basal.

A pesquisa mineral no Projeto Bom Jardim constou de mapeamento geológico e geoquímica de sedimentos de corrente, regionais, que levaram à definição do Complexo Metavulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás, unidade potencial para mineralizações de metais-base. Esse estudo permitiu o descarte das áreas referentes aos processos n^os 812.486/74 e 812.487/74 e o requerimento de outras duas áreas (810.008/75 e 810.009/75). Posteriormente, foram requeridas e em seguida descartadas as áreas referentes aos processos n^os 803.052/77, 806.095/77 e 806.096/77.

Trabalhos de detalhe contemplaram a abertura de uma malha de solos com direção E-W, com linhas espaçadas 400 m entre si, cobrindo toda a região selecionada por trabalhos anteriores, denominadas áreas A-3 a A-12 (Figura 6). Foram, então, realizados, em escala 1:20.000, mapeamento geológico, geoquímica de solo e levantamentos geofísicos de magnetometria e VLF ao longo das picadas. Essa etapa conduziu à seleção de cinco alvos prioritários. Procedeu-se à pesquisa de detalhe em dois deles, denominados 01 e 02 (Figura 7), em escala 1:4.000, por meio de mapeamento geológico, geoquímica de solo e levantamento geofísico de magnetometria, VLF e IP, além da execução de 18 furos de sonda diamantada (nove em cada alvo).

A partir desses estudos de maior detalhe, foi elaborado, em 1977, o relatório preliminar de pesquisa, no qual foram apresentadas as justificativas para continuação dos trabalhos nas áreas positivas e, ao mesmo tempo, apresentou-se a desistência das áreas A-3 a A-5 e o pedido de averbação para cobre, visto estarem as áreas requeridas inicialmente para chumbo e/ou para zinco.

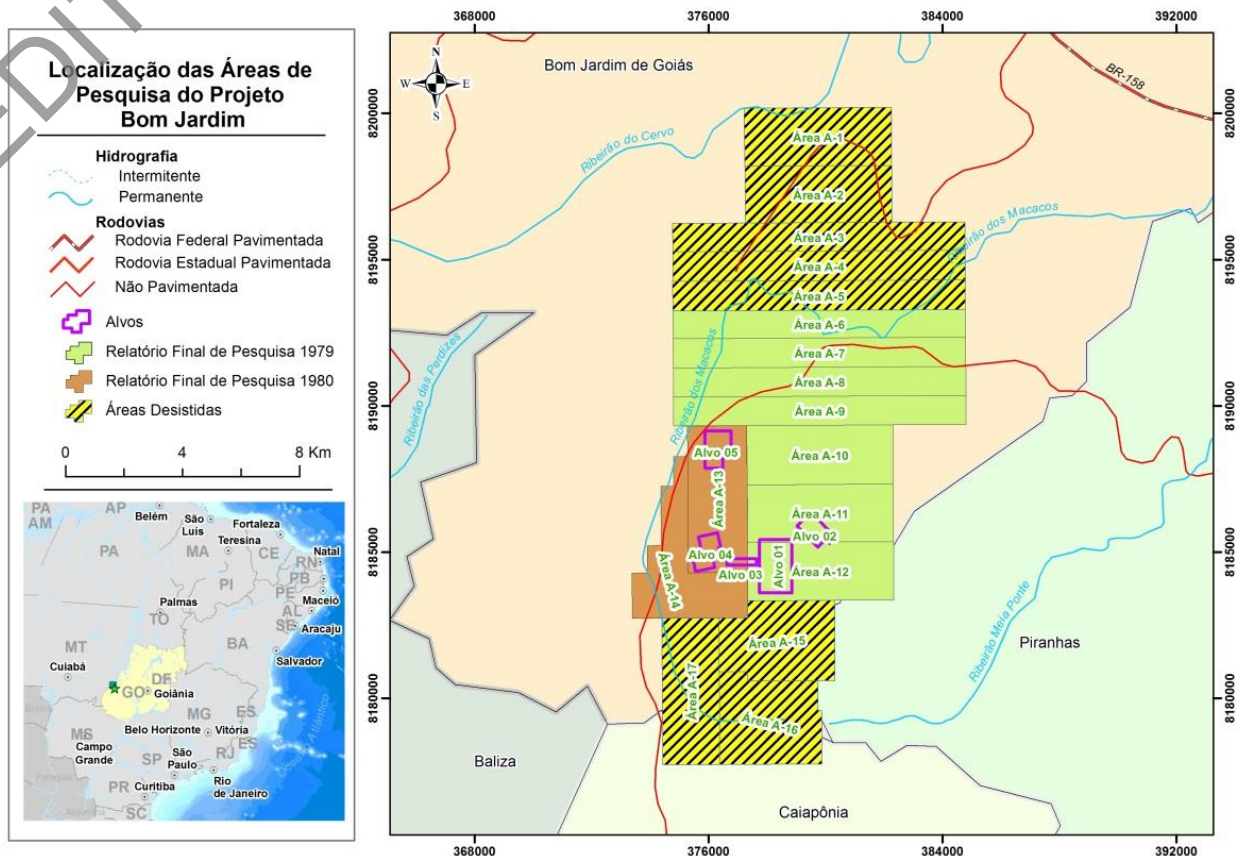
Para finalização dos trabalhos e elaboração do relatório final de pesquisa, protocolado em 1979, foram realizados trabalhos complementares de detalhe no Alvo 01, incluindo mapeamento geológico em escala 1:2.000 e levantamento geofísico (método *mise-à-la-masse*), assim como 20 furos de sonda diamantada, análises petrográficas e calcográficas, ensaios de beneficiamento de minério de cobre e cálculo de reservas. Esse relatório final de pesquisa teve sua aprovação publicada no DOU de 24.07.1980.

Os alvos 03, 04 e 05 também foram estudados em detalhe, porém os resultados foram negativos para cobre. Em 1980, foi entregue o relatório final de pesquisa relativo aos processos n^os 810.008/75 e 810.009/75, que não apresentaram indícios que revelassem a presença de corpos mineralizados, com solicitação de descarte das áreas.

No conjunto das áreas, foram executados 40 furos de sonda rotativa, nos diâmetros HQ e NQ, com metragem total de 8.001,50 m, sendo 29 furos (6.725,40 m) no Alvo 01, nove furos (667,30 m) no Alvo 02, um furo (300,00 m) no Alvo 03 e um furo (308,80 m) no Alvo 05. Dentre os alvos trabalhados em maior detalhe, destacaram-se os alvos 01 (Capibaribe) e 02 (Cabeceira do Furnas), sendo que o primeiro mostrou potencial mais significativo para cobre do que o segundo, devido à identificação de uma faixa com direção aproximada norte-sul com

mineralizações de pirita e calcopirita preenchendo fraturas e brechas, a qual caracteriza o depósito de Bom Jardim (Quadro 2).

Figura 7 – Localização e situação das áreas da CPRM no ano de 1980.



3.1 ESTIMATIVA HISTÓRICA DE RECURSOS

Os trabalhos de pesquisa realizados pela CPRM permitiram a delimitação de um depósito de sulfeto de cobre no Alvo 01, alojado em rochas metavulcânicas félsicas da Sequência Metavulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás. A avaliação de reservas efetuada na época estimou uma reserva total de 4.575.660 t, com teor médio de 0,92% de cobre e 0,9 ppm de ouro. O corpo de minério foi, à época, interpretado como sendo do tipo lenticular, com mineralização disseminada de baixo teor e frequentemente cortado por vênulas quartzosas. No trabalho atual, essa estimativa foi revista após minuciosa recuperação dos dados históricos e reinterpretação geológico-geofísico-geoquímica integrada.

3.2 INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Publicado em 2000, o “Informe de Recursos Minerais” objetivou sistematizar e divulgar os resultados das atividades técnicas da CPRM nos campos de geologia econômica, prospecção, pesquisa e economia mineral. Naquele documento (OLIVEIRA, 2000), procedeu-se à compilação e síntese dos estudos realizados na década de 1970, não sendo provida qualquer reinterpretação dos dados, sendo a finalidade principal a geração de um relatório de síntese, de acesso livre, não tendo sido criado um banco de dados digital nem efetuada a reavaliação dos recursos.

Quadro 2 – Dados físicos de produção dos trabalhos de pesquisa mineral no projeto Bom Jardim

Atividade	Serviço	Quantidade	Unidade
Logística	Acampamento	1	Construção
	Abertura de estradas	20,2	km
	Reparo de estradas	106	km
Escritório	Fotointerpretação	90	km ²
Topografia	Abertura de picadas	413,7	km
	Reabertura de picadas	43	km
	Polígono delimitador	47	km
	Perfis altimétricos	12,25	km
Geologia	Mapeamento 1:60.000	70	km ²
	Mapeamento 1:20.000	90	km ²
	Mapeamento 1:4.000	2,5	km ²
	Mapeamento 1:2.000	2,79	km ²
Geoquímica	Sedimento de corrente	70	Amostra
	Solo	4053	Amostra
Geofísica	Magnetometria	206,77	km
	VLF	91,92	km
	IP	32,13	km
	Mise-à-la-masse	3,05	km
	TURAM	117,2	km
Escavação	Poço	378,4	m ³
	Trincheira	4140	m ³
Sondagem	Furo	40	Furo
	Perfuração	8001,5	m
Análise	Petrografia	302	Análise
	Calcografia	46	Análise
	Raios X	8	Análise
	Absorção atômica	10244	Análise
	Espectrografia	149	Análise
	Concentrado	4	Análise
	Química total de rocha	27	Análise

Quadro 3 – Alvarás de terceiros na região do projeto

Processo	Área (ha)	Fase	Nome	Substância
862798/2011	1939.78	Autorização de Pesquisa	Diego Alves Barbosa	Cobre
862810/2011	1858.06	Autorização de Pesquisa	Diego Alves Barbosa	Cobre
862811/2011	1936.56	Autorização de Pesquisa	Diego Alves Barbosa	Cobre
862800/2011	1997.08	Autorização de Pesquisa	Diego Alves Barbosa	Cobre
862799/2011	1996.91	Autorização de Pesquisa	Diego Alves Barbosa	Cobre
861627/2007	1354.96	Disponibilidade	Mineração Itamaracá Ltda.	Cobre
861113/2013	373.85	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
860168/2013	1997.13	Autorização de Pesquisa	Rafael Bairros Porto	Fosfato
861116/2013	166.89	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
861112/2013	1281.94	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
861111/2013	1020.71	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
861116/2013	124.92	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
861114/2013	1636.55	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
861115/2013	939.34	Requerimento de Pesquisa	Jera Mineradora Eireli	Fosfato
861639/2013	11.99	Autorização de Pesquisa	Marcus Brandão Lima e Silva	Gnaisse
860303/1998	36	Concessão de Lavra	Cajugram Granitos e Mármore do Brasil	Granito
861149/1991	617.05	Requerimento de Lavra	Cajugram Granitos e Mármore do Brasil	Granito
860304/1998	34.92	Concessão de Lavra	Cajugram Granitos e Mármore do Brasil	Granito
860347/2011	1978.33	Autorização de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
860349/2011	1950.21	Autorização de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
860350/2011	1991.36	Autorização de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
861418/2012	1469.89	Requerimento de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
861419/2012	1929.29	Requerimento de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
860348/2011	1999.77	Autorização de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
860412/2013	1999.84	Requerimento de Pesquisa	Jamil Morue	Ouro
861420/2012	1955.52	Requerimento de Pesquisa	Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Ouro
860413/2013	1999.64	Requerimento de Pesquisa	Jamil Morue	Ouro

Fonte: DNPM, 2014.

5 FISIOGRAFIA

5.1 CLIMA, QUALIDADE DO AR E EMISSÕES SONORAS

O clima predominante na região é do tipo AW da classificação de Köppen, típico das savanas tropicais, caracterizado por estações bem definidas – uma seca e fria (outono-inverno) e outra quente e úmida (primavera-verão) –, com a temperatura média, nos meses mais frios, acima de 18°C. A precipitação anual média é da ordem de 1.800 mm (OLIVEIRA, 2000).

A baixa taxa de ocupação do solo na área rural e a restrição da atividade econômica à agricultura e pecuária de subsistência são responsáveis por insignificante emissão de poeiras e poluentes atmosféricos, bem como de emissões sonoras.

5.2 GEOMORFOLOGIA E SOLOS

No aspecto geomorfológico, destaca-se, nas porções sul e ocidental da área, relevo bastante acidentado, acentuado por cristas elevadas de direção aproximadamente N-S (NE), desenvolvidas sobre rochas do Complexo Vulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás, Grupo Cuiabá e Granito Piranhas.

As cotas, em torno de 850 m, expõem superfície pré-devoniana, sobre a qual estão assentados os sedimentos da Bacia do Paraná. Estes se exibem em front de cuesta, formando escarpas abruptas, com cotas máximas de 900 m a 1.000 m, sustentados por arenitos da Formação Furnas (Figura 9). A nordeste da área, sobressaem-se elevações quartzíticas da Unidade Morro Selado, com cotas de até 630 m (OLIVEIRA, 2000).

Figura 9 – Área com relevo em *cuesta* em sedimentos da bacia do Paraná.



Na área em que afloram os granitos da Suíte Serra Negra, ocorrem compartimentos de relevo com formas côncavas, arredondadas, de baixa a média amplitude, sendo as mais comuns colinas dissecadas e colinas amplas e suaves (Figura 10).

Figura 10 – Formas côncavas e arredondadas sobre granitoides da suíte Serra Negra.

Em geral, há predominância de solos desenvolvidos por forte influência de processos de intemperismo físico decorrentes do clima tropical associado às grandes áreas com relevo plano, onde Latossolos são os tipos mais comuns. Nas condições geomorfológicas da área, nas porções de declividade alta, os processos de transporte de material são mais intensos do que os processos pedogenéticos, com favorecimento de formação de solos rasos e jovens, tipo Cambissolos. No fundo dos vales, em áreas de cabeceiras e margens de cursos d'água, em geral, são encontrados Gleissolos (hidromórficos). Os solos residuais nos granitos são predominantemente rasos e siltoarenosos, localmente bem desenvolvidos e profundos (OLIVEIRA, 2000).

5.3 ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

O sistema hidrográfico no município é comandado pelo córrego dos Macacos, que deságua no rio Piranhas, afluente da margem direita do rio Araguaia. O ribeirão Bom Jardim, que corta a cidade e parte da área rural de Bom Jardim de Goiás, é afluente desse córrego. O padrão de drenagem é do tipo sub-retangular e, localmente, anastomosado ou dendrítico.

Como a grande maioria dos cursos hídricos apresenta baixas vazões, a capacidade de suporte e de diluição de poluentes desses rios é menor do que naqueles de mais alta vazão. Existe apenas uma estação pluviométrica no município e três pontos de medição de qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Araguaia, à jusante da área: estação Piranhas, no rio Piranhas; estação Peres, no rio Caiapó; estação Barra do Garças, no rio Araguaia.

Considerando a homogeneidade das atividades agropecuárias na região e a baixa densidade demográfica da área, os dados coletados nesses pontos podem servir como referência geral da qualidade da água no ribeirão Bom Jardim. Foram avaliados alguns parâmetros nas séries históricas disponíveis (pH, oxigênio dissolvido e turbidez), os quais se mostraram dentro dos padrões de Classe 2 da Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados de qualidade de água em estações à jusante da área

Estação	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (FTU)	Condutividade Elétrica (uS/cm a 20°C)	OD (mg/l O ₂)
24780000 Rio Piranhas	24,5	6,99	24,77	22,58	8,67
24800000 Rio Peres	25,68	7,25	29,52	36	6,72
24700000 Rio Araguaia	25,64	6,97	23,66	19,31	6,48

Fonte: Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>.

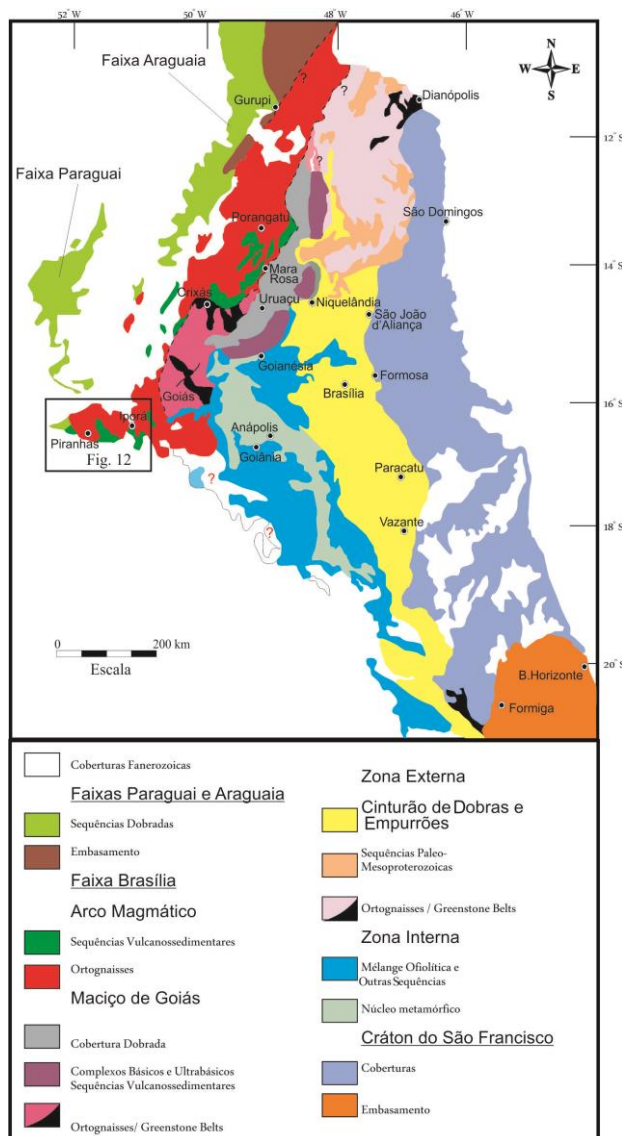
Quanto às águas subterrâneas, de acordo com o Mapa de Hidrogeologia do Estado de Goiás (GOIÁS, 2006), no município de Bom Jardim de Goiás são identificadas quatro unidades hidrogeológicas. na porção que cobre de centro-norte a oeste do município predominam rochas sedimentares (formações Aquidauana, Ponta Grossa e Furnas), que podem originar aquíferos porosos com baixo a alto potencial de exploração; no restante do município, porção sul-sudeste, ocorrem rochas graníticas deformadas ou não, rochas metavulcanossedimentares, que podem originar aquíferos fraturados de baixo a médio potencial de exploração, e coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas, que podem gerar aquíferos porosos de baixo potencial, em decorrência da pequena espessura das formações. A poligonal da área de pesquisa encontra-se sobre os domínios das rochas graníticas e das rochas metavulcanossedimentares.

Foram identificados no município de Bom Jardim de Goiás quatro poços tubulares cadastrados no sistema SIAGAS-RIMAS: três na sede do município e um próximo à Rodovia BR-158. No entanto, não estão disponíveis informações sobre profundidade, vazão ou qualidade da água extraída desses poços.

6 GEOLOGIA REGIONAL

A região do depósito de Bom Jardim está geologicamente inserida na porção oriental da Província Tocantins, interpretada como resultante da convergência dos crátons São Francisco e Amazônico no Neoproterozoico (DARDENNE, 2000). Insere-se no Arco Magmático de Goiás (AMG), proposto por Pimentel e Fuck (1992), sendo definido como um segmento de crosta juvenil neoproterozoica (Figura 11).

Figura 11 – Mapa geológico regional da porção norte da província Tocantins.

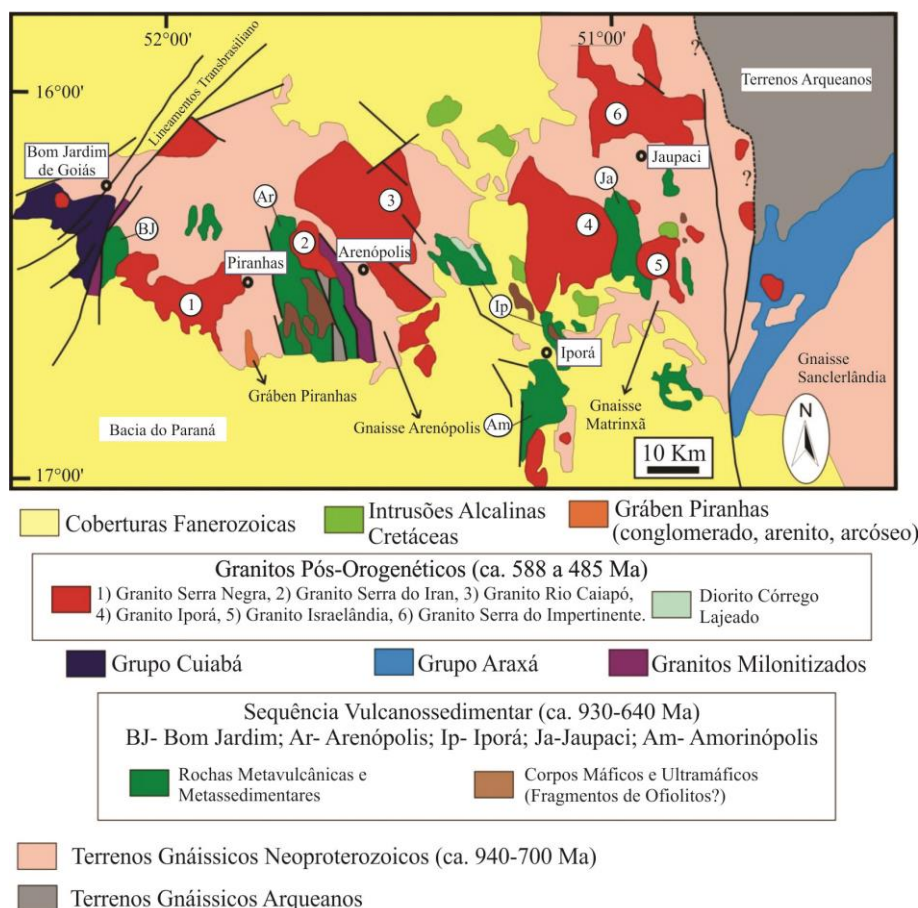


Fonte: DARDENNE, 2000.

O Arco Magmático de Goiás é constituído por ortognaisses tonalíticos e granodioríticos associados a rochas metavulcânicas e metassedimentares, tendo sua ocorrência típica nas regiões de Arenópolis e Mara Rosa. As rochas do AMG são cortadas por zonas de cisalhamento transcorrentes, de direções N45°-80°W e N30°-50°E, e por falhas de cavalgamento com direções N30°-50°E e NS, decorrentes do Ciclo Brasileiro. Limita-se a oeste com as faixas Paraguai e Araguaia e, a leste, com o Maciço de Goiás (Figura 11). Subdivide-se em dois blocos: Arco de Arenópolis, a sul, e Arco de Mara Rosa, a norte (ARAÚJO FILHO; KUYUMIJAN, 1996; PIMENTEL et al., 1997).

A área do depósito de Bom Jardim situa-se na borda oeste do Arco Magmático de Arenópolis. As rochas metavulcanossedimentares que ocorrem nessa região foram agrupadas no Grupo Bom Jardim de Goiás (SEER, 1985). Regionalmente, as sequências metavulcanossedimentares são consideradas como constituídas por rochas metavulcânicas com subvulcânicas associadas, de composição variando de basaltos toleíticos a riolitos, metamorfizados em fácies xisto-verde e anfibolito (PIMENTEL; FUCK, 1986; SEER, 1985). Nas unidades superiores dessas sequências foram identificadas, principalmente, rochas metassedimentares detríticas (Figura 12).

Figura 12 – Mapa geológico do arco magmático de Goiás na região sudoeste de Goiás.



Fonte: PIMENTEL et al., 2000; PIMENTEL; FUCK; BOTELHO, 1999.

Dois episódios de magmatismo granítico pós-Brasiliano foram reconhecidos: um em torno de 590 a 560 Ma e outro, mais jovem, ao redor de 508 a 485 Ma. Os granitos mais antigos são caracterizados como tipo I (Caiapó, Serra do Iran, Israelândia e Serra do Impertinente), enquanto os mais jovens são alcalinos, característicos de granitos tipo A (Serra Negra e Iporá) (PIMENTEL et al., 2000).

As intrusões graníticas da região formam grandes corpos calcialcalinos ricos em K, os quais compreendem, predominantemente, biotita-granitos isótipos e equigranulares. Às vezes, contêm hornblenda e apresentam fácies porfíricas (PIMENTEL et al., 2000; PIMENTEL; FUCK; BOTELHO, 1999), como os plútons dos granitos milonitizados Macacos e Serra do Tatu. Petrograficamente incluem granodioritos, que possuem, localmente, caráter metaluminoso a levemente peraluminoso e foliação milonítica (PIMENTEL et al., 2000; RODRIGUES; GIOIA; PIMENTEL, 1999).

7 GEOLOGIA LOCAL

7.1 HISTÓRICO

A região de Bom Jardim de Goiás foi alvo de trabalho final de graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília em 1974, quando se efetuou a primeira caracterização detalhada das rochas da região. Trabalhos posteriores (FRAGOMENI; COSTA, 1976; MARQUES; GUIMARÃES; COSTA, 1980; PENA, 1974) compreenderam revisão da geologia regional e estudos voltados à pesquisa mineral, sendo também importantes os desenvolvidos pela CPRM, de caráter prospectivo, porém com significativa contribuição à cartografia geológica da região (COSTA et al., 1979).

Fragomeni e Costa (1976) definiram o Complexo Vulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás como um conjunto de rochas vulcânicas básicas a ácidas e sedimentares clásticas e químicas de baixo grau metamórfico, com idade de 711 ± 53 Ma (K-Ar em rocha total em metabasalto), e o situaram na base do Grupo Cuiabá.

Posteriormente, Costa et al. (1979), já com base nas informações prospectivas geradas na pesquisa mineral da CPRM, reordenaram a estratigrafia interna do complexo e realizaram estudos de viabilidade econômica da jazida. Ainda em 1979, Barbosa propôs que o Complexo Vulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás fosse elevado à categoria de grupo, embora não tenha sido proposta a respectiva subdivisão estratigráfica.

Marques, Guimarães e Costa (1980) redefiniram a estratigrafia do referido complexo e desenvolveram estudos litogeoquímicos. Concluíram que as rochas vulcânicas provêm de magma primário único, de caráter toleítico, que evoluiu segundo dois trends distintos: a) toleítico, de alta temperatura e pobre em voláteis; b) calcialcalino, de baixa temperatura, rico em água, representando produto de contaminação crustal. Sugeriram, ainda, que os voláteis do trend calcialcalino teriam desempenhado papel importante na transferência de metais, propiciando a sua concentração e, assim, apresentando interesse prospectivo.

Seer (1985) redefiniu o Complexo Vulcanossedimentar de Bom Jardim para Grupo Bom Jardim de Goiás e propôs as seguintes subdivisões estratigráficas, da base para o topo: Formação Córrego da Furna, Formação Córrego da Aldeia, Formação Córrego do Urubu, Formação Aldeinho e Formação Morro Selado.

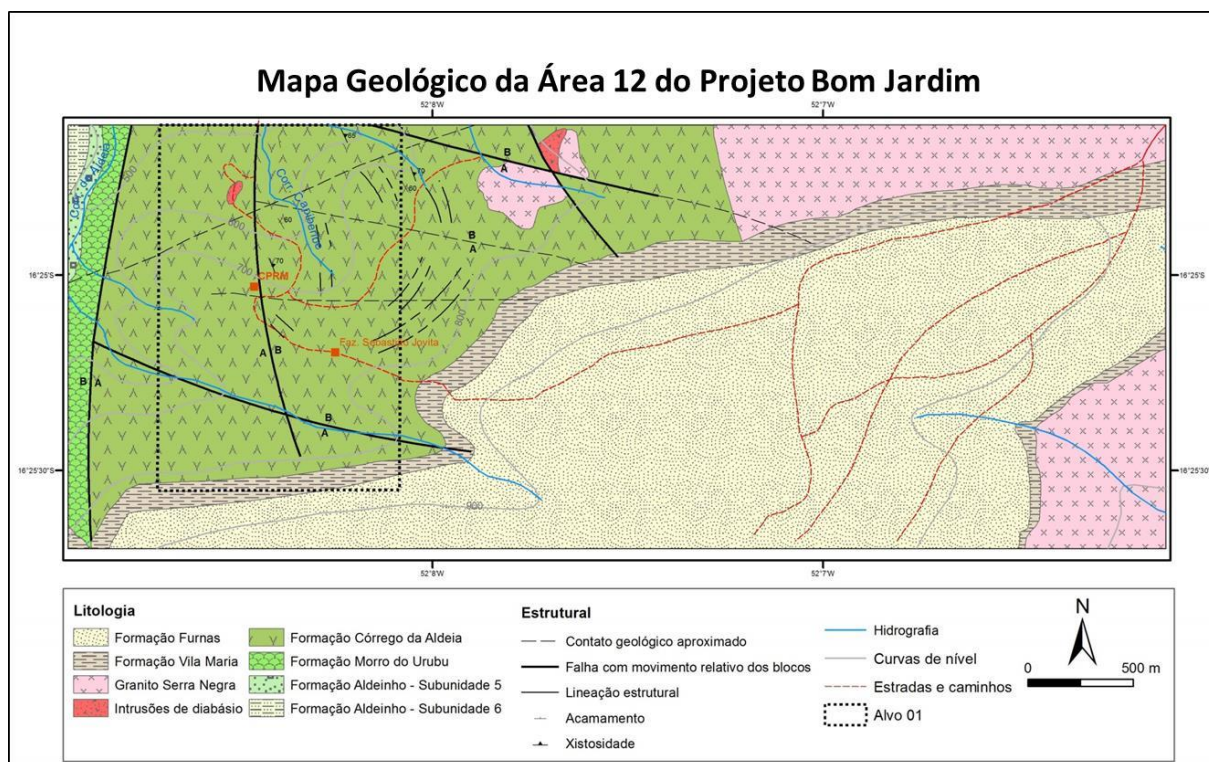
Trabalhos realizados por Pimentel e Fuck (1992), Pimentel et al. (1991) e Pimentel, Fuck e Botelho (1999), com base em dados geocronológicos e características isotópicas de Nd e Sr em amostras de granitos e de sequências vulcanossedimentares da região sudoeste do estado de Goiás, definiram que essa região seria parte do Arco Magmático de Goiás, que consiste de crosta juvenil neoproterozoica (~ 900 a 600 Ma) resultante de progressiva amalgamação de arcos de ilha.

Os trabalhos de Guimarães (2007) e Guimarães, Moura e Dantas (2012) caracterizaram os corpos graníticos adjacentes ao depósito (granitos Serra Negra e Macacos) como metaluminosos a peraluminosos, calcialcalinos, com forte anomalia negativa de Eu, típicos de arco vulcânico, pós-colisionais e de idade neoproterozoica (538 ± 17 Ma, U-Pb em zircão do Granito Serra Negra), além de caracterizar as rochas vulcânicas hospedeiras da mineralização como sucessões de tufos de composição intermediária, caráter calcialcalino, idade neoproterozoica (749 ± 6 Ma, U-Pb em zircão em tufo), características químicas e isotópicas também de arco vulcânico.

7.2 UNIDADES GEOLÓGICAS

Na área do depósito de Bom Jardim (Figura 13), de titularidade da CPRM, ocorrem rochas metavulcanossedimentares do Grupo Bom Jardim de Goiás e rochas graníticas pouco ou nada metamorfizadas e deformadas (Figura 14). Ao sul do depósito ocorrem rochas correspondentes às da Bacia do Paraná (Grupo Paraná), de idade devoniana, subdivididas nas formações Furnas e Vila Maria (OLIVEIRA, 2000). A principal unidade de interesse prospectivo é representada pelas rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que formam o Grupo Bom Jardim de Goiás, hospedeiras da mineralização de cobre na região.

Figura 13 – Mapa geológico simplificado da área do projeto Bom Jardim.



Fonte: Modificado de CPRM, 1979.

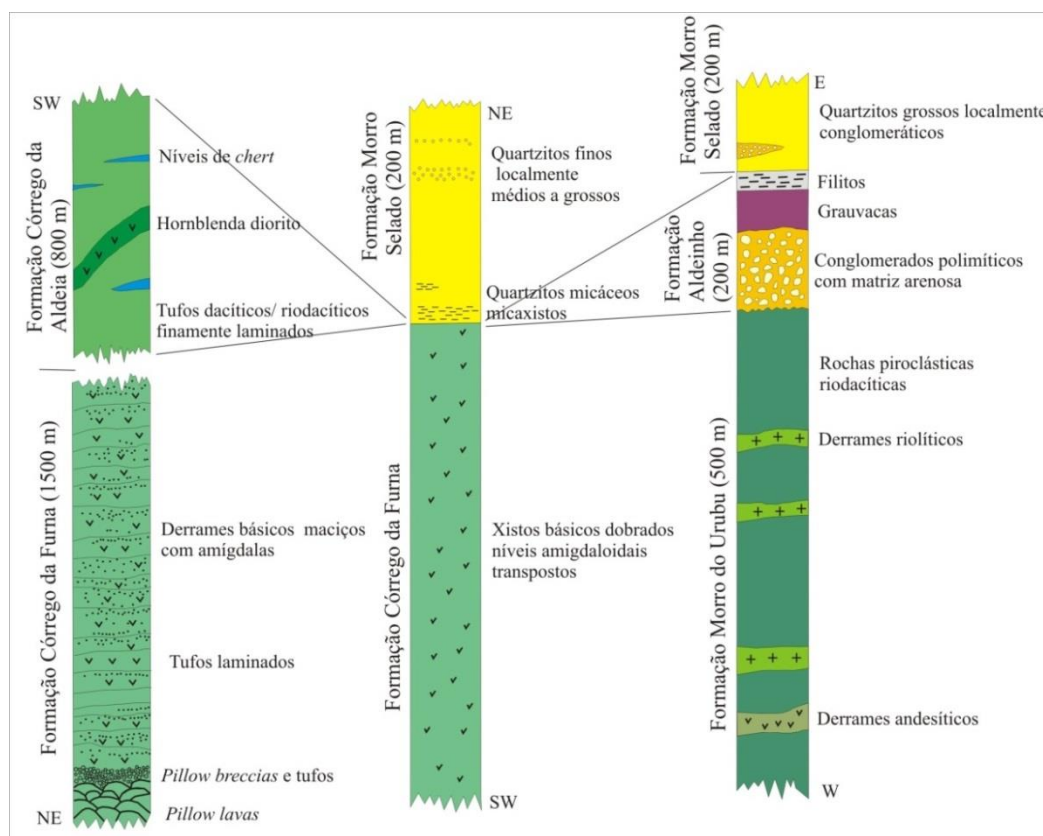
O Grupo Bom Jardim de Goiás divide-se, na área do depósito, nas seguintes formações, da base para o topo (Figura 14):

- Córrego da Furna: Sequência de derrames basáltico-andesíticos e rochas piroclásticas básicas representadas por *pillow* lavas e *pillow* brechas com tufos básicos grossos a finos. Correlacionável às subunidades 1 e 2, descritas no relatório final de pesquisa (CPRM, 1979).
- Córrego da Aldeia: Metatufos finos de composição intermediária, podendo ocorrer lapilli tufos, níveis de cherts e diques dioríticos. Essa unidade é a hospedeira principal da mineralização, sendo comuns vênulas de composições variadas (quartzo, carbonato, actinolita, calcopirita, pirita, pirrotita, hematita e magnetita) cortando essas rochas. Correlacionável à subunidade 3, descrita no relatório final de pesquisa (CPRM, 1979).
- Morro do Urubu: Rochas metapiroclásticas ácidas (lapilitos, lapilli tufos) e derrames metarriolíticos. Essas rochas encontram-se bem preservadas quanto a metamorfismo e deformação, mas, localmente, mostram-se intensamente foliadas e metamorfizadas para

a fácies xisto verde. Correlacionável à subunidade 4, descrita no relatório final de pesquisa (CPRM, 1979).

- Aldeinho: Sequência de metaconglomerados polimíticos, metassubarcóseos, metagrauvascas, metassiltitos e filitos interdigitados lateral e verticalmente. Correlacionável às subunidades 5 e 6, descritas no relatório final de pesquisa (CPRM, 1979).
- Morro Selado: É a formação mais jovem do grupo (topo) e é representada por xistos (micaxistos, localmente grafitosos), ortoquartzitos e metaconglomerados. Correlacionável à subunidade 7, descrita no relatório final de pesquisa (CPRM, 1979).

Figura 14 – Coluna estratigráfica do grupo Bom Jardim de Goiás (espessuras estimadas).

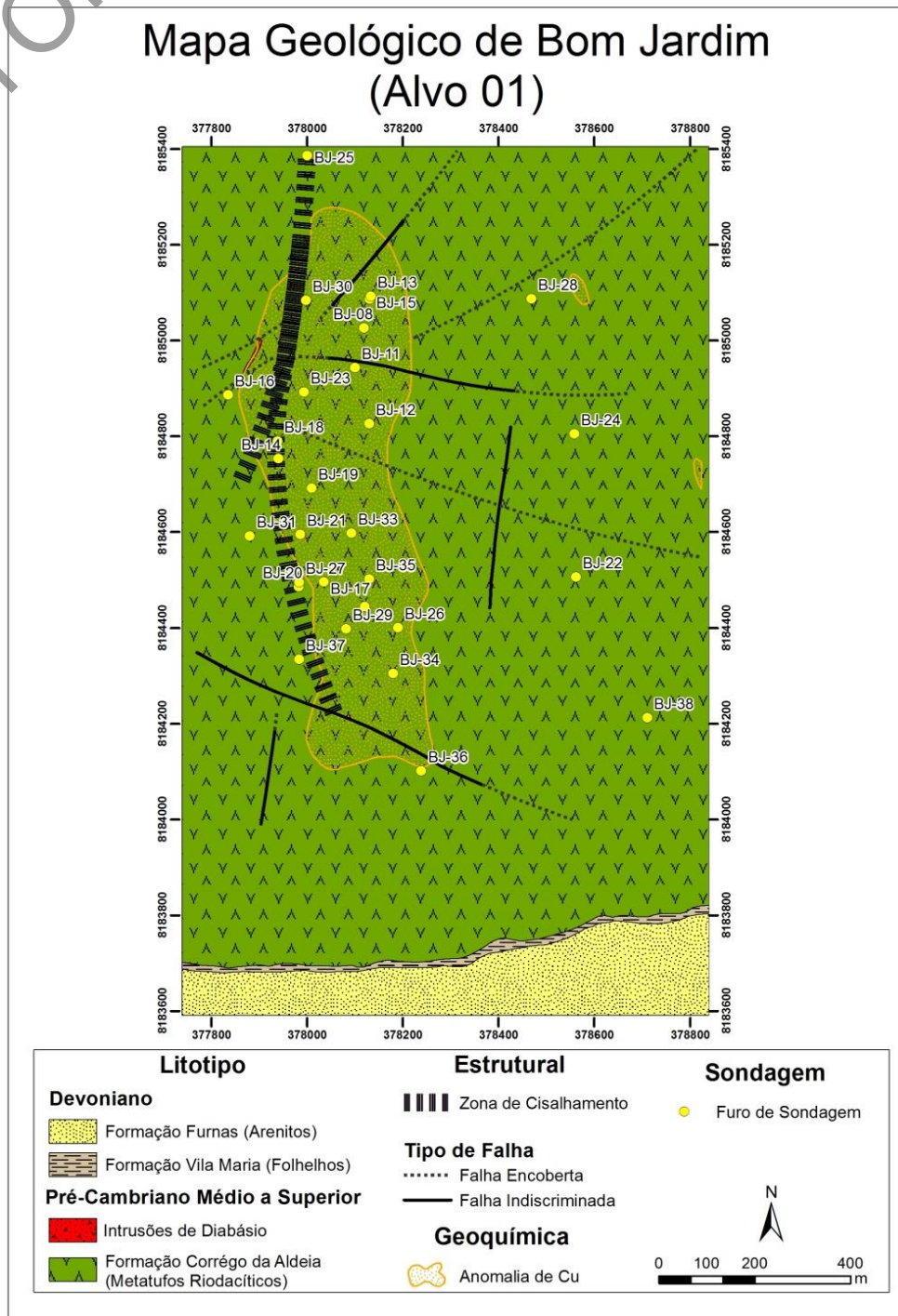


Fonte: SEER, 1985.

As rochas vulcanoclásticas hospedeiras da mineralização, atribuídas à Formação Córrego da Aldeia (Figura 15), foram mais estudadas por Guimarães (2007), que descreve dois tipos de tufos: cineríticos e de cristais. Os tufos cineríticos são os mais abundantes e característicos do depósito. São compostos, essencialmente, por cinza vulcânica, sendo possível identificar poucas fases minerais além das fases presentes nas vênulas que as cortam, que são comuns nessas rochas. Localmente, encontram-se porções ricas em sericita e clorita, interpretadas como alteração hidrotermal de biotita e de cinza vulcânica. Fragmentos líticos também são observados, compostos, em geral, por quartzo, plagioclásio e magnetita (Figura 16).

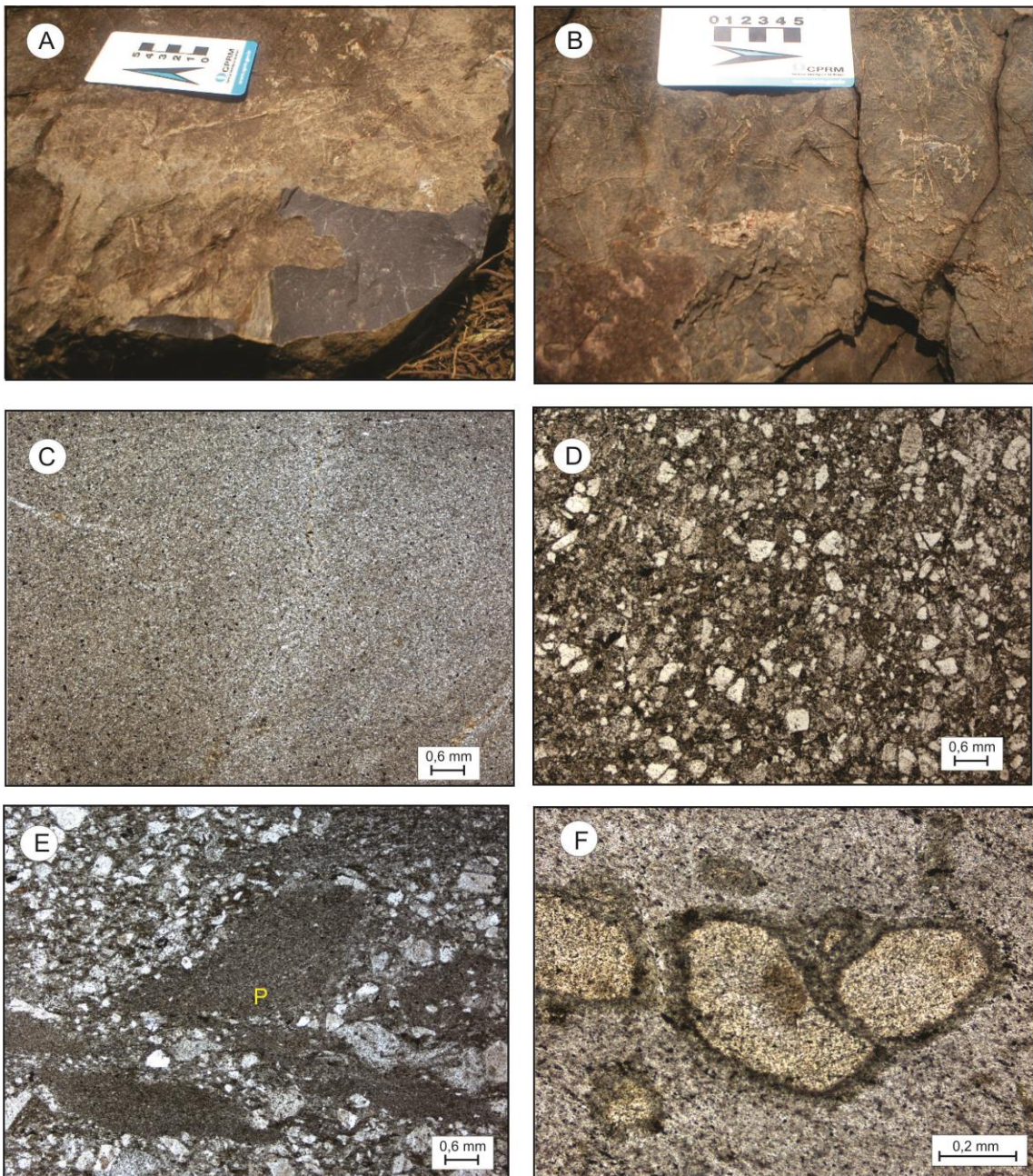
Os tufos de cristais ocorrem intercalados aos tufos cineríticos, sendo compostos por fragmentos angulosos de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, fragmentos líticos e raro anfibólio em matriz de cinza vulcânica.

Figura 15 – Mapa geológico do depósito de Bom Jardim, com localização dos furos de sonda realizados pela CPRM.



Fonte: Modificado de CPRM, 1979.

Figura 16 – A) Afloramento de rocha vulcânica na área do depósito de Bom Jardim, delimitado pela CPRM, com moderada presença de vênulas e B) abundantes venulações. C) Fotomicrografia (BJ-22 – 23,87 m) de tufo cinerítico mostrando matriz cinerítica. D) Fotomicrografia (BJ-39 – 39,72 m) de tufo de cristais mostrando cristais de quartzo, feldspato e pirita em matriz cinerítica. E) Fotomicrografia (BJ-22 – 20,0 m) de tufo de cristais exibindo fragmentos de púmice. F) Fotomicrografia (BJ-22 – 201,45 m) de tufos cineríticos com amígdalas preenchidas por material vítreo.



Feições diagnósticas para reconhecimento do protólito como rochas piroclásticas, tais como presença de púmices, fiammes e amígdalas preenchidas por material vítreo, foram observadas nos tufos cineríticos. Essas características, somadas às pillow lavas descritas na região por Seer (1985), acenam para a possibilidade de que esses tufos sejam resultantes de erupções submarinas rasas ou subaéreas, em que o fluxo piroclástico se deslocou até a água. Cas e Wright (1991) sugerem que nódulos de grãos de quartzo, como os observados nas rochas encaixantes do depósito de Bom Jardim, indiquem soldamento influenciado por ambiente aquoso.

Os tufos cineríticos são classificados como dacitos, enquanto os tufos cristalinos estão dispersos nos campos dos andesitos e dacitos. Esses tufos apresentam caráter litogeoquímico calcialcalino, confirmado por análises químicas em biotita. Ambos os tufos apresentam características geoquímicas e isotópicas de arco vulcânico (GUIMARÃES, 2007).

Na região ocorrem, ainda, corpos graníticos adjacentes ao depósito cuprífero, denominados Macacos e Serra Negra, como descrito anteriormente, sendo claramente posteriores à mineralização.

7.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Falhas transcorrentes, constituintes do Lineamento Transbrasiliano, limitam a borda oeste da sequência vulcanossedimentar, tendo direção geral N45°E e extensão superior a 2.700 km (SCHOBENHAUS FILHO et al., 1975). Os autores afirmam que esse lineamento foi estabelecido durante o Neoproterozoico e que suas reativações se sucederam até o Cretáceo Superior. Extensas zonas de rochas cataclásticas controladas por direções N20-40E e que afetaram as rochas do Arco Magmático de Arenópolis relacionam-se a esse lineamento.

As falhas mais significativas na região do depósito de Bom Jardim são: da Aldeia, Serra Negra e Grande (Figura 17). A Falha da Aldeia, com aproximadamente 10 km de extensão e caráter dextral, é mais antiga que a Falha Serra Negra, tendo desenvolvido cataclastos, milonitos e brechas tectônicas, além de foliação de atitude geral N-S, subvertical, a qual afeta o Grupo Bom Jardim de Goiás (os autores não mencionam mineralização), separando um bloco predominantemente sedimentar, a oeste, de um bloco vulcânico, a leste.

A Falha Serra Negra, de caráter sinistral, se expressa como um lineamento com aproximadamente 50 km de extensão e direção N25E. Em sua extremidade norte, coloca rochas do Grupo Bom Jardim de Goiás em contato com metassedimentos do Grupo Cuiabá (SEER, 1985). As rochas cataclásticas desenvolvidas na Falha Serra Negra são brechas, microbrechas, protomilonitos, milonitos e ultramilonitos (o autor não menciona mineralização).

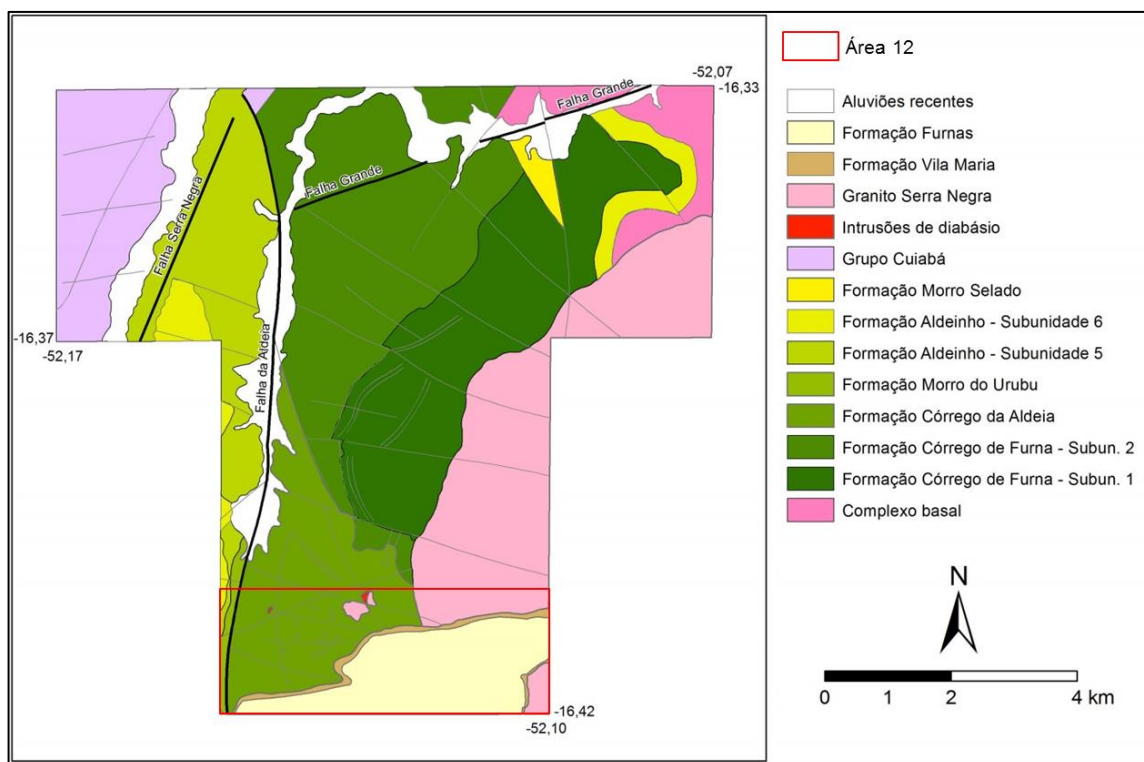
Por fim, a Falha Grande, de direção N80W, corresponde a uma falha de gravidade com rejeito vertical estimado entre 100 m e 130 m, que gerou abatimento do bloco norte, com desenvolvimento de zonas de brechas com larguras variáveis. Outras falhas de gravidade não relacionadas à Falha Grande foram observadas por Seer (1985) com direções E-W, principalmente na porção sudoeste do depósito.

Devido à complexidade estrutural da região, principalmente em função da extrema variação de atitude de elementos estruturais, Seer (1985) dividiu a região de Bom Jardim de Goiás em quatro domínios estruturais, cujos limites foram estipulados a partir das grandes falhas regionais: Serra Negra, da Aldeia e Grande. São eles:

- Domínio I: Localizado a oeste da Falha Serra Negra, é representado por rochas sedimentares do Grupo Cuiabá.

- Domínio II: Situado entre as falhas Serra Negra e Aldeia, é representado por rochas sedimentares e vulcânicas das formações Morro do Urubu, Aldeinho e Morro Selado.
- Domínio III: Compreendido na porção a leste da Falha Aldeia e a sul da Falha Grande, abrange rochas das formações Córrego da Aldeia e Furna.
- Domínio IV: Posiciona-se a norte da Falha Grande e a leste da Falha Serra Negra, com predominância de rochas vulcânicas da Formação Córrego da Furna e rochas sedimentares da Formação Morro Selado.

Figura 17 – Mapa geológico simplificado, com as principais falhas da região.



Fonte: Modificado de CPRM, 1979.

Nota: A área 12, de direito mineralógico da CPRM, está destacada em vermelho.

No domínio III situa-se o depósito cuprífero de Bom Jardim, sendo que as características estruturais ora observadas indicam que as rochas desse domínio possivelmente foram submetidas à deformação em níveis crustais mais rasos que nos demais domínios, por estarem bem preservadas. Seer (1985) indica ainda nesse domínio a presença de dobras anticlinais e sinclinais com sentido de caimento de eixos para SSE e planos axiais paralelos a S1 (clivagem ardosiária), acompanhadas por metamorfismo regional que atingiu a zona da clorita na fácies xisto-verde. Ao longo de clivagens e planos axiais, houve também remobilização de pirita e calcopirita.

8 TIPO DE DEPÓSITO

8.1 MINERALIZAÇÃO

No depósito de Bom Jardim, as rochas hospedeiras da mineralização, de natureza piroclástica, são compostas, predominantemente, por materiais finos, de dois tipos: tufos cineríticos e tufos de cristais. Posicionadas na Formação Córrego da Aldeia, do Grupo Bom Jardim de Goiás, possuem composição intermediária, caráter calcialcalino e características geoquímicas de arcos vulcânicos (GUIMARÃES, 2007).

A mineralização é mais abundante em veios e vênulas de quartzo de diversas espessuras, normalmente com sulfetos associados, e podem estar em paragênese com quartzo, clorita, carbonato e actinolita (Figura 18). Ocorrem, subordinadamente, sulfetos disseminados, os quais, no entanto, não constituem corpos com significado econômico, apenas anomalias geoquímicas que marcam o hidrotermalismo. Ressalta-se que, em superfície, localmente são encontrados gossans (Figura 19).

Os principais minerais de minério do depósito são calcopirita e pirita, e, secundariamente, pirrotita, esfalerita, ilmenita, hematita, magnetita, rutilo, cuprita e ouro, além de arsenopirita, marcassita e grafita – estes com distribuição subordinada.

As abundantes venulações que cortam as rochas hospedeiras da mineralização, geralmente, provocam modificações na cor original das rochas hospedeiras, a qual pode variar de cinza-escuro a cinza-acastanhado e de cinza-esverdeado até rosa-esbranquiçado, dependendo de composição, espessura e abundância das vênulas.

A alteração hidrotermal mais frequente é a silicificação, que ocorre a partir das paredes das vênulas em direção à encaixante, formando grãos de quartzo microcristalino na matriz dos tufos, com preservação de seu arcabouço. A cloritização também é comum, porém, na maioria dos casos, é restrita somente a poucos centímetros a partir das paredes das vênulas, podendo conferir cor esverdeada à rocha. A epidotização foi observada, porém tem ocorrência restrita, associada a veios de actinolita, sem relação direta com a mineralização.

A espessura das zonas de alteração hidrotermal, em geral, é estreita, podendo superar em até duas vezes a espessura das vênulas. Desse modo, espessas zonas de alteração tendem a denunciar a proximidade de veios mais expressivos ou, principalmente, brechação hidrotermal.

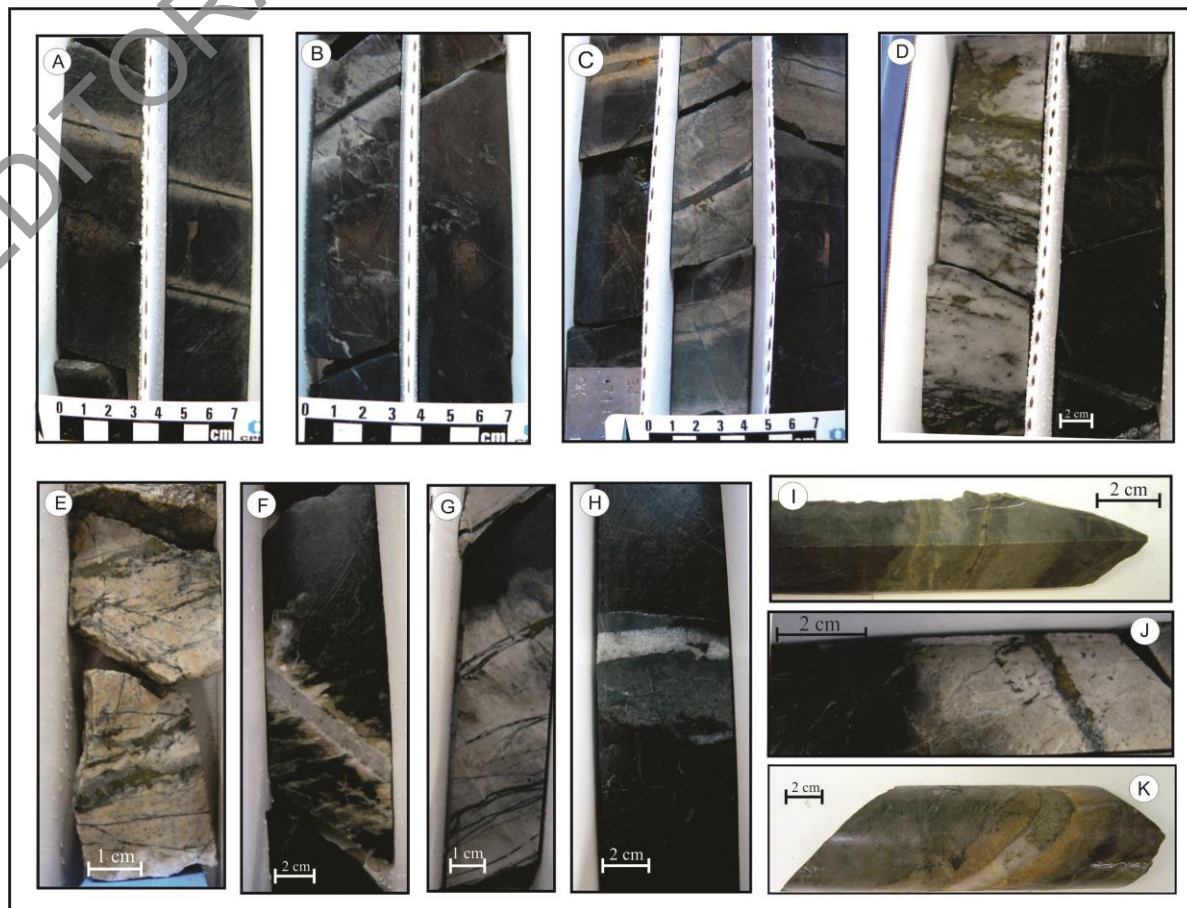
Estudos realizados por Seer (1985) e Guimarães (2007) indicam cinco tipos de veios e vênulas (Quadro 4) hospedados em tufos, de acordo com a associação mineralógica observada. O estabelecimento da cronologia das vênulas é dificultado pelo tectonismo, que paralelizou parcialmente as estruturas primárias, além de, muitas vezes, as vênulas estarem contidas em amostras distintas entre si ou entrecortarem-se.

Figura 18 – Formas de ocorrência dos sulfetos no depósito de Bom Jardim.



Notas: A) Presença de *boxwork* de pirita no furo BJ-11 (23,20 m). B) Veio com pirita abundante + quartzo no furo BJ-39 (185,10 m). C) Veio de quartzo + pirita + calcopirita no furo BJ-33 (88,70 m). D) Veio de pirita + calcopirita + quartzo no furo BJ-19 (21,20 m), com tufo encaixante alterado e brechado. E) Amostra de *gossan* coletado em superfície na área do depósito, apresentando *boxworks* de pirita e calcopirita. F) Tufo cinerítico brechado e alterado com veios de pirita ± calcopirita + quartzo + clorita no furo BJ-39 (49,20 m). G) Veios de pirita + calcopirita em tufo cinerítico, com alteração restrita à borda dos veios, no furo BJ-39 (53,88 m). H) Veio de pirita + calcopirita + quartzo no furo BJ-35 (219,34 m). I) Veio de pirita + calcopirita + quartzo no furo BJ-33 (99,60 m).

Figura 19 – Tipos de vênulas e alterações provocadas nos tufos.



Notas: A) Veios de clorita no furo BJ-33 (119,40 m). B) Veios de clorita em tufo do furo BJ-33 (134,55 m). C) Veios de pirita + calcopirita e de quartzo + clorita + clorita + quartzo em tufo no furo BJ-33 (77,50 m). D) Veio de quartzo + pirita + calcopirita + clorita com textura brechoide na borda no furo BJ-35 (184,80 m). E) Veios de pirita + quartzo no furo BJ-39 (48,55 m). F) Veio de quartzo em tufo do furo BJ-35 (189,50 m). G) Veios de clorita, clorita + quartzo, pirita + quartzo + clorita no furo BJ-35 (95,70 m). H) Veios zonados com quartzo + clorita + carbonato em tufo no furo BJ-35 (102,80 m). I) Veios de pirita + calcopirita em tufo do furo BJ-39 (190,59 m). J) Veio de pirita + quartzo + clorita no furo BJ-33 (174,90 m). K) Veio de pirita + calcopirita + quartzo em tufo no furo BJ-39 (39,60 a 39,76 m).

Quadro 4 – Tipos, composição e orientação preferencial dos veios em furos de sondagem do depósito de Bom Jardim

Tipo	Composição dos Veios	Orientação Geral	Eventos Associados
1	Quartzo	N30°E	A, B, D
		N60°E	
		EW	
2	Quartzo + clorita e clorita	N30°E – N30°W	A, C, D
		NS	
		EW	
3	Quartzo + clorita + carbonato	N60°E	B
4	Quartzo + clorita + pirita + calcopirita	N30°E	B, C, D
	Quartzo + pirita + calcopirita	N60°E	
	Pirita + calcopirita	NS	
5	Carbonato (raro feldspato associado)	N30°E	A, B, C, D
		N60°E	
		EW	
		NS	

Fonte: SEER, 1985.

As cinco tipologias de veios e vênulas do depósito podem estar relacionadas a quatro eventos tectônicos que ocorreram na região (Quadro 5).

Quadro 5 – Eventos tectônicos ocorridos na região do depósito de Bom Jardim

Evento	Orientação	Descrição
A	EW	Zonas de fraturas geradas pela reativação cretácea das falhas transcorrentes regionais.
B	N60°E	Sistema de alívio de pressão relacionado a esforços que geraram a Falha Serra Negra. Gerou fraturas perpendiculares ao acamamento original. Sistema de veios primário (? tectonismo pós-magmático).*
C	NS – N10°W	Associado à reativação da Falha Aldeia, que gerou foliação metamórfica nas rochas. Coincidente com atitude de S1 (clivagem ardosiana) e eixo de dobras apertadas a isoclinais. Responsável pela remobilização de sulfetos (?).
D	N30°E – N30°W	Sistema gerado após intrusão do Granito Serra Negra.

Fonte: Compilado de SEER, 1985.

(*) Supõe-se que em Bom Jardim a mobilização tenha ocorrido apenas dentro da sequência de tufos hospedeiros. Acredita-se que parte das vênulas tenha origem pré-tectônica e que as demais tenham sido remobilizadas durante a deformação e o metamorfismo.

Os veios do tipo 4 são os principais, os de maior espessura e expressão nos tufos e podem ter ocorrência casual de carbonato, titanita, actinolita, epidoto e Mg-hornblenda, o que pode ser devido ao metamorfismo ou à alteração de outros minerais e reação fluido-rocha, o que possibilitou a formação de minerais hidrotermais contendo elevadas concentrações de Ca e Mg.

8.2 MODELO METALOGENÉTICO

A mineralização no depósito de Bom Jardim está associada a sistema de vênulas e veios e, subordinadamente, brechas hidrotermais com concentrações variáveis de sulfetos, alcançando características maciças. Os sulfetos, quando disseminados, ocorrem em pequenas concentrações na matriz dos tufos e não formam corpos de interesse econômico.

Os corpos de minério e os teores de cobre se concentram, em sua maioria, nas zonas com maiores concentrações de vênulas e em porções mais brechadas do corpo de minério. A possível geometria dos corpos de minério indica que a mineralização foi afetada por eventos tectônicos posteriores, ainda no Brasiliano, tornando-se condicionada pelo cisalhamento principal que afeta a unidade e formando, essencialmente, corpos tabulares, conforme se interpreta na atualidade. Essa perspectiva foi alentada também por Costa et al. (1979) e Seer (1985), que sugeriram que um possível corpo de sulfeto maciço pode ter sido deslocado de sua posição original nas proximidades do pipe de alteração, por falhas.

Costa et al. (1979), Seer (1985) e Guimarães (2007) sugerem o modelo vulcanogênico para Bom Jardim. Já Kuyumijan (2000) sugere modelo epitermal para o depósito, enquanto Oliveira et al. (2004) propõem modelo do tipo pórfiro. Essa hipótese é contestada por Guimarães, Moura e Dantas (2012), que afirmam que os granitos não são cogenéticos com as rochas vulcânicas hospedeiras da mineralização, o que não os torna candidatos a hospedar mineralizações do tipo pórfiro, não sendo conhecidos outros granitos que pudessem indicar essa relação.

Assim, com base nas características do depósito, nos dados disponíveis até o momento e comparativamente a outros depósitos mundiais (Quadro 6), Guimarães (2007) sugere que o

depósito de Bom Jardim representaria a zona de stockwork de um depósito vulcanogênico, deformado e reorientado de acordo com as deformações que foram a ele superimpostas.

Quadro 6 – Comparativo entre os depósitos de sulfeto maciço vulcanogênico (VMS), epitermais, pórfiros e de Bom Jardim

Descrição	Tipo de Depósito				
	Sulfeto Maciço Vulcanogênico (VMS)	Epitermais de Alta Sulfetação	Epitermais de Baixa Sulfetação	Depósitos Tipo Pórfiro	Depósito de Bom Jardim
Forma do Depósito	Lente de sulfeto maciço e zona de <i>stockwork</i> .	Predominância de minérios disseminados e substituições. <i>Stockwork</i> e veios são pouco frequentes.	Veios tensionais predominantes. <i>Stockworks</i> comuns. Disseminações e substituições pouco frequentes.	Disseminado e em <i>stockworks</i> .	Disseminações e <i>stockworks</i> .
Relação com o Magma	Próximo a exalações.	Acima da intrusão.	Distante da fonte magmática de calor.	Zona apical do plúton.	Ainda não definida.
Rochas Associadas	Tufos, brechas, lavas, sedimentares clásticas e rochas vulcânicas.	Andesitos e riodacitos.	Andesitos-riodacitos-riolitos.	Granitos e dioritos.	Tufos andesíticos e riolíticos, brechas.
Textura	Alteração hidrotermal, brechas, vênulas.	Substituições das encaixantes, brechas, veios.	Vênulas, preenchimentos de cavidades (bandamento, feições coloformes, drusas), brechas.	Vênulas.	Veios e vênulas, brechas, alteração das encaixantes.
Características do Fluido Mineralizante	Salinidade próxima à da água do mar, fluido rico em gás.	Salinidade moderada a baixa.	Salinidade muito baixa, fluido rico em gás, pH neutro.	Salinidade alta, fluidos ricos em Cl.	Ainda não estudada.
Ocorrência da Sílica	Veios de quartzo e silicificação.	Sílica residual (<i>vuggy quartz</i>), veios de quartzo e brechas silicificadas, silicificação rasa.	Veios e vênulas de quartzo, brecha silicificada e/ou <i>stockwork</i> , sinter.	Veios, brechas.	Veios de quartzo, silicificação.
Minerais de Minério	Pirita, calcopirita, esfalerita, galena, pirrotita, magnetita.	Pirita, enargita, calcopirita, tenantita, covelita, ouro livre, teluretos.	Pirita <i>electrum</i> , ouro livre, esfalerita, galena (arsenopirita).	Calcopirita, pirita, galena, ouro, prata.	Pirita, calcopirita, pirrotita, ouro <i>electrum</i> .
Ganga	Quartzo, barita, gipsita, anidrita.	Quartzo, alunita, barita, caulinita, pirofilita.	Quartzo, calcedônia, calcita, adularia, ilita ou sericita, carbonatos.	Quartzo, sericita, carbonato, adularia, epidoto.	Quartzo, biotita, clorita, epidoto, carbonato.
Metais Presentes	Quartzo, barita, gipsita, anidrita.	Quartzo, alunita, barita, caulinita, pirofilita.	Quartzo, calcedônia, calcita, adularia, ilita ou sericita, carbonatos.	Quartzo, sericita, carbonato, adularia, epidoto.	Quartzo, biotita, clorita, epidoto, carbonato.

Fonte: Compilado de GUIMARÃES, 2007; HEDENQUIST; ARRIBAS; GONZALEZ-URIEN, 2000; HEDENQUIST; LOWENSTERN, 1994; SEER, 1985; SILLITOE, 1995.

9 PROCEDIMENTOS DE RESGATE DE DADOS ANALÓGICOS

Com este tópico tem-se o objetivo de apresentar o processo de resgate e conversão dos dados analógicos que constituíam, integralmente, os arquivos do projeto, para arquivos digitais.

Os dados foram capturados no acesso livre do acervo institucional da CPRM, que contém documentações técnicas digitalizadas publicadas desde a década de 1970. A partir deles, foram extraídos temas ligados à área de interesse, por meio de um sistema de busca específico. Procedeu-se à leitura dos relatórios, para seleção de temas e dados de interesse para reavaliação do potencial da área e dos recursos geológicos do depósito.

9.1 TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

O programa de sondagem realizado à época teve como objetivo avaliar anomalias geofísicas e geoquímicas identificadas nos trabalhos de campo e definir a geometria do corpo de minério e suas características físicas e químicas. Critérios geológicos e estruturais foram considerados, porém, a carência de afloramentos limitou substancialmente sua utilização.

Na região do depósito, a sondagem foi realizada entre 31.07.1976 e 28.03.1978 e somou 8.001,5 m distribuídos em 40 furos em quatro alvos diferentes (Quadro 7). Desse total, 29 furos foram realizados no Alvo 01 (Capibaribe) e utilizados na modelagem e estimativa de recursos, totalizando 6.725,40 m. Os testemunhos foram parcialmente preservados, com algum nível de deterioração, e, principalmente, redução de quantidades por amostragens diversas realizadas tanto pela CPRM quanto por instituições de pesquisa que tiveram acesso a eles. Atualmente, os referidos testemunhos encontram-se armazenados na Litoteca Regional da CPRM em Caeté (MG), região metropolitana de Belo Horizonte, estando acondicionados em caixas de poliuretano com capacidade para 4 m de testemunhos em diâmetro NQ e 5 m em diâmetro BQ (Figura 20).

Quadro 7 – Furos de sondagem executados no projeto Bom Jardim

Furo	Coordenada Local	Az.	Dip	Profundidade	Início	Término
ALVO 01						
BJ-08	716S/137W	0	90	247,60	02.10.76	10.06.77
BJ-11	725S/140W	245	45	390,80	06.12.76	06.07.77
BJ-12	737S/137W	250	45	149,15	13.01.77	18.07.77
BJ-13	710S/136W	250	60	18,10	07.04.77	13.04.77
BJ-14	745S/154W	0	90	162,35	09.04.77	28.05.77
BJ-15	710S/136W	0	90	159,30	19.04.77	24.05.77
BJ-16	730S/165W	0	90	122,50	30.05.77	29.06.77
BJ-17	770S/145W	0	90	240,25	02.07.77	13.08.77
BJ-18	740S/155W	0	90	169,30	02.07.77	21.07.77
BJ-19	750S/148W	0	90	361,75	27.07.77	03.10.77
BJ-20	770S/150W	0	90	63,55	06.08.77	30.09.77
BJ-21	760S/150W	0	90	300,15	15.08.77	29/09.77
BJ-22	770S/95W	0	90	203,15	22.08.77	06.09.77
BJ-23	730S/150W	0	90	279,60	27.09.77	30.09.77
BJ-24	740S/96W	0	90	197,60	10.09.77	27.09.77
BJ-25	680S/150W	0	90	250,05	03.10.77	01.11.77
BJ-26	780S/130W	0	90	341,90	05.10.77	10.11.77
BJ-27	770S/150W	0	90	249,40	06.10.77	27.10.77
BJ-28	710S/100W	155	50	150,20	10.10.77	10.11.77
BJ-29	780S/140W	0	90	250,00	01.11.77	23.11.77
BJ-30	710S/150W	0	90	189,65	04.11.77	2.3.11.77
BJ-31	760S/160W	0	90	239,65	12.11.77	07.12.77
BJ-33	760S/140W	0	90	358,80	25.11.77	09.01.78
BJ-34	790S/130W	270	60	300,1044	09.12.77	27./01.78
BJ-35	770S/130W	270	60	220,45	09.12.77	18.01.78
BJ-36	810S/125W	270	60	299,15	30.12.77	27.01.78
BJ-37	785S/150W	0	90	283,30	31.01.78	16.02.78
BJ-38	800S/80W	270	60	230,25	01.02.78	23.02.78
BJ-39	775S/135W	0	90	297,35	20.02.78	28.03.78
29 furos				6725,40		
Furo	Coordenada Local	Az.	Dip	Profundidade	Início	Término
ALVO 02						
BJ-017	704S/72NE	45	68	79,45	31.07.76	12.08.76
BJ-02	704S/75NE	45	65	70,10	25.08.76	03.09.76
BJ-03	676S/53NE	45	60	77,55	20.08.76	04.19.76
BJ-04	574S/22W	0	90	60,05	11.09.76	21.09.76
BJ-05	574S/16W	0	90	60,00	11.09.76	22.09.76
BJ-06	574S/14W	0	90	80,10	24.09.76	06.11.76
BJ-07	648S/34NE	0	90	113,85	28.09.76	21.10.76
BJ-09	662S/47NE	45	71	66,00	28.10.76	13.11.76
BJ-10	564S/20SW	0	90	60,20	10.11.76	30.12.76
9 furos				667,30		
ALVO 03						
BJ-40	730S/243W	0	90	300,00	05.04.78	09.05.78
1 furo				300,00		
ÁREA 15						
BJ-32	1020S/90W	0	90	308,80	15.11.77	20.12.77
1 furo				308,80		


Figura 20 – Prateleiras de armazenamento das caixas de acondicionamento dos furos de sondagem na litoteca regional de Caeté (MG).



9.2 RESGATE DE DADOS DE LOGS DE SONDAEM

Os logs de sondagem analógicos constantes no relatório final de pesquisa apresentado ao DNPM em 1979 foram digitalizados por equipe própria da CPRM. As descrições geológicas originais (Figura 21) foram adaptadas para o modelo (Quadro 8), buscando manter preservadas as informações primordiais para compreensão da geologia local, mineralização e seus controles. Posteriormente, as informações do cabeçalho do log foram digitadas na Tabela Collar para confecção dos logs atuais.

Figura 21 – Log original escaneado.

 COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE GOIÂNIA - SUREG-GO BOLETIM DE DESCRIÇÃO DE TESTEMUNHO								
PROJETO	BOM JARDIM	PESQUISA DE	ZINCO	INTERESSADO	CPRM			
LOCAL	Faz. C. Formoso	DISTRITO	BOM JARDIM	MUNICÍPIO	BOM JARDIM			
ESTADO	GO	FURO	BJ-08-GO-01	LOCAÇÃO	716S/137W			
INCLINAÇÃO	Vertical	DIREÇÃO	-	EXECUTOR	SONDASA			
INÍCIO	02.10.76	TÉRMINO	10.06.77	PROF. FINAL	247,60m			
DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	LITOLOGIA	TEORES DE COBRE EM %						
	(metro)	0,5	1	2	3	4	5	10
00,00 a 42,50m - Metatufo riocácitico predominantemente cinza-claro com intervalos cinza-escuro, cremes e róseos. (Quartzo, plagioclásio, biotita, fragmentos, clorita). Granulação fina a afanítica e mais raramente, greg seira. Medianamente a muito fraturada e bastante silicificada. Veios ferromagnesianos milimétricos e, mais raramente, centimétricos ao longo de fraturas, preferencialmente inclinados de 15° a 30°. Veios e vénulas quartzosas milimétricas são comuns. Mostra-se mineralizado em pirita e calcopirita associados aos veios ferromagnesianos e, mais raramente, disseminados. A mineralização, embora pouco concentrada, mostra-se persistente entre 7,50 a 12,50 m e 22,00 a 38,50 m, sendo aleatória no restante do intervalo.	5 10 15 20							

Quadro 8 – Cabeçalho da tabela de geologia após a digitalização

Cabeçalho com as Informações Utilizadas na Planilha de Geologia						
1	BHID	FROM	TO	LITOLOGIA	LITO	
2	SULFETOS					
	Py	Cpy	OUTROS			
3	TIPO OCORRÊNCIA					
	Veios	Disseminado	Fraturas			
4	ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL					
	Mt	Sil	Chl	Ser	Epi	Act
5	Estruturas					
	Fraturas	Brechas	Foliação	Veios	Falha	Dobra
6	Atitudes					
	Foliação	Fraturas	Lineação			

9.3 RESGATE DE RESULTADOS ANALÍTICOS

Os resultados analíticos das amostras dos testemunhos de sondagem (Figura 22) e das amostras de geoquímica de solo (Figura 23) foram resgatados e digitados em tabelas Excel pela equipe da CPRM de Brasília, usando como base as informações constantes nos relatórios finais de pesquisa das diversas áreas apresentados em 1979 e 1980.

Todos os resultados das amostras dos furos foram agrupados em uma tabela, totalizando 4.080 intervalos, sendo que cinco desses intervalos não foram previamente amostrados e três intervalos não apresentavam resultados na tabela original. Portanto, a tabela final contém 4.072 amostras com análises de absorção atômica com resultados de Cu (ppm), 1.850 amostras com resultados de Pb (ppm), 1.850 com resultados de Zn (ppm) e apenas 17 resultados de Au (ppm).

Já os dados de geoquímica de solo foram digitados em duas tabelas diferentes, de acordo com a escala de amostragem (regional + semidetalhe e de detalhe no Alvo 01). Posteriormente, contudo, os resultados foram tratados conjuntamente. Não foram resgatados os dados de amostragem de detalhe dos outros alvos, visto terem resultado negativos. Os dados de geoquímica de solo totalizaram 1.486 amostras de levantamento regional e de semidetalhe e 842 amostras de solo de levantamento de detalhe do Alvo 01.

Figura 22 – Tabela original escaneada com os resultados analíticos das amostras dos furos de sondagem.

RESULTADOS DE ANÁLISES DE TESTEMUNHOS DE SONDAAGEM					ABSORÇÃO ATÔMICA				
FURO DE SONDA: BJ-08-60-01					FURO DE SONDA: BJ-08-60-01				
INTERVALO (m)	TEORES EM ppm				INTERVALO (m)	TEORES EM ppm			
	Cu	Pb	Zn	Au		Cu	Pb	Zn	Au
00,00-02,00	760	11	11		30,50-31,00	2175	06	07	
02,00-04,00	7100	12	10		31,00-31,50	100	04	04	
04,00-06,00	460	09	10		31,50-32,00	360	07	08	

Figura 24 – Formulários de descrição petrográfica e calcográfica escaneados.

LABORATÓRIO CENTRAL DE ANÁLISES MINERAIS
DIESPE - Seção de Raios-X

Requisição : 202/G0/78
 Lote : 642/G0
 Nº de amostras : 013 (treze)
 Procedência : Projeto Bom Jardim - c.c. 2149.820
 Análise : Calcográfica

Resultado da Análise

Am. nº : 2149-R-BJ-26-G0 (99,40 m) nº - Lab.: GBI - 771

Minerais Metálicos : - Pirita, arsenopirita, calcopirita, ilmenita.

Características Microscópicas : - A presença de minerais metálicos nesta seção é muito pequena, ficando restrita a poucos cristais xenomórficos de pirita, raros cristais irregulares de calcopirita e a raríssimos cristais hipidiomórficos de arsenopirita, todos estes dispersos irregularmente pela rocha. Observa-se, também, a presença de poucos cristais cinzento-esbranquiçados, anisotrópicos, que correspondem a ilmenita.

Am. nº : 2149-R-BJ-26-G0 (109,80 m) nº - Lab.: GBI - 774

Minerais Metálicos : - Pirrotita, pirita, calcopirita, arsenopirita, marcassita, ilmenita.

Características Microscópicas : - A pirrotita é o metálico predominante na seção, ocorrendo em cristais xenomórficos bem desenvolvidos, apresentando inclusões irregulares de calcopirita. Associados à pirrotita, observa-se também cristais de pirita, a maioria xenomórficos, sendo que alguns estão intimamente associados a um mineral branco-creme, de refletividade maior, que corresponde a marcassita. A arsenopirita é rara na seção, aparecendo em cristais hipidiomórficos irregularmente dispersos. Nota-se também diminutos cristais tabulares de

Quadro 9 – Cabeçalho da tabela de petrografia

Cabeçalho com as Informações Utilizadas na Planilha de Petrografia									
1	Nome	Profundidade	Lito	Composição Modal	Descrição Petrográfica	Descrição Calcográfica	Nº Lâmina	Data	Geólogo
2	Mineralização								
	Py	Cpy	Prt	Hm	Mt	Outros			
3	Tipo de Ocorrência								
	Veios	Vênulas	Disseminado						
4	Minerais de Alteração								
	Chl	Ep	Ser	Sil	Cb	Act	Ox.fe	Argilo	
5	Estruturas								
	Frat	Veios							

9.5 LEVANTAMENTO DE COORDENADAS EM CAMPO

As atividades da equipe de Cartografia da CPRM (DICART), com apoio técnico da Divisão de Hidrologia Aplicada (DIHAPI), consistiram em localização, identificação e obtenção de coordenadas planialtimétricas por rastreamento de satélites artificiais do GPS (Global Positioning System/Sistema de Posicionamento Global) de 39 furos de sondagem nos alvos 01 e 02, com uso de programas de pré e pós-processamento dos dados coletados em campo das áreas de estudo.

9.5.1 Equipamento

Na execução das atividades de topografia relativas ao projeto, foram utilizados os seguintes equipamentos para as duas equipes:

Cinco receptores GPS geodésicos L1/L2, modelo GTR-G2 da TechGeo.

Dois receptores GPS de navegação, marca Garmin.

Um nível topográfico.

Dois notebooks.

Duas câmeras fotográficas digitais.

Acessórios de equipamentos topográficos (tripés, miras, bastões, trenas, bases nivelantes etc.).

9.5.2 Estabelecimento de ponto-base

Para estabelecimento do ponto-base na cidade de Bom Jardim de Goiás, foi escolhido local seguro e de fácil acesso, que atendesse às condições necessárias ao rastreamento de satélites para o posicionamento geodésico (Figura 25).

Figura 25 – Ponto-base para levantamento topográfico da boca dos furos de sonda.



Como estratégia do cálculo das coordenadas geodésicas de latitude (Φ) e longitude (λ) do ponto-base, optou-se por manter a base como fixa (método estático), levando em consideração os tempos de rastreamento e das taxas de coletas de dados.

O tempo de rastreamento da base foi de 24 horas, durante 14 dias, com taxa de coleta de dados de 1", máscara de elevação de 10° e buscando sempre fixar a ambiguidade, visando a atender às normas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Todos os dados preliminares foram convertidos ao formato RINEX, pelo software CONVERT 4 e submetidos ao IBGE-PPP. Com o resultado da análise estatística, foram pós-processados pelo programa Trimble Total Control (a sigla PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) refere-se à obtenção da posição de uma estação utilizando as observáveis fases da onda portadora coletadas por receptores de duas frequências (L1/L2) e em conjunto com os produtos do International GPS Service (IGS).

O resultado do IBGE-PPP independe de qualquer ajustamento de rede geodésica e não está associado a realizações ou ajustamentos de rede planimétrica.

Para o valor representativo do ponto-base, calculou-se a média aritmética e o desvio-padrão das coordenadas geográficas em WGS-84, de todos os dias de observação, obtendo-se, assim, o seu valor médio: $\phi = 16^{\circ}12'34.9917''S$ e $\lambda = 52^{\circ}10'10.6380''W$.

9.5.3 Localização de furos de sondagem

Inicialmente, a equipe da CPRM procedeu ao reconhecimento das áreas (alvos 01 e 02), com o objetivo de localizar e sinalizar os 39 marcos de furos de sondagem ou seus vestígios. Com isso, apenas 10 furos de sondagem, além de um marco do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), foram localizados e ocupados (Figura 26). Os referidos furos receberam a mesma nomenclatura do projeto original, ou seja, cada furo tem a sua identificação iniciada pela sigla BJ (Bom Jardim).

Figura 26 – Ocupação e rastreo dos furos de sondagem.



9.5.4 Estabelecimento de coordenadas de furos de sondagem

Para estabelecer as coordenadas planialtimétricas dos 10 furos de sondagem encontrados (Quadro 10), foi utilizada tecnologia GPS no modo estático pós-processado, utilizando-se, para o rastreo, receptores do tipo geodésico L1/L2 (modelos GTR-G2 da TechGeo), durante um período de observação de, no mínimo, uma hora, com taxa de coleta de dados de 1'' e máscara de elevação de 10°, calculando-se as coordenadas no sistema WGS-84.

Assim como os dados da base, os dados preliminares de cada furo de sondagem foram convertidos em formato RINEX e submetidos ao programa Trimble Total Control.

Quadro 10 – Coordenadas planialtimétricas dos furos de sondagem encontrados no alvo 01

Furo	Latitude	Longitude	H (m)
BJ08	16° 24' 47.2366" S	52° 08' 31.0818" W	573.4021
BJ14	16° 24' 56.0814" S	52° 08' 37.1724" W	709.7895
BJ15	16° 24' 45.2839" S	52° 08' 30.6864" W	535.9976
BJ18	16° 24' 54.9063" S	52° 08' 37.2217" W	702.2377
BJ25	16° 24' 35.5033" S	52° 08' 35.0054" W	495.9675
BJ26	16° 25' 07.6252" S	52° 08' 28.8040" W	726.8885
BJ30	16° 24' 45.3493" S	52° 08' 35.1643" W	540.2887
BJ34	16° 25' 10.7340" S	52° 08' 29.1834" W	758.6901
BJ37	16° 25' 09.7515" S	52° 08' 35.7977" W	744.4498
BJ39	16° 25' 06.1830" S	52° 08' 31.1395" W	723.0862

9.5.5 Cálculo das altitudes ortométricas (H)

Pressupõe-se que, para cálculo da cota de cada furo de sondagem, haja necessidade de conhecimento das altitudes ortométricas (desnível em relação ao nível médio dos mares e referido ao geóide); portanto, é desejável sua determinação. Entretanto, como o GPS não fornece esse tipo de altitude, ou seja, somente são determinadas altitudes geométricas (referidas ao elipsoide), a alternativa adotada foi utilizar um sistema de interpolação de ondulação geoidal concebido e produzido conjuntamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), o MAPGEO2010, em que a ondulação geoidal de um ponto ou conjunto de pontos pode ser obtida em SIRGAS2000, que é compatível com o WGS-84.

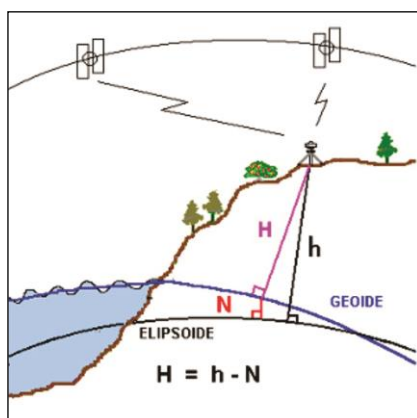
Para isso, precisa-se conhecer a ondulação geoidal, ou seja, a separação entre as duas superfícies de referência, o geóide e o elipsoide (Figura 27).

A ondulação n é calculada a partir da relação: $n = h - H$.

Onde (ϕ) é a latitude geodésica, (λ) a longitude geodésica, h a altitude elipsoidal ou geométrica, H a altitude ortométrica, n é a ondulação geoidal, calculada a partir do MAPGEO2010.

Como parte do cálculo das altitudes ortométricas (H), é importante considerar a altura das antenas do GPS no momento da ocupação dos furos.

Figura 27 – Modelo de interpolação de ondulação geoidal – MAPGEO2010.



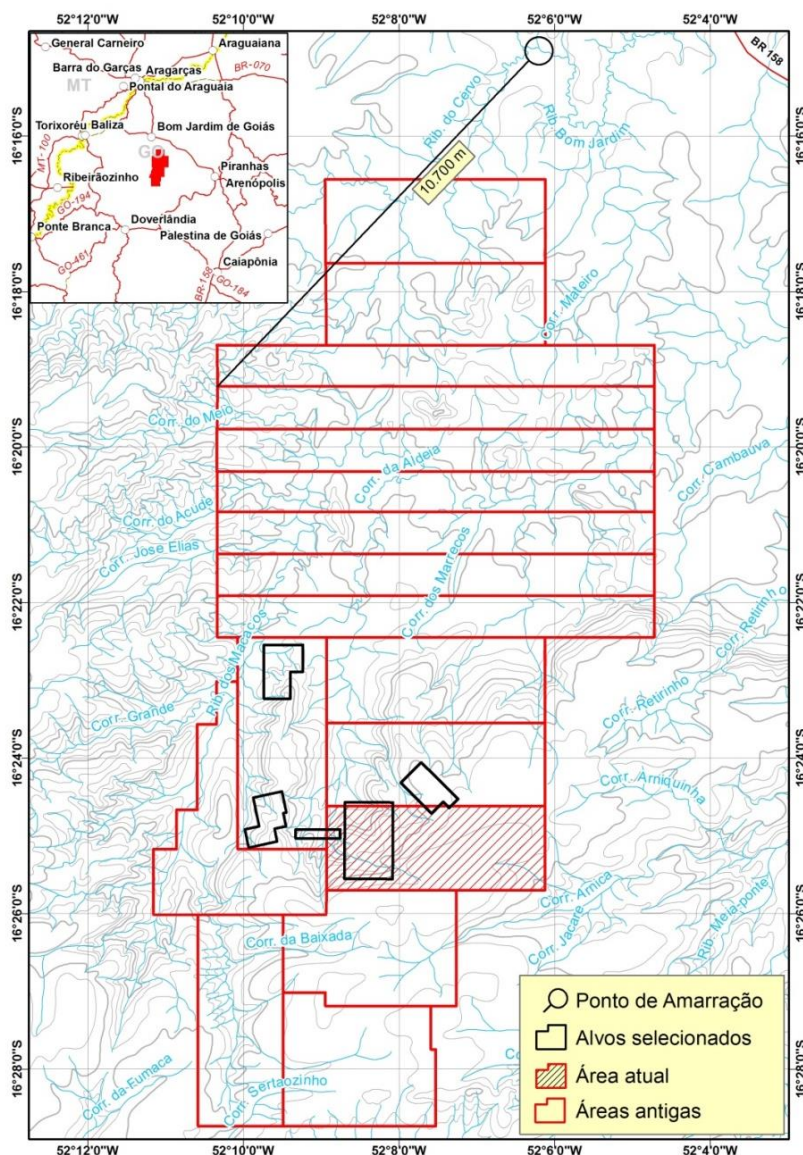
Fonte: IBGE (http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm).

9.6 Espacialização dos Dados

As referências espaciais dos furos de sondagem e das estações geoquímicas de solo estavam descritas em tabelas contendo as coordenadas locais e os resultados analíticos; também foram encontrados diversos mapas, que foram selecionados de acordo com o objetivo previsto.

Analisando-se os relatórios, verificou-se que, à época, o procedimento de espacialização das estações consistiu de aberturas de picadas E-W e piqueteamento utilizando-se bússola, teodolito, balizas e trena. Foram realizados trabalhos de semidetalhe com picadas espaçadas de 400 m e piqueteadas a cada 50 m, e trabalhos de detalhe com picadas espaçadas de 100 m e piqueteadas a cada 20 m. A numeração dos piquetes se deu dentro do sistema de coordenadas cartesianas, em décimo de metro, cuja origem é dada pelo cruzamento de uma picada-mestra N-S e uma picada E-W denominada zero (ponto de amarração: encontro do córrego Cervo com o córrego Bom Jardim, 19 km a norte do Alvo 01) (Figura 28). Isso quer dizer que uma picada cujo nome é 600S/140E significa que sua localização será 6.000 m a sul e 1.400 m a leste da origem dos eixos de coordenadas locais.

Figura 28 – Mapa com a localização do ponto de amarração utilizado no sistema de coordenadas locais do projeto Bom Jardim.



9.6.1 Ajustamento das coordenadas dos furos de sondagem

No levantamento das coordenadas dos furos de sondagem em campo, encontraram-se apenas 10 dos 29 furos do Alvo 01. Portanto, a solução encontrada foi georreferenciar mapas antigos com a distribuição geral das sondagens e extrair as coordenadas faltantes a partir destes.

Durante as análises bibliográficas, foram encontrados três mapas que poderiam servir de base para os estudos: mapa geológico do Alvo 01, mapa geológico regional e o mapa de localização das sondagens do Alvo 01. Para auxiliar no georreferenciamento do mapa, utilizaram-se como referência espacial os furos de sondagem extraídos em campo e a área do processo contido nos arquivos do DNPM.

Como indicador de qualidade das informações georreferenciadas, durante o georreferenciamento procedeu-se ao cálculo do erro médio quadrático (RMS) dos pontos de controle distribuídos nos mapas.

Observando-se o Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984), que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional, uma carta pode ser classificada quanto à sua exatidão de acordo com o Plano de Exatidão Cartográfica (PEC), que é dividido nas classes A, B e C, onde, para cada escala do mapa existente, o erro é classificado a partir do valor do RMS (Quadro 11).

Quadro 11 – Padrão de exatidão cartográfica para as escalas dos mapas

Escala	Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)		
	A	B	C
01:25.000	12,5	20	25
01:50.000	25	40	50
01:100.000	50	80	100

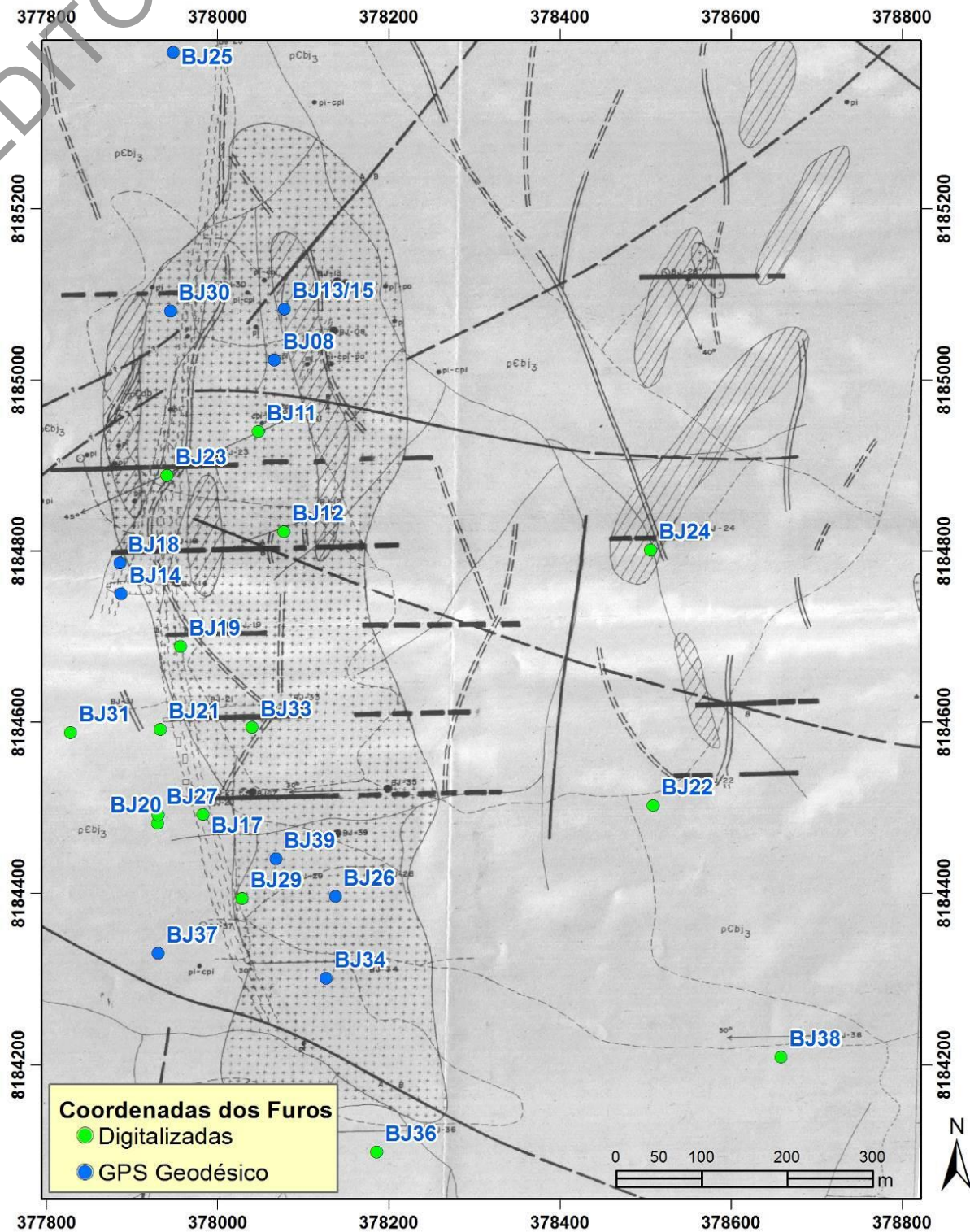
Os erros embutidos para cada mapa foram: (i) o mapa geológico do Alvo 01 obteve um RMS de 8,09 m; (ii) o mapa geológico regional (1:20.000) apresentou um erro de 58,13m; (iii) o mapa de localização das sondagens foi georreferenciado pelas coordenadas locais, a fim de se visualizar a distribuição espacial dos furos, não tendo, portanto, caráter definitivo, já que o mapa geológico do Alvo 01 já tinha todos os elementos necessários.

Os erros apresentados no mapa geológico regional estão acima do padrão máximo exigido para o padrão C. Contudo, esses erros estão relacionados às distorções do papel no momento da escanização dos mapas; além disso, os contornos desenhados das feições geográficas, naquela época, diferem dos padrões encontrados nas imagens de satélites.

Porém, para minimizar o erro e tornar o posicionamento espacial mais confiável, procurou-se ajustar essas feições geográficas (drenagens, morros, vales) dos mapas à imagem Geocover. Após minimização dos erros, foram extraídas as coordenadas dos furos que não foram encontrados em campo (Figura 29). As cotas (Z) dos furos que não foram encontrados em campo foram obtidas projetando-se a boca desses furos (Collar) na topografia utilizada na modelagem geológica.

As coordenadas locais originais dos furos, as coordenadas UTM extraídas do mapa georreferenciado (furos não encontrados em campo) e as coordenadas UTM levantadas em campo são exibidas no Quadro 12.

Figura 29 – Mapa geológico do alvo 01 (escaneado) utilizado como referência para georreferenciamento, digitalização e extração das coordenadas dos furos não encontrados.



Quadro 12 – Comparação entre as coordenadas locais e coordenadas UTM (WGS 84, DATUM 22S) dos furos contidos no alvo 01

Furo	Coordenada Local	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
BJ-08*	716S/137W	378066.516	8185023.185	573.402
BJ-11	725S/140W	378047.499	8184939.853	594.918
BJ-12	737S/137W	378077.446	8184822.875	643.982
BJ-13	710S/136W	378080.438	8185088.929	539.255
BJ-14*	745S/154W	377887.384	8184750.343	709.790
BJ-15*	710S/136W	378077.907	8185083.263	539.090
BJ-16	730S/165W	377782.195	8184883.120	678.032
BJ-17	770S/145W	377982.740	8184492.796	730.264
BJ-18*	740S/155W	377885.718	8184786.449	702.439
BJ-19	750S/148W	377956.680	8184688.616	712.553
BJ-20	770S/150W	377929.787	8184482.367	735.380
BJ-21	760S/150W	377933.142	8184591.678	730.442
BJ-22	770S/95W	378508.998	8184503.098	740.941
BJ-23	730S/150W	377941.033	8184888.731	639.960
BJ-24	740S/96W	378506.139	8184801.510	676.593
BJ-25*	680S/150W	377948.097	8185383.124	495.968
BJ-26*	780S/130W	378137.610	8184396.971	726.889
BJ-27	770S/150W	377930.560	8184491.889	734.563
BJ-28	710S/100W	378416.090	8185084.175	632.410
BJ-29	780S/140W	378028.782	8184394.161	738.024
BJ-30*	710S/150W	377945.090	8185080.505	540.289
BJ-31	760S/160W	377827.824	8184588.360	736.293
BJ-33	760S/140W	378040.230	8184594.082	713.987
BJ-34*	790S/130W	378126.895	8184301.366	758.690
BJ-35	770S/130W	378076.927	8184498.333	712.950
BJ-36	810S/125W	378186.190	8184098.221	733.364
BJ-37*	785S/150W	377930.531	8184330.455	744.450
BJ-38	800S/80W	378658.275	8184208.933	805.960
BJ-39*	775S/135W	378068.085	8184440.904	723.086

(*) Furos com coordenadas levantadas em campo.

9.6.2 Ajustamento das coordenadas das estações geoquímicas

O trabalho de ajustamento das estações geoquímicas consistiu nas seguintes etapas: digitalização das tabelas de dados analíticos; georreferenciamento do mapa antigo em coordenadas locais; padronização das coordenadas locais; espacialização dos pontos das coordenadas locais; ajustamento espacial para as coordenadas UTM.

Inicialmente, partiu-se para a digitalização dos dados de solo tendo como referência as coordenadas locais. Foram dispostos em tabela Excel contendo dados do número de campo, coordenadas Leste locais, coordenadas Oeste locais e teores de cobre, chumbo, zinco, níquel,

ferro e manganês. O georreferenciamento do mapa antigo foi baseado nas coordenadas locais, não tendo sido utilizado qualquer sistema de referência naquele momento.

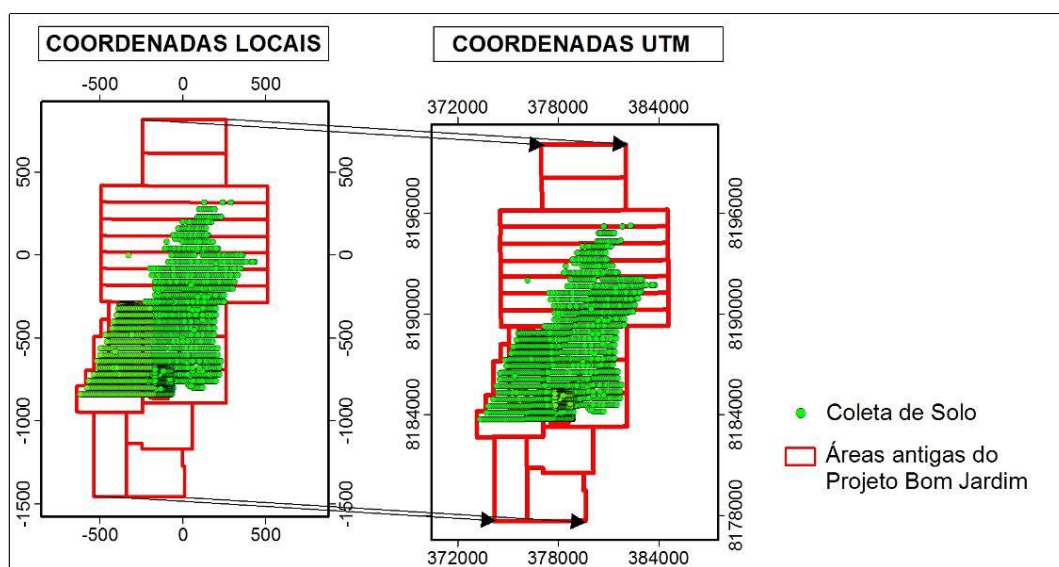
Para a espacialização dos pontos, foi necessário converter as coordenadas da tabela em um formato compatível com as coordenadas locais para que isso fosse plotado no software de geoprocessamento. Assim, seguiram-se os mesmos padrões de coordenadas cartesianas, onde se adotaram como valores negativos os pontos situados a Oeste e Sul e valores positivos das coordenadas situadas a Norte e Leste. Por exemplo, o par de coordenadas 600S/140E foi modificado para -600/140 e dessa forma foi plotado no software. Cabe salientar que não houve revisita aos relatórios para verificar possíveis erros de digitação, pois nenhum ponto ficou fora da área do projeto.

Ao plotar os pontos, percebeu-se que havia sobreposição entre duas tabelas. Tratava-se de redundância de dados. Fez-se uma seleção por localização espacial entre as duas e os valores repetidos foram excluídos de um dos arquivos. O passo seguinte foi o ajustamento espacial desses pontos. Não é um procedimento apenas de conversão de sistemas de coordenadas; trata-se de uma técnica dentro do ambiente de edição, utilizando-se ferramentas de ajuste espaciais, que fornecem métodos interativos para alinhar e integrar os dados.

Para esse procedimento foi necessário escolher um arquivo shapefile de referência espacial, já que não tínhamos qualquer mapa referenciando as locações das estações geoquímicas. Nesse caso, utilizou-se a shapefile das áreas antigas do Projeto Bom Jardim que existiam espacializadas nos mapas das coordenadas locais e nos mapas que continham coordenadas UTM.

Com isso, a *shapefile* das áreas antigas foi trazida às coordenadas locais, sendo ajustadas à imagem local. Posteriormente, trabalhou-se na edição de todos os pontos de geoquímica e, nessa área do projeto, fez-se um procedimento de ajuste espacial contrário ao anterior, clicando nos quatro cantos extremos do vértice da área nas coordenadas locais e, finalmente, ajustando-os às coordenadas UTM (Figura 30). Um maior ajuste fino foi dado, com auxílio dos pontos da sondagem tirados em GPS. Foi necessário escolher um desses pontos de sondagem para referência. Nesse caso, foi escolhido, aleatoriamente, o furo BJ-30 para ajustamento.

Figura 30 – Ajustamento dos pontos de geoquímica das coordenadas locais às coordenadas UTM.



9.7 TOPOGRAFIA

A determinação da superfície de elevação da área foi calculada com base nos dados de altimetria disponíveis no *software* GoogleEarth. Na área de 4,42 km², foi realizada uma malha regular, em *software* ArcGIS, com espaçamento de 100 m entre os pontos nos sentidos Norte-Sul e Oeste-Leste, totalizando 502 pontos.

Foram acrescentados a essa malha os 10 pontos retirados em campo, com GPS geodésico, para melhor ajustar o modelo digital de elevação. A intenção é interpolar para formar um novo conjunto de dados a partir de um conjunto de dados conhecidos na realidade de campo.

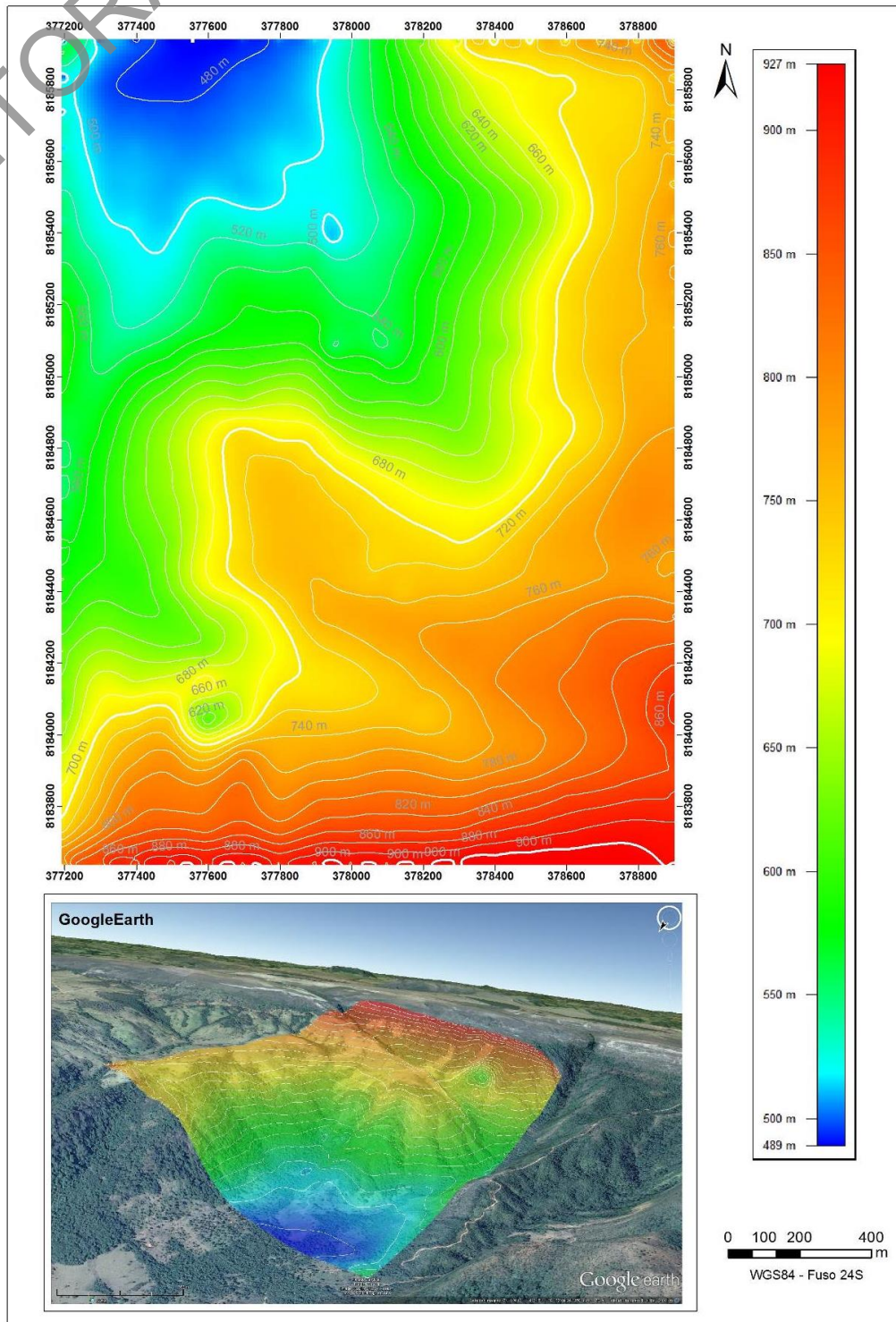
Com isso, os dados de altimetria foram extraídos do GoogleEarth e formatados em uma única planilha com três colunas – X, Y e Z –, onde a primeira correspondia às coordenadas UTME, a segunda às coordenadas UTMN e a terceira às cotas adquiridas.

Feito isso, partiu-se para a interpolação por meio do método de Mínima Curvatura. Esse método foi escolhido por se entender que, com a utilização de um polinômio, a sua superfície gerada é suavizada. O resultado é a produção de um grid já existente, buscando suavizá-lo, onde cada passo é considerado uma interação e os valores do grid são recalculados várias vezes para cada nó, até que os valores sejam menores que o resíduo máximo encontrado (ANDRIOTTI, 2003).

O resultado da interpolação foi analisado por meio de inspeção visual, comparando-o com a superfície 3D dentro do *software* GoogleEarth (Figura 31). Observou-se que, de acordo com o formato e a disposição das curvas de nível, o modelo digital de terreno (MDT) mostrou-se bastante satisfatório.

A modelagem geoidal, futuramente, poderá ser melhorada pelo aporte de novos dados topográficos à área de estudo. A diferença encontrada entre as ondulações levantadas e as calculadas pelo MAPGEO2010, único programa contendo dados da região, corrobora a assertiva de que o referido programa, pelo menos para essa região, pode ser usado para nivelamentos de qualquer escala.

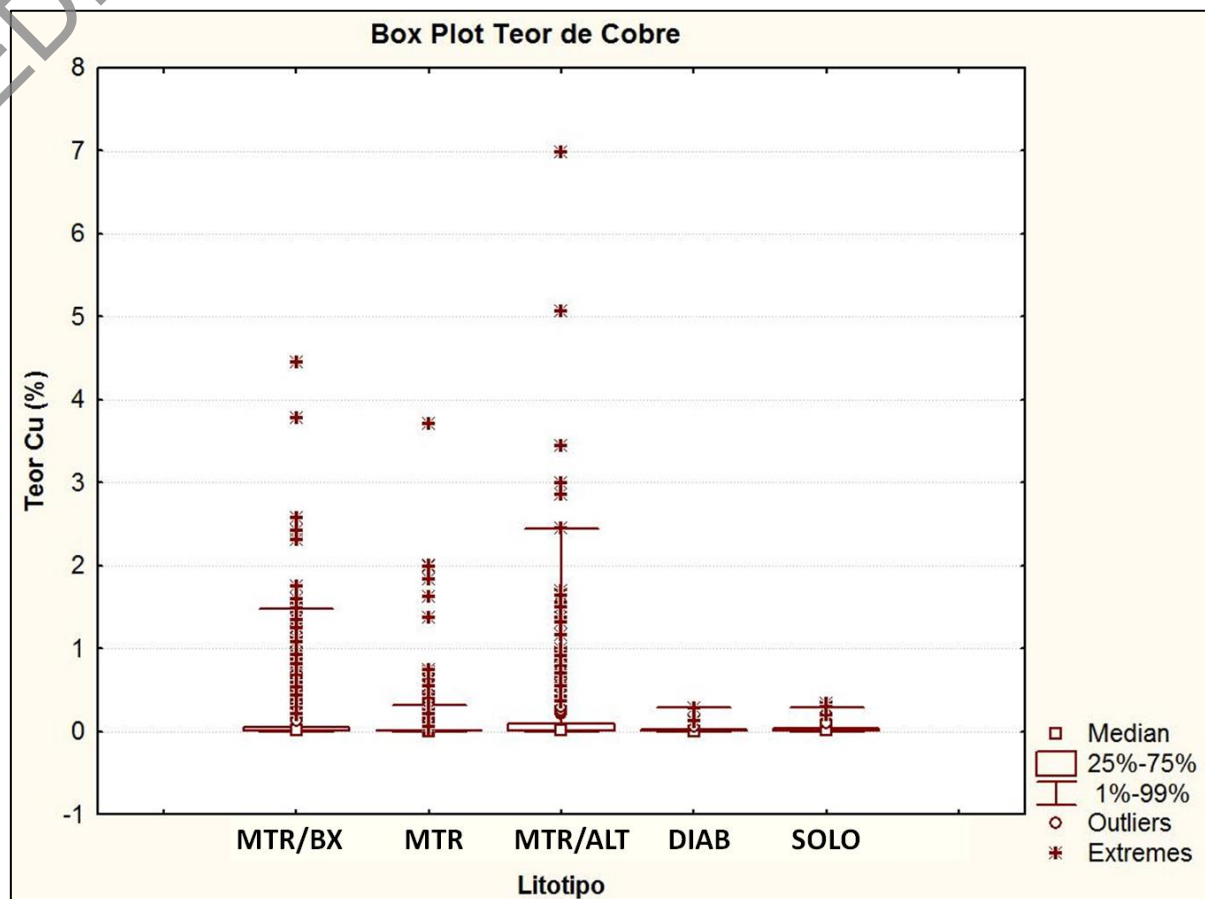
Figura 31 – Resultado da interpolação do modelo digital de terreno



9.8 REDESCRIÇÃO DE FUROS

Com o objetivo de averiguar a distribuição dos teores por litotipo, geraram-se box plots (Figura 32) dos cinco litotipos descritos. A partir da análise dos gráficos, não foi possível encontrar uma relação entre a litologia e os teores de cobre.

Figura 32 – Box plot com a distribuição dos teores de cobre por todos os litotipos.



Notas: SOLO: solo e/ou saprolito. DIAB: intrusivas básicas, diabásio. MTR: metatufo riodacítico. MTR/ALT: metatufo riodacítico alterado. MTR/BX: metatufo riodacítico brechado, cataclásado ou milonitizado.

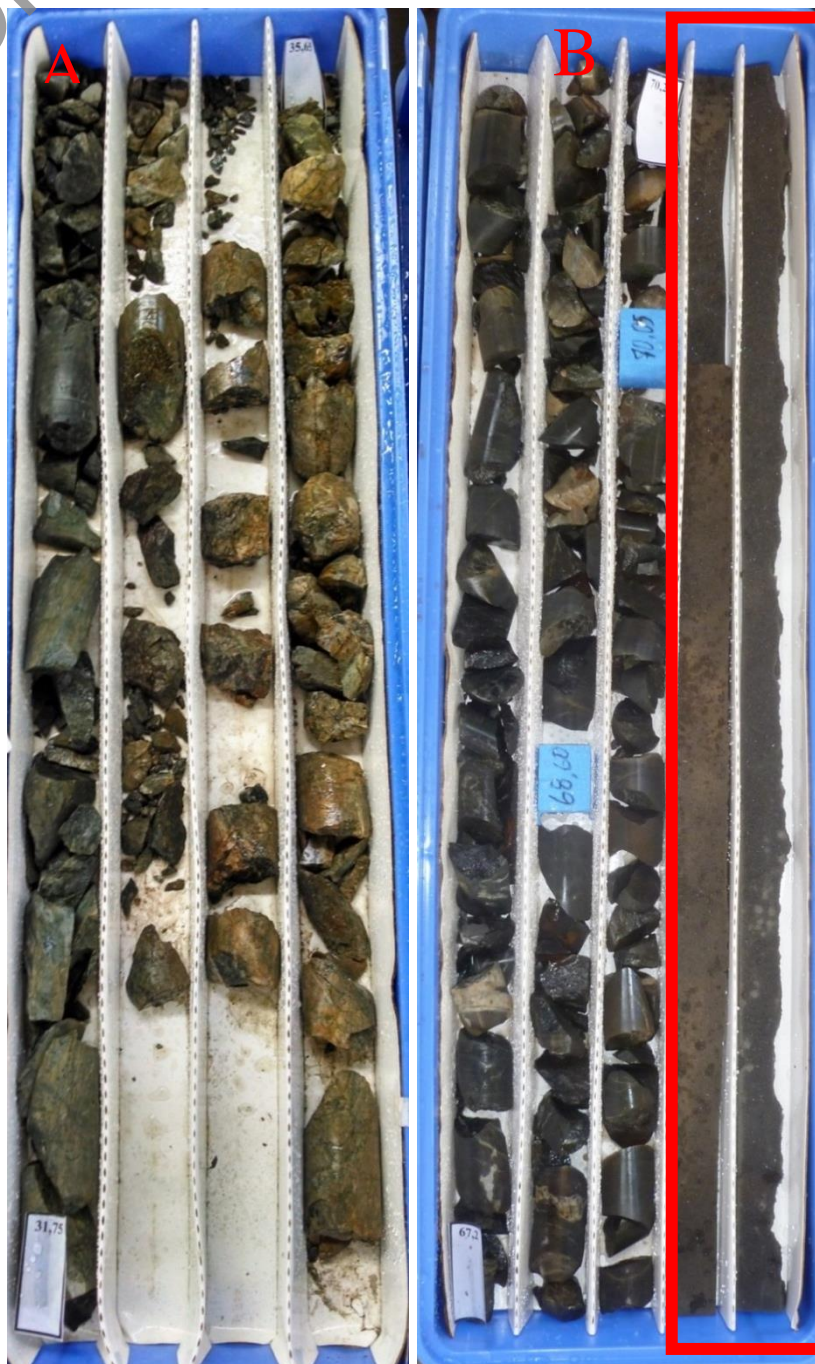
Para compreender melhor a correlação litotipo/teor, decidiu-se redescrever 10 furos mineralizados que se encontram armazenados na Litoteca Regional de Caeté. Porém, devido às más condições de armazenamento dos testemunhos durante o período em que estiveram em Goiânia (até abril de 2011), muitos intervalos foram perdidos (Quadro 13), principalmente os mais mineralizados. Os intervalos que restaram encontram-se, em sua maioria, bastante fragmentados e, muitas vezes, estão invertidos ou fora da posição original dentro da caixa (Figura 33).

Assim, não foi possível efetuar uma descrição que substituísse a descrição antiga. Portanto, manteve-se a original e a redescrição atual valeu somente para se ter mais conhecimento sobre a mineralização; no entanto, não se encontrou a correlação entre os litotipos e o teor de cobre.

Quadro 13 – Intervalos ausentes dos furos de sondagem do alvo 01

Furo	Intervalos Ausentes	Furo	Intervalos Ausentes
BJ-08	4.77-9.05	BJ-15	132.35-146.45
	13.30-17.6	BJ-17	82.4-87.2
	208.2-218.3		141.0-158.0
BJ-11	5.55-8.10	BJ-19	70.25-88.1
	15.15-28.8		168.51-193.15
	35.3-83.95		275.77-286.95
	87.75-91.8	BJ-21	FALTA O FURO INTEIRO
	96.0-100.35	BJ-23	55.94-67.56
	113.4-145.75		84.87-125.42
	165.5-171.1		183.41-200.56
	175.4-180.3	BJ-29	96.48-102.27
	217.2-223.15		107.95-133.95
	228.25-247.85		184.96-242.95
	252.75-305.9	BJ-33	59.9-65.60
BJ-12	37.0-44.05	BJ-34	216.65-222.7
	58.45-62.2		259.0-264.75
	66.1-70.0		299.9-300.10
BJ-14	35.25-38.9	BJ-35	18.0-23.45
	42.4-49.55		138.85-161.82
	52.95-56.65	BJ-39	178.70-184.65

Figura 33 – A) Caixa 4114 do furo BJ-18 (31,65 m a 35,63 m)*. B) Caixa 4159 do furo BJ-19 (67,25 m a 70,25 m)**.

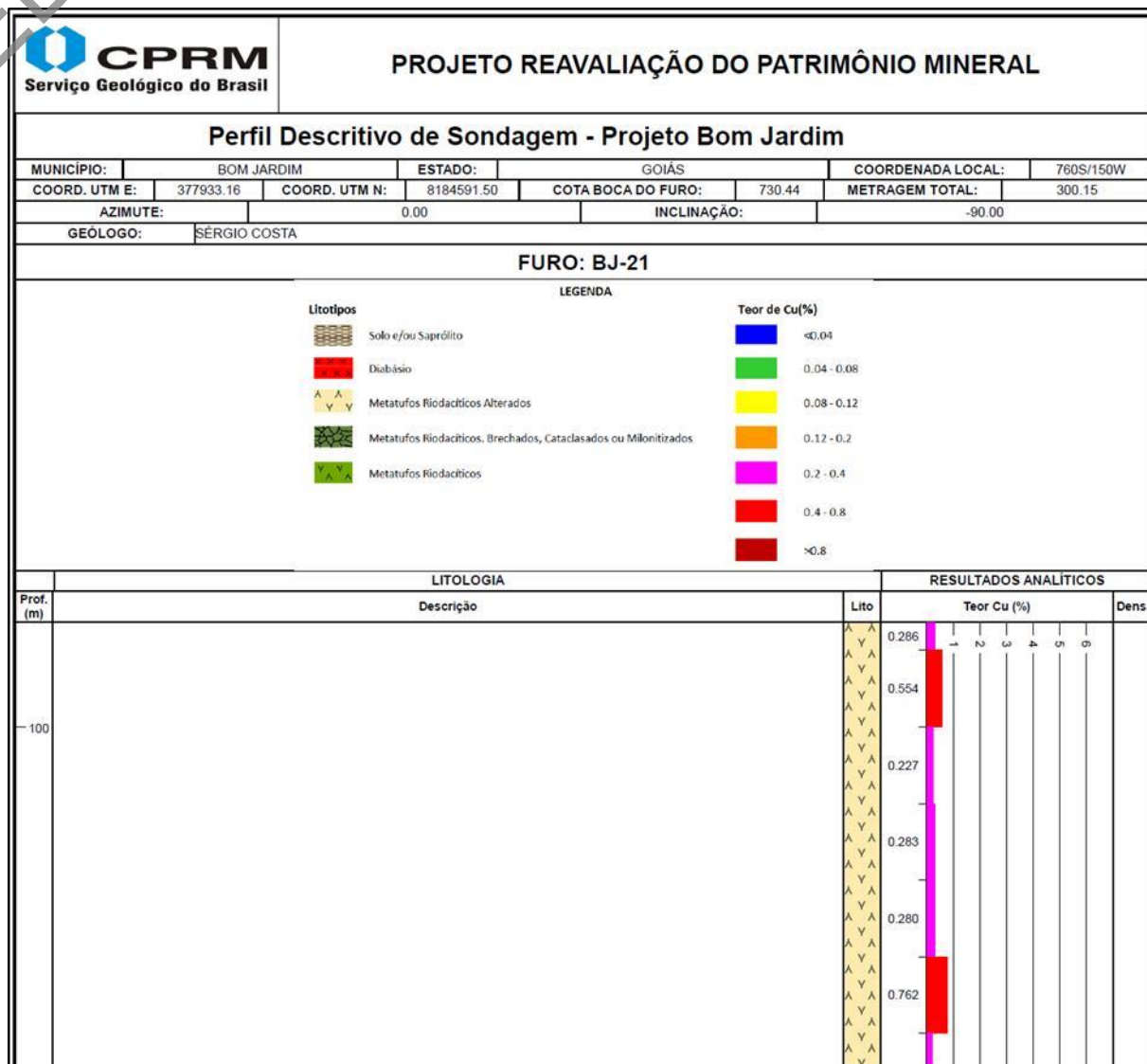


(*) Esse intervalo apresenta-se bastante fragmentado; dessa maneira, os fragmentos deslocam-se pela caixa do testemunho e, portanto, alteram a profundidade marcada na caixa. (**) Nota-se a espuma (destacada em vermelho) preenchendo o local de um intervalo faltante.

9.9 PERFIS DESCRITIVOS DE SONDAGEM

Após recuperação e validação dos dados analógicos, foram gerados logs de sondagem definitivos, que sintetizam todas as informações atualizadas e corrigidas pertinentes aos furos executados e utilizados no modelamento, tais como posicionamento, metragem atingida, data de execução, descrição geológica, teores de Cu e densidade (Figura 34).

Figura 34 – Modelo do log de sondagem criado para o projeto.



10 PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

Esse trabalho foi realizado em três etapas. A primeira constituiu no resgate de informações de antigos relatórios de geofísica terrestre, nos quais constavam levantamentos geofísicos dos métodos de magnetometria, polarização induzida (IP) e VLF (Very Low Frequency). A segunda etapa consistiu na interpretação do levantamento aerogeofísico do estado de Goiás, na região do prospecto, ampliada para toda a Sequência Metavulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás. Já a terceira parte, objeto deste relatório, é a reinterpretação desses dados geofísicos terrestres integrados às interpretações dos dados aerogeofísicos.

A interpretação dos dados aerogeofísicos mais recentes, juntamente com a reavaliação dos dados geológicos, geofísicos e geoquímicos preexistentes, tem auxiliado a CPRM a revisar o potencial metalogenético regional e as características do depósito. Ressalta-se que o levantamento ora apresentado consiste em uma tentativa de se avançar no conhecimento sobre a área.

10.1 RECUPERAÇÃO DE DADOS DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO TERRESTRE NO ALVO 01 (CAPIBARIBE)

As informações a seguir são referentes ao relatório final elaborado por técnicos da Superintendência Regional de Goiânia (SUREG-GO) da CPRM em 1979, referentes à pesquisa para zinco no município de Bom Jardim, posteriormente informada ao DNPM a complementação para pesquisa de cobre.

Inicialmente, destaca-se que os dados geofísicos terrestres do projeto não abrangem a porção sul da área do depósito de Bom Jardim, tendo sido focada, principalmente, sua parte centro-norte. Além disso, não constam, no citado relatório, informações sobre a taxa de amostragem dos métodos. Dessa forma, assumiu-se como sendo a mesma dos dados regionais.

É possível identificar uma correlação entre os dados observados nos mapas e os corpos magnéticos interpretados, embora alguns dipolos não tenham sido interpretados.

A interpretação de eixos mostra-se coerente com os altos valores magnéticos, o que reflete zonas condutoras. Assim, os dados foram ajustados manualmente às interpretações preexistentes, de modo a minimizar o erro espacial.

Observa-se ausência de dados no mapa de IP, no qual os autores não identificaram anomalias (porção centro-sul), o que torna inviável uma reinterpretação, uma vez que esta seria tendenciosa à anterior. Os dados não foram corrigidos com relação à topografia, o que ocasionou um gradiente do potencial medido influenciando na forma das anomalias. Entretanto, há alta correlação com os altos valores de porcentagem de frequência de efeito (PFE) e as zonas de baixa resistividade.

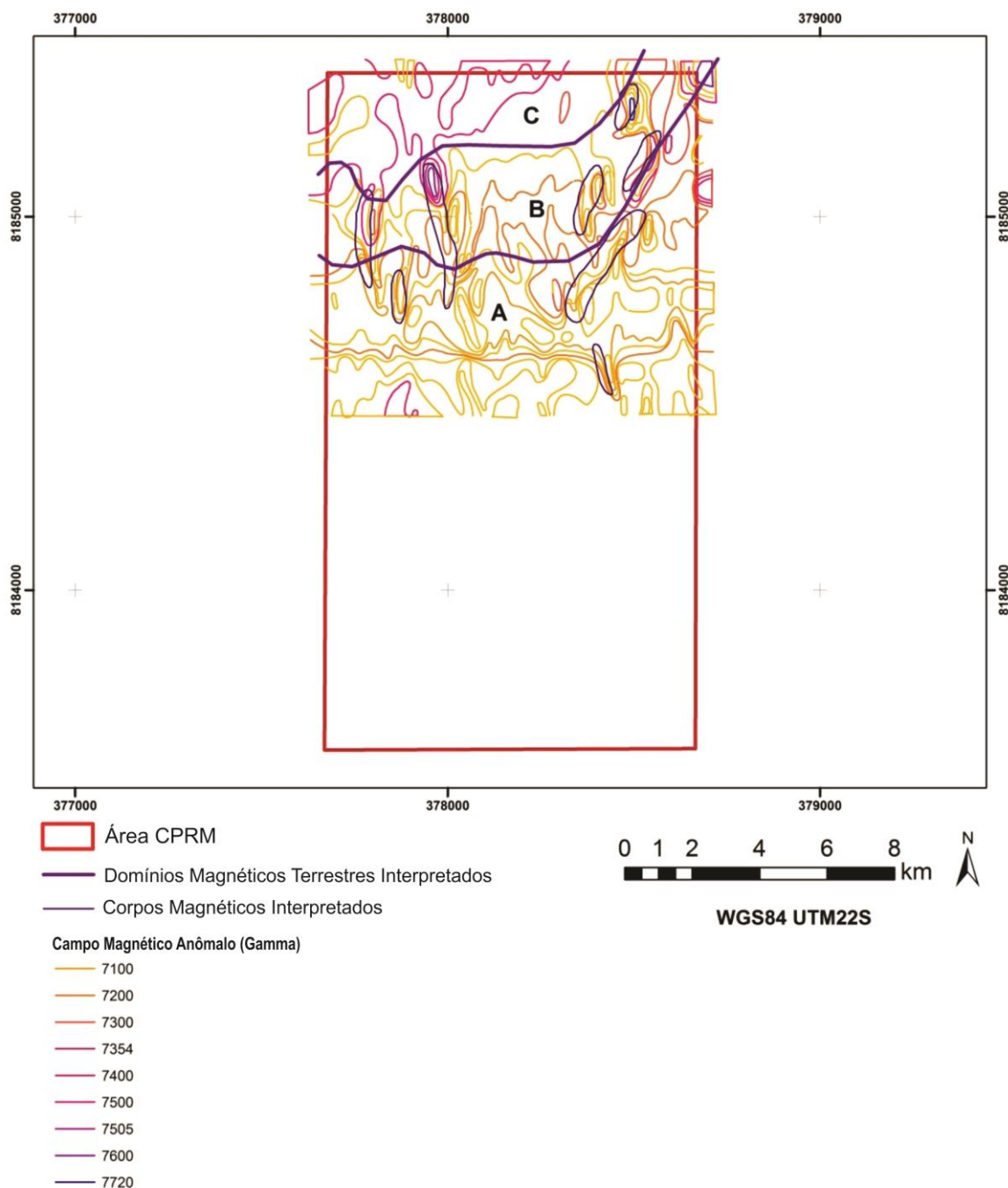
10.1.1 Magnetometria

O levantamento realizado à época pela CPRM constituiu de perfis E-W espaçados de 400 m e leituras a cada 50 m, utilizando-se um magnetômetro a precessão nuclear da Geometrics, modelo G-816. As correções da variação diurna não foram realizadas devido à dificuldade operacional do levantamento referente à topografia muito acidentada, de modo que a estação-base foi utilizada apenas para controle de tempestades magnéticas. Deve-se destacar que, dependendo da amplitude da anomalia, isso pode gerar informações não referentes à geologia local.

A interpretação qualitativa evidenciou três unidades magnéticas (Figura 35):

- Unidade A: Relevos magnéticos bem acentuados, com grande contraste observado pela maior densidade das linhas isogâmicas ($>500 \text{ } \gamma$). A maior suscetibilidade magnética pode representar rochas básicas metamorfizadas.
- Unidade B: Relevo intermediário (200-500 γ). Mapeada como tufos andesíticos ou clorita-actinolita-xistos.
- Unidade C: Rochas com fraca ou nenhuma intensidade magnética ($<200 \text{ } \gamma$). Corresponde a rochas graníticas, quartzíticas e riódacíticas.

Figura 35 – Mapa digitalizado dos dados magnetométricos terrestres.

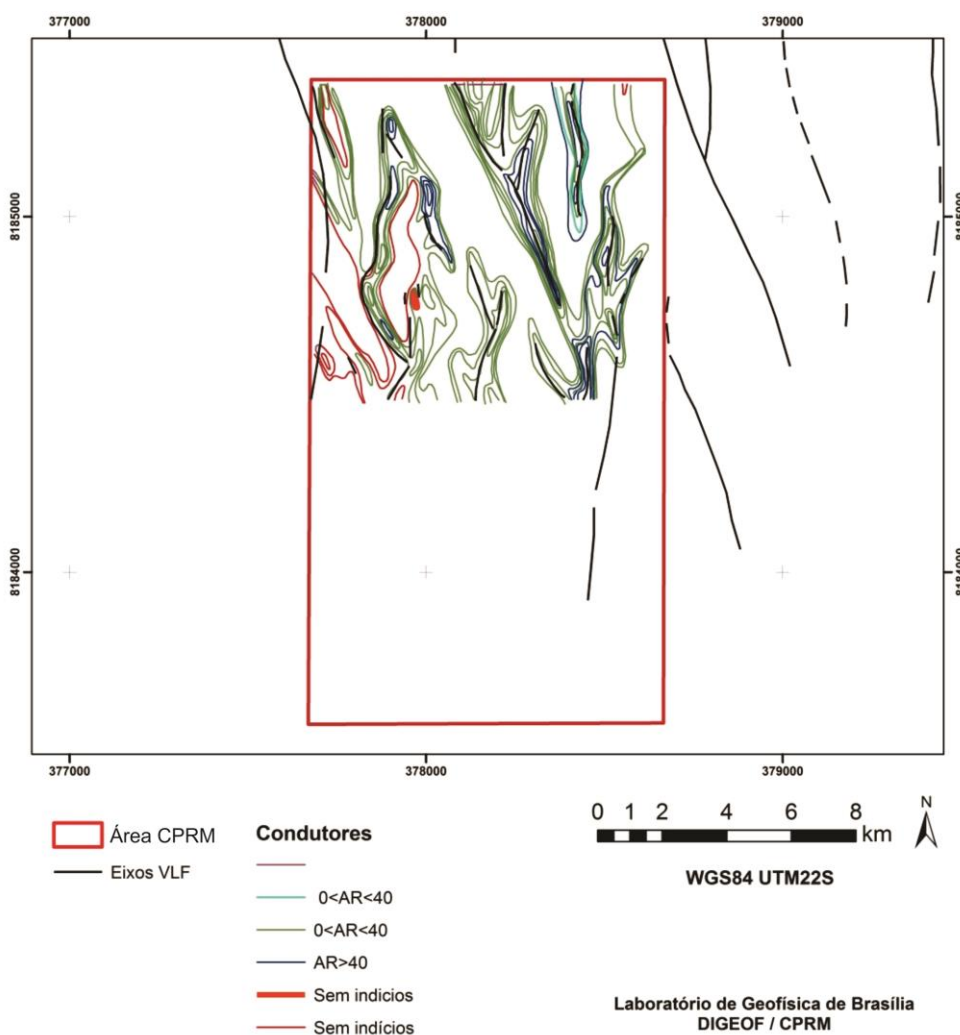


10.1.2 VLF

Utilizou-se o aparelho Geonics, modelo EM-6, e, como fonte, a estação transmissora de Cutler no Maine, nos Estados Unidos da América (EUA), de prefixo NAA, transmitindo na frequência de 17.800 Hz.

Os dados de VLF apresentam a mesma configuração espacial dos dados de magnetometria. Não há indícios de correções topográficas. Desse modo, a forma das anomalias pode estar distorcida. Ainda assim, a utilização de filtros ajudou a minimizar esses efeitos topográficos e evidenciou a localização dos principais eixos de condutividade. Verificou-se que a principal anomalia situa-se na parte meio-leste, onde apresenta alinhamento quase retilíneo NNW, sugerindo que a distribuição do corpo sulfetado ocorra ao longo de falha nessa direção, sendo que, aproximadamente no meio desse alinhamento, há tendência de ramificação para NE (Figura 36).

Figura 36 – Imagem dos dados VLF digitalizados.

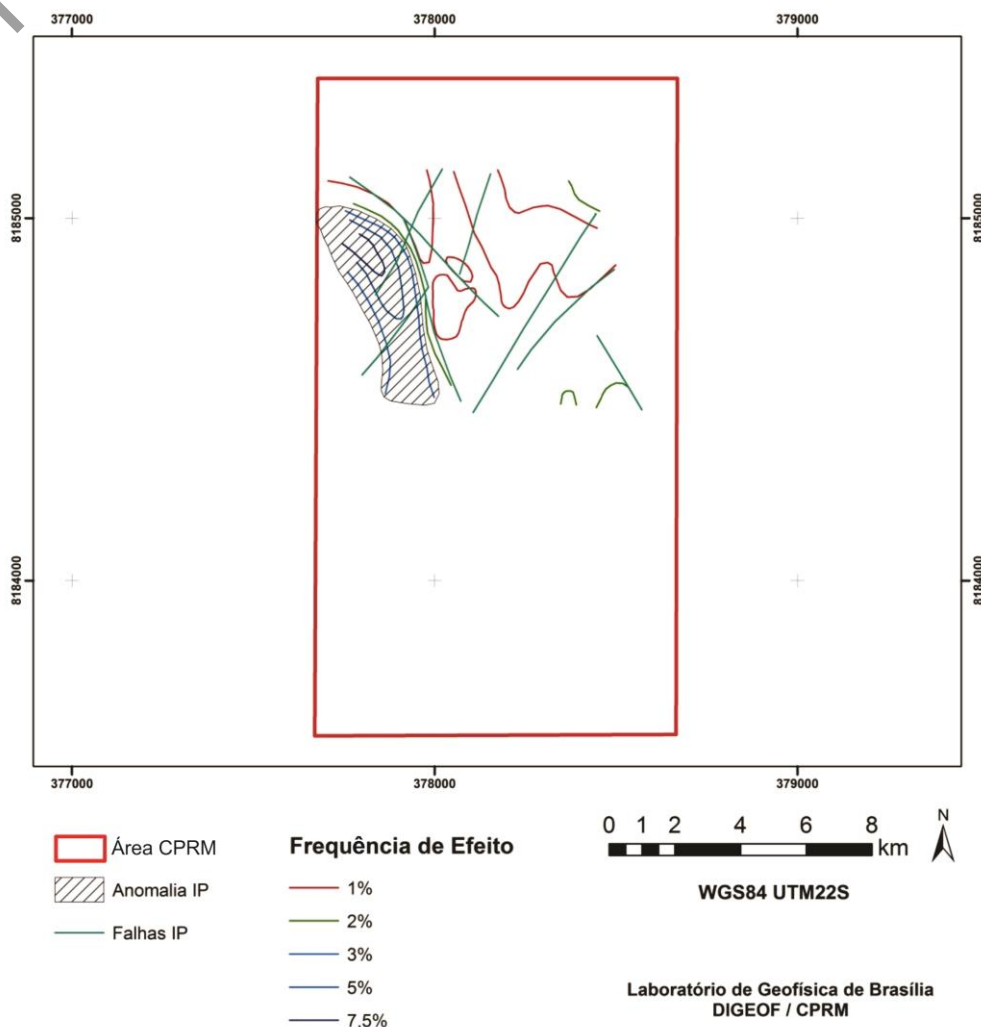


10.1.3 Polarização induzida

Os trabalhos foram executados com equipamentos McPhar modelo P-660, que operam no domínio de frequência de 0,3 e 2,5 Hz.

O perfil de polarização induzida considerado padrão nessa análise, alinhado na direção S70W (Figura 37), foi efetuado na direção da projeção horizontal em superfície do furo BJ-11-GO, para obtenção de parâmetros que permitissem melhor avaliação das anomalias.

Figura 37 – Imagem dos dados de polarização induzida digitalizados.



10.2 INTERPRETAÇÃO DE DADOS AEROGEOFÍSICOS

O Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás, executado entre 2004 e 2006, é considerado de alta densidade por suas configurações de aquisição, com amostragem de 1s para os dados gamaespectrométricos e 0,1s para a magnetometria, a uma altura de voo de 100 m, coletados em linhas de produção NS, com espaçamento de 500 m e amarrados a linhas de controle com espaçamento de 5 km.

Porém, justamente nas regiões oeste e sudoeste do estado de Goiás, onde está localizada a área do Projeto Bom Jardim, os dados ficaram ruidosos. Buscando minimizar esses ruídos, os dados brutos foram regridados, utilizando-se o algoritmo de krigagem e filtro Hanning 3x3, para tentar minimizar as interferências NS das linhas de voo. As interpretações geofísicas de magnetometria e gamaespectrometria (principalmente o traçado dos lineamentos magnetométricos observados nos produtos de alta frequência derivados do campo magnético anômalo) exigiram cuidado maior, devido à influência das interferências na direção das linhas de voo. Essas feições também geraram falsos corpos na direção NS.

Para tratamento, análise e interpretação dos dados, foram aplicadas técnicas tradicionais, tais como análise qualitativa de imagens individualmente processadas, razões entre os radioelementos, combinações binárias e ternárias, dentre outras.

Os limites da sequência metavulcanossedimentar foram definidos, principalmente, pelas imagens radiométricas e restringem as áreas com rochas com prováveis ocorrências de corpos mineralizados.

10.2.1 Aerogamaespectrometria

10.2.1.1 Produtos gamaespectrométricos

Para interpretação dos dados de gamaespectrometria, procedeu-se, na primeira etapa, à análise das imagens de cada radioelemento (K, Th e U) e da contagem total (CT), separadamente.

Observa-se que os teores mais elevados de potássio (K) (Figura 38) estão distribuídos, principalmente, no centro e nas bordas sul, sudoeste e oeste da área. A comparação com a imagem do modelo digital de terreno (MDT) (Figura 39) mostra correlação entre as altas concentrações de K na borda sul da área e a topografia mais elevada nessa mesma região.

O potássio costuma se concentrar nas encostas e nos platôs. Seus teores são relativamente altos em rochas félsicas e praticamente ausentes em rochas máficas. Tal comportamento caracteriza esse radioelemento como bom mapeador de litologias, porém, em função de sua solubilidade, em áreas com forte intemperismo as respostas são nulas ou de baixa intensidade, geradas por processo de lixiviação desse elemento. Essa situação é observada na porção norte da área, onde as imagens apresentam valores moderados de K em regiões com drenagem, caracterizando o processo de lixiviação sofrido pelo potássio. Também ocorrem regiões em que a topografia é mais elevada e a concentração de K é baixa, como na borda sudoeste da área. Nesse caso, o potássio foi parcial ou completamente lixiviado para as regiões mais baixas.

A imagem do canal do Th (Figura 40) é caracterizada por baixas concentrações desse elemento em praticamente toda a área. Os valores mais altos ocorrem nas bordas sul e norte e valores medianos nas extremidades sudoeste e oeste. A sobreposição dessa imagem à do MDT (Figura 39) mostra boa correlação entre os valores anômalos de tório e a topografia mais elevada na borda sul da área. Essa sobreposição também apresenta a relação entre as regiões de relevo mais arrasado e aquelas com concentrações mais baixas de tório. Essa correspondência entre a topografia e a distribuição do tório pode ser justificada, pois este é o mais estável dos três radioelementos, tem baixa mobilidade geoquímica e, portanto, tende a permanecer fixo mesmo em condições de intemperismo, que define a sequência metavulcanossedimentar.

Figura 38 – Imagem do canal de potássio (K).

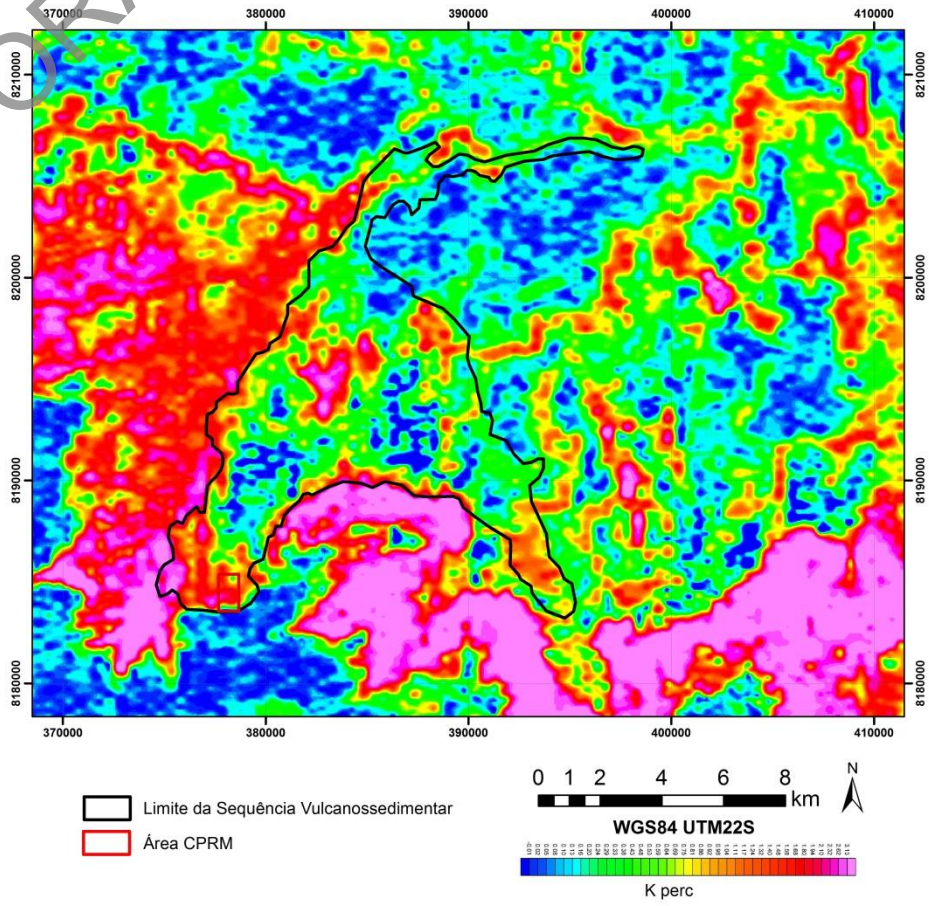


Figura 39 – Imagem do modelo digital de terreno (MDT).

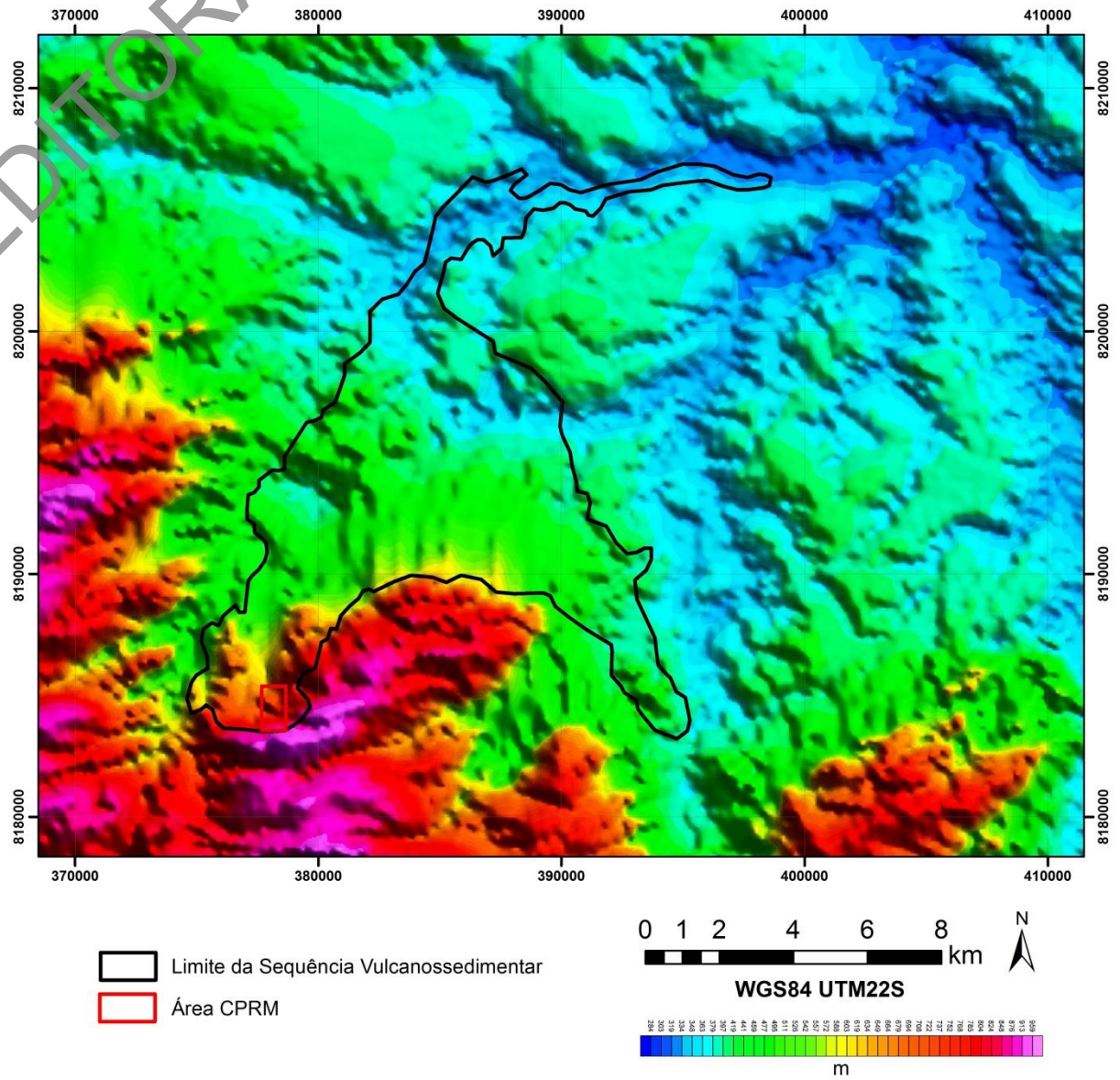
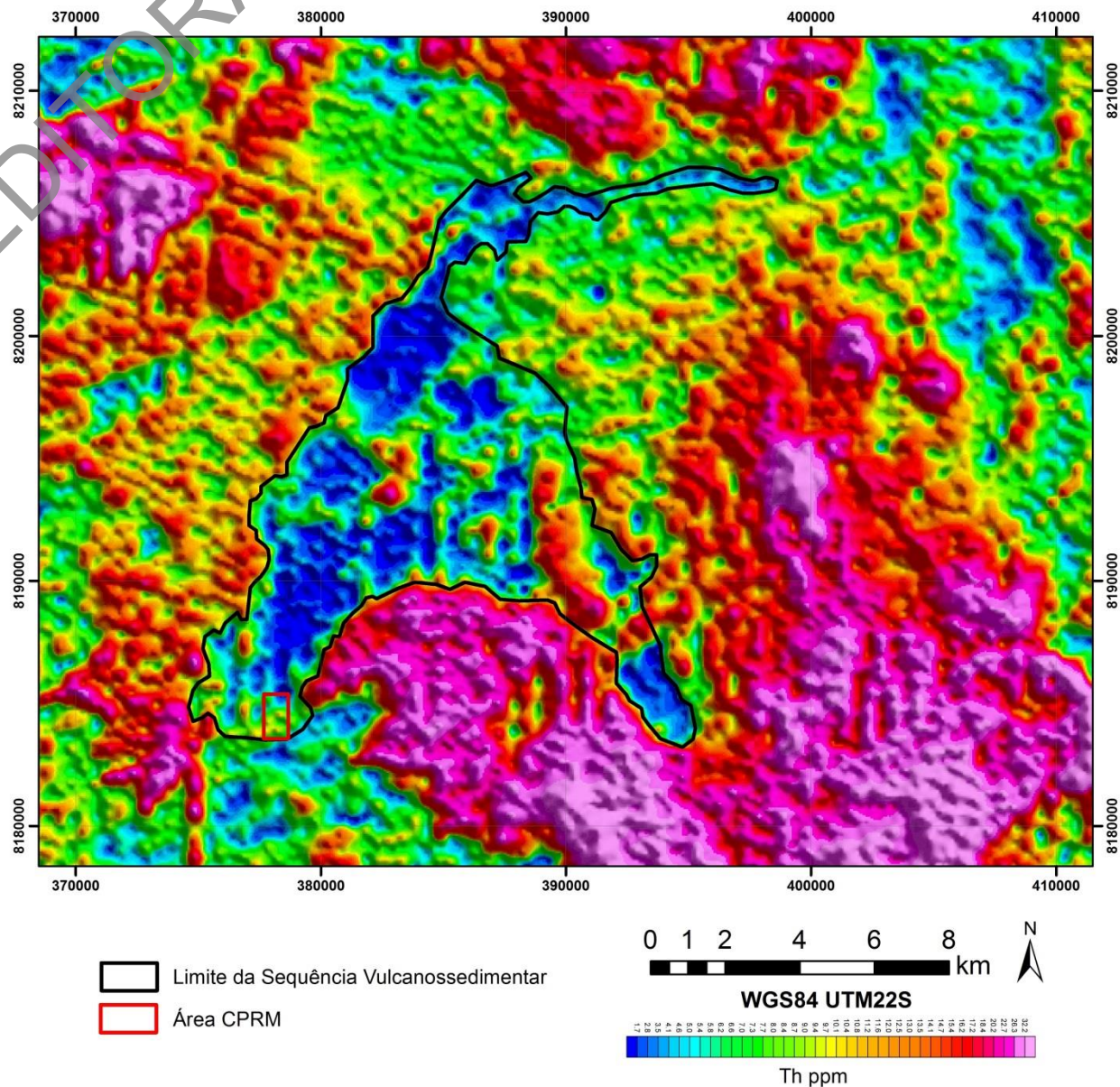
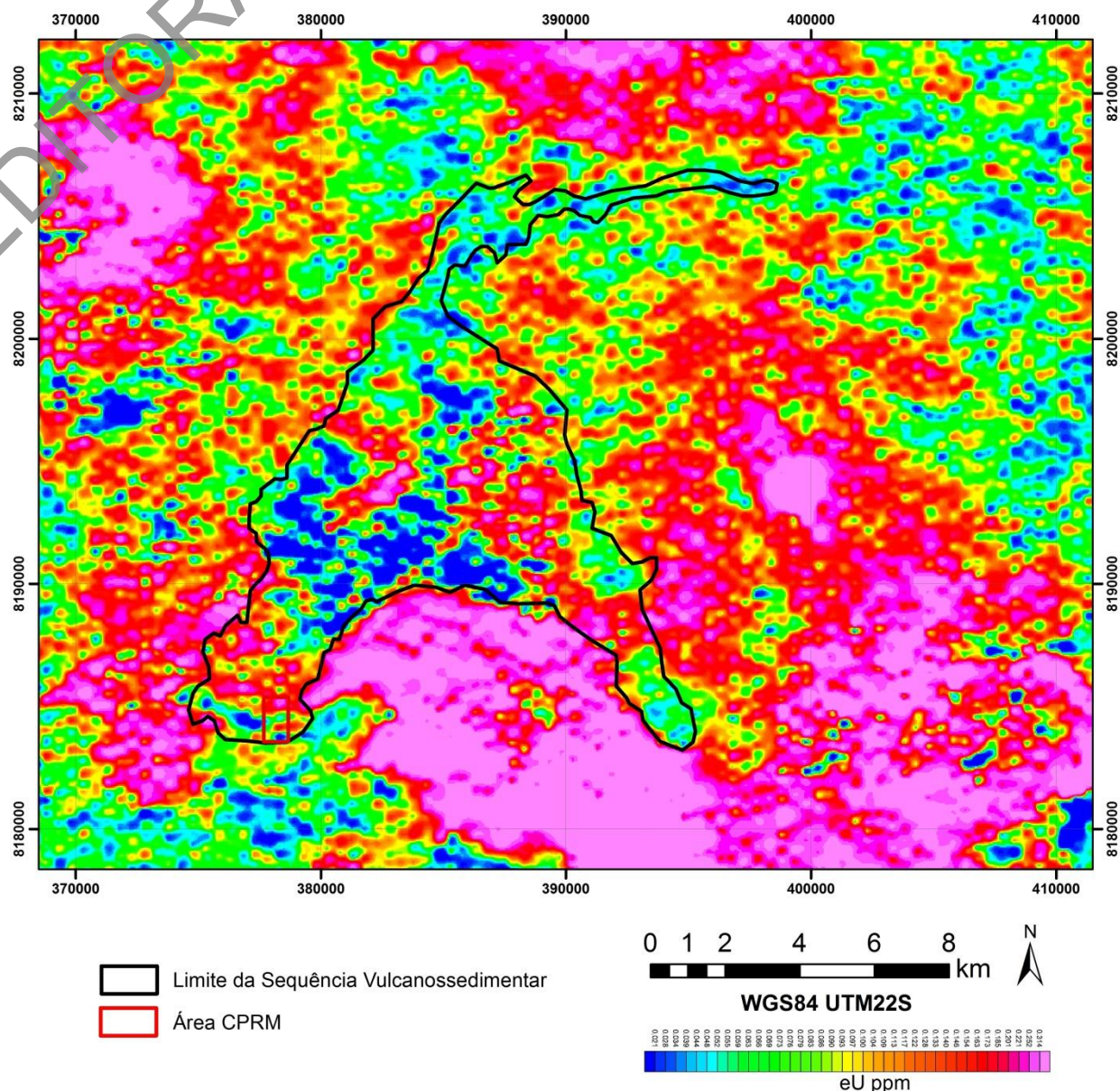


Figura 40 – Imagem do canal de tório (Th).



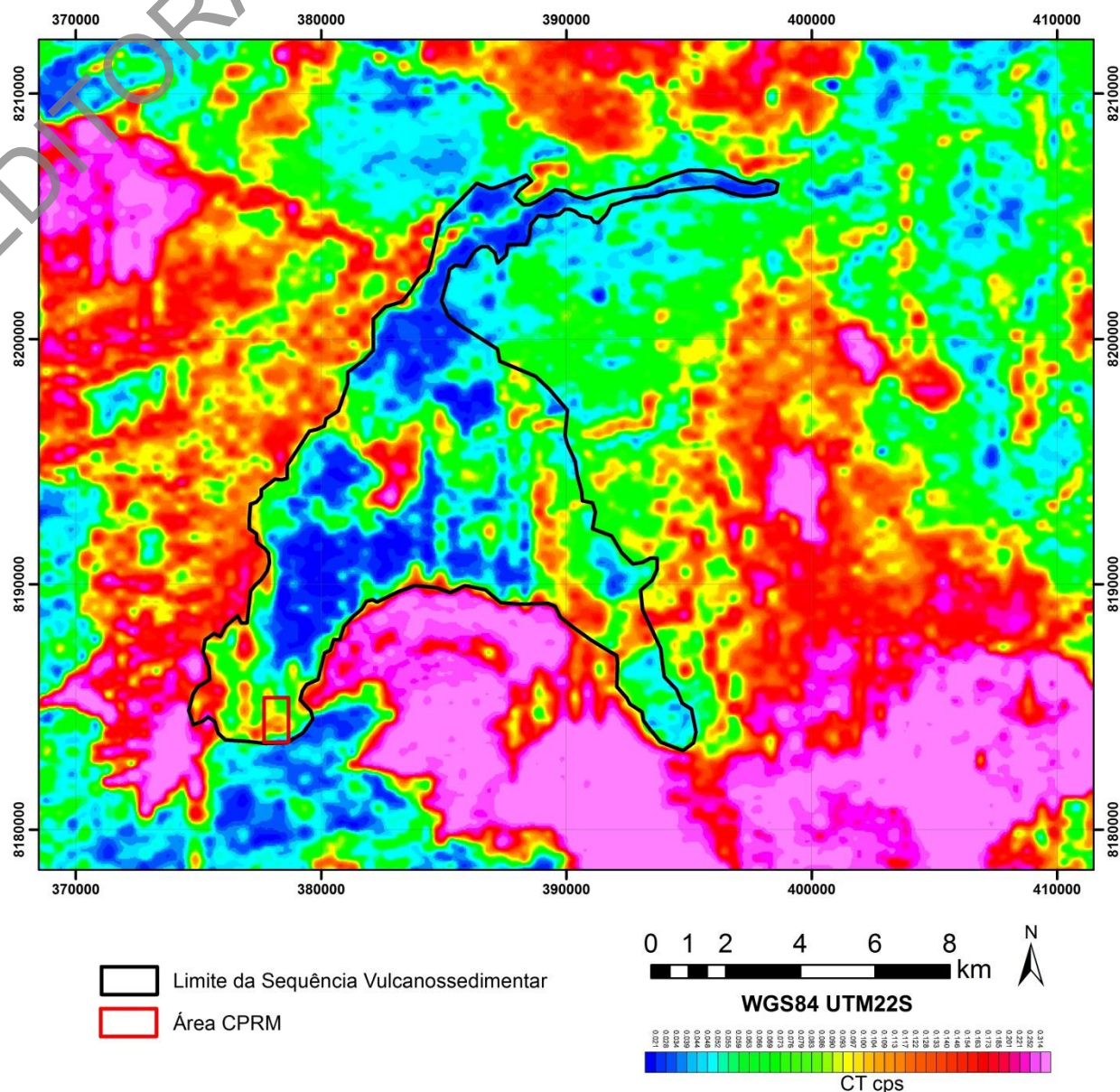
Em regiões equatoriais, o clima quente e úmido, a circulação de águas, assim como outros fatores criam condições favoráveis à lixiviação desse radioelemento das rochas. Apesar de a imagem do canal de urânio (Figura 41) em sobreposição à do MDT (Figura 39) mostrar boa correlação entre regiões de relevo mais acentuado e altas concentrações de urânio (como é o exemplo da borda sul), em outras partes da área tal situação não é observada, caracterizando a alta mobilidade desse elemento.

Figura 41 – Imagem do canal de urânio (U).



A imagem do canal de contagem total (CT) (Figura 42) é de extrema importância para delimitação dos domínios gamaespectrométricos. Essa imagem corresponde às contribuições simultâneas relativas aos canais de K, Th e U. As regiões que apresentam respostas de alta radioatividade na imagem do canal CT normalmente são aquelas onde também são observados valores anômalos de K, Th e U, como, por exemplo, as extremidades sul e sudoeste da área. Essa imagem propicia a extração de lineamentos gamaespectrométricos que, muitas vezes, não são identificados nos canais separados de K, Th e U.

Figura 42 – Imagem do canal de contagem total (CT).



As imagens de composição ternária RGB (Figura 43) e CMY (Figura 44) foram geradas e correspondem a produtos de grande relevância para a interpretação gamaespectrométrica. Em ambas as composições, para cada canal gamaespectrométrico é atribuída uma cor primária. Na imagem produzida, cada pixel reproduz uma tonalidade de cor que reflete os valores relativos de intensidade da radiação gama.

Na imagem da composição ternária RGB (Figura 43), as cores mais esbranquiçadas correspondem às intensidades mais altas dos três radioelementos simultaneamente. Da mesma forma, as regiões caracterizadas pelas cores mais escuras refletem intensidades mais baixas de K, Th e U. O contrário ocorre na imagem ternária CMY (Figura 44), onde as áreas mais claras estão relacionadas às baixas concentrações de K, Th e U e as porções mais escuras são atribuídas à resposta das altas concentrações desses elementos.

Figura 43 – Imagem da composição ternária RGB.

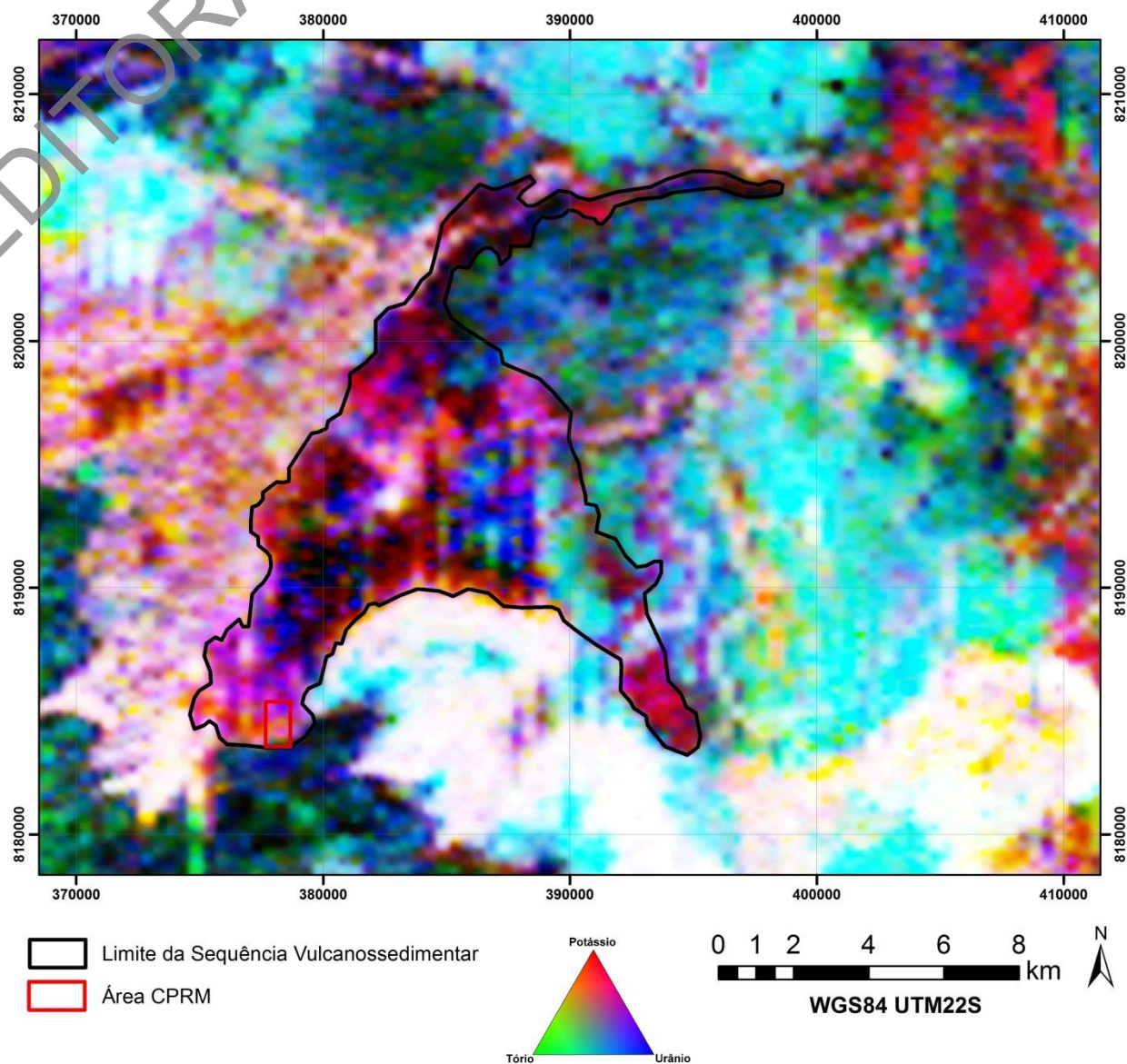
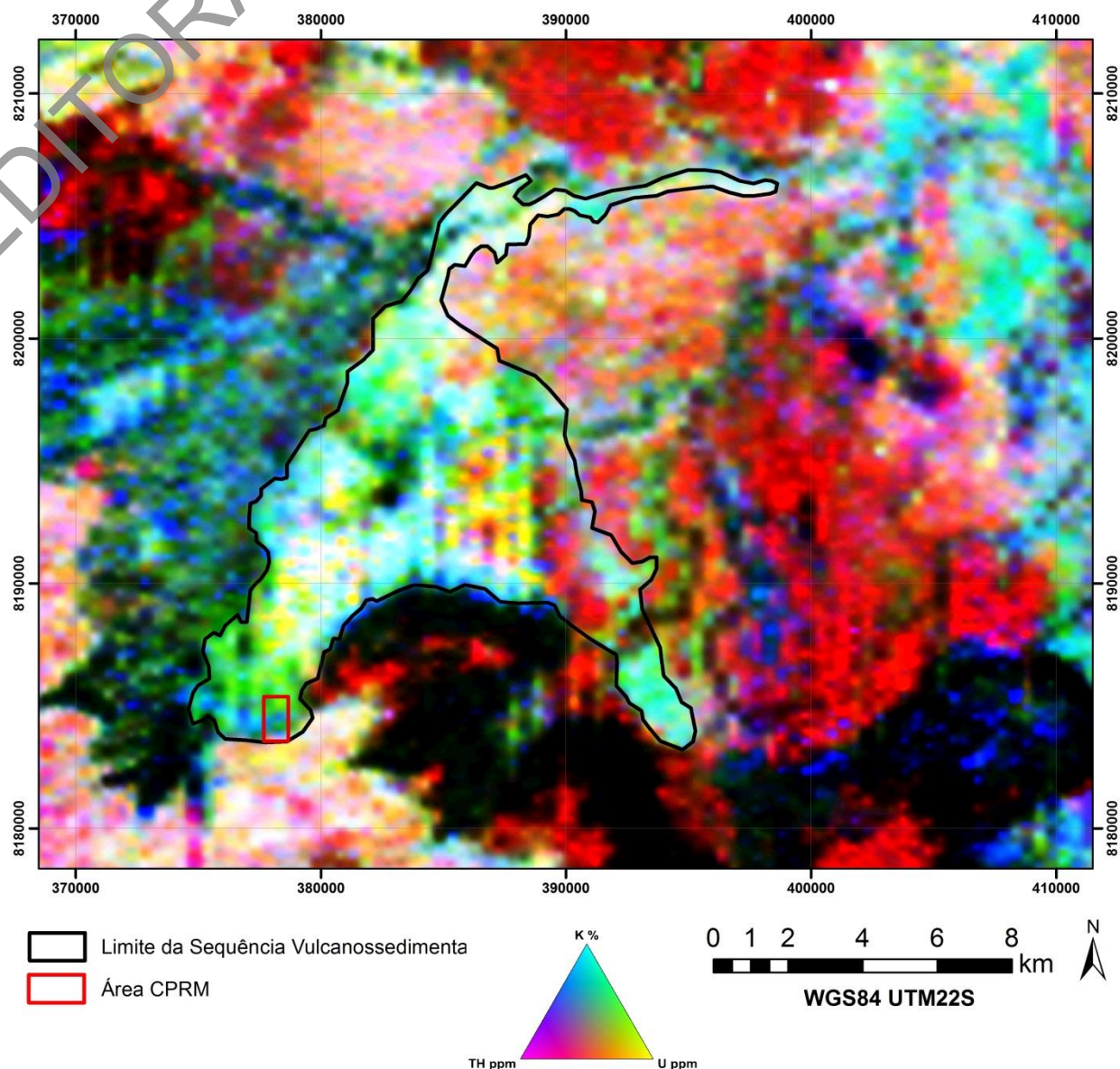


Figura 44 – Imagem da composição ternária CMY.

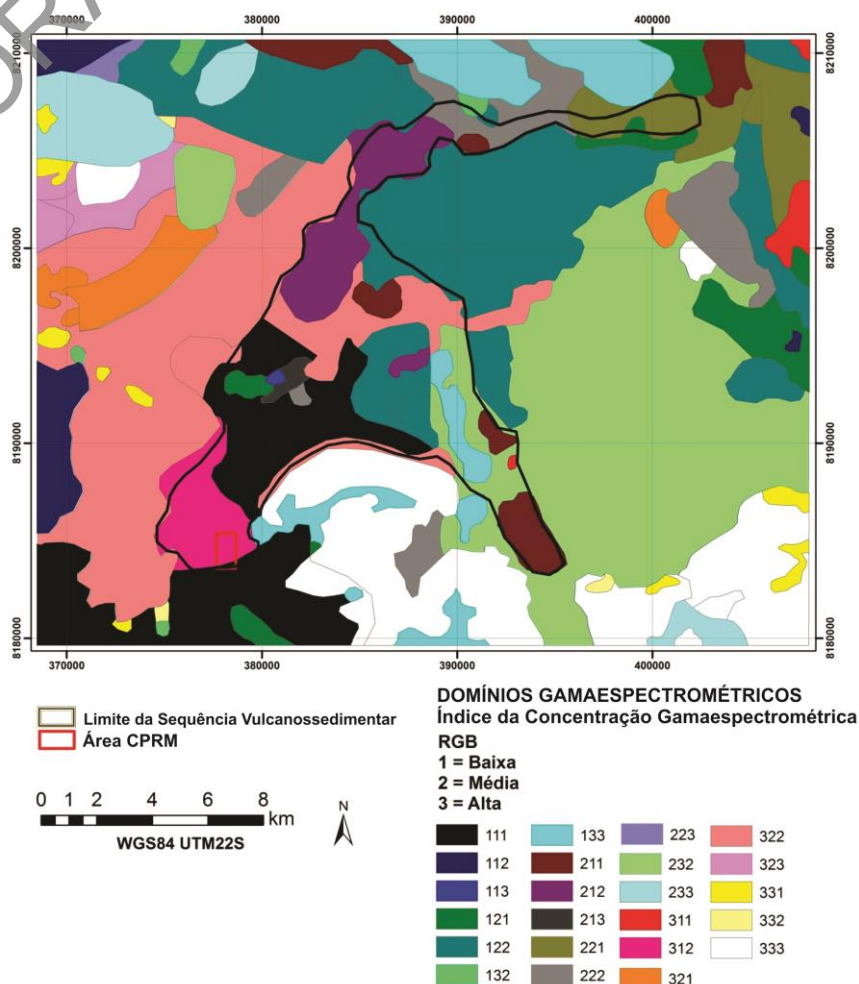


A combinação de K, Th e U em uma imagem realça as distinções nas variações internas das grandes unidades gamaespectrométricas apresentadas pela imagem de contagem total, em função das variações nas concentrações relativas dos três radioelementos.

Os dados gamaespectrométricos apresentam informações muito próximas daquilo que pode ser observado em superfície. A análise das imagens descritas anteriormente permitiu a interpretação da área de estudo, resultando na geração de mapas de domínios e lineamentos gamaespectrométricos.

10.2.1.2 Domínios gamaespectrométricos

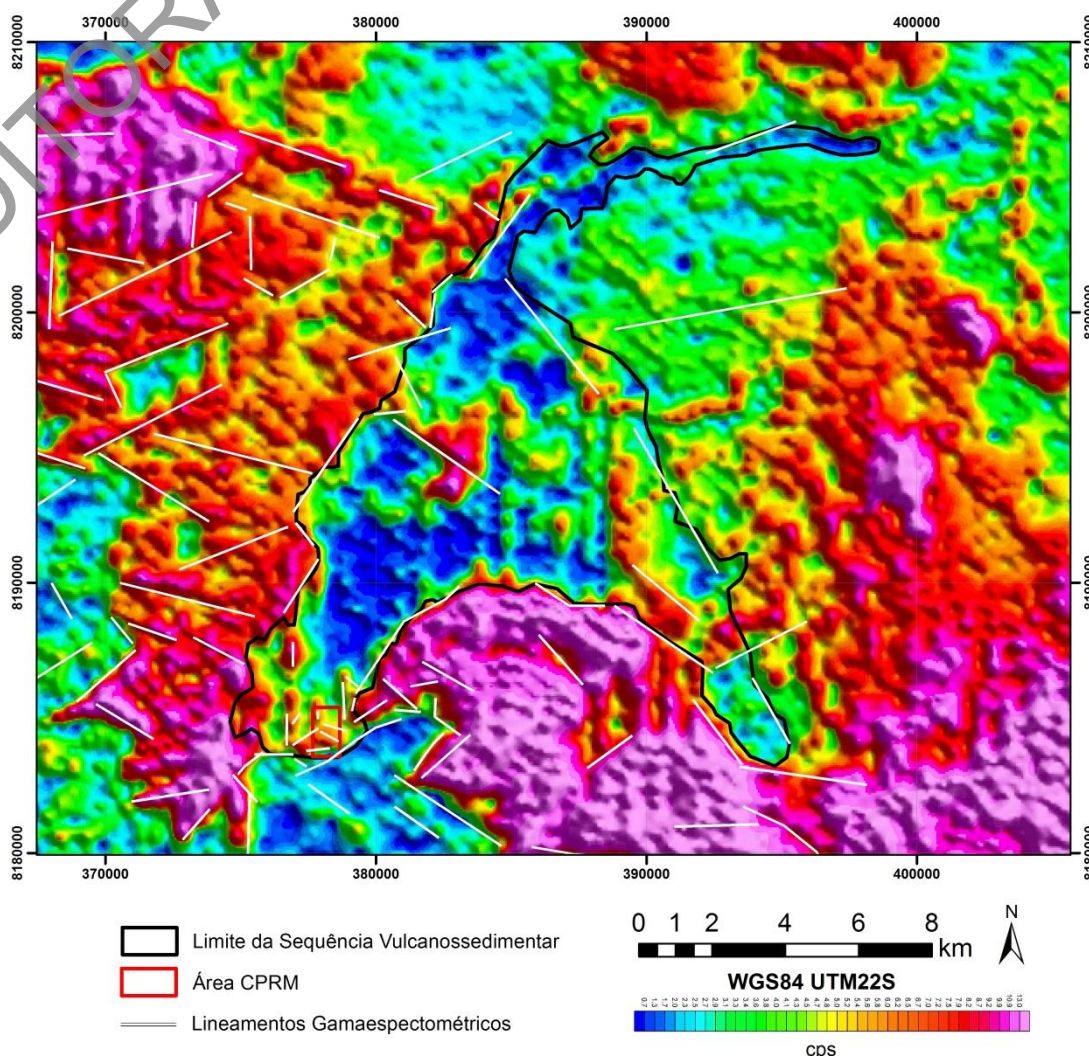
Foram delimitados 23 domínios gamaespectrométricos (Figura 45).

Figura 45 – Interpretação de domínios gamaespectrométricos.

10.2.1.3 Lineamentos gamaespectrométricos

Com base nas imagens descritas anteriormente, foi possível traçar os lineamentos gamaespectrométricos (Figura 46). Algumas dessas feições representam limites entre os domínios gamaespectrométricos e podem estar associadas a contatos entre unidades geológicas. Grande parte dos lineamentos é retilínea, porém, uma minoria não retilínea também foi delineada.

O principal conjunto de lineamentos gamaespectrométricos possui direção NW-SE. Essa tendência é observada, principalmente, na porção central da área. Um segundo conjunto é representado por lineamentos com direção NE-SW e ocorre, predominantemente, na região nordeste e, em menor proporção, na parte central da área.

Figura 46 – Interpretação dos lineamentos gamaespectrométricos.

10.2.2 Aeromagnetometria

10.2.2.1 Produtos magnetométricos

Foram gerados diversos produtos. A imagem do campo magnético anômalo (CMA) (Figura 47) apresenta relevo magnetométrico contrastante, com assinaturas que variam de cerca de -221 a 224 nT. As anomalias magnéticas foram submetidas à deconvolução de Euler 3D para estimar a profundidade das fontes magnéticas. A média das profundidades para respostas relacionadas a contatos geológicos se situou em 300-400 m.

Na porção sul da área, observam-se duas anomalias bipolares maiores e uma sequência de anomalias bipolares menores entre estas. A maior anomalia (A) (Figura 48) apresenta polaridade magnética normal e aproximadamente 20 km de comprimento. As imagens da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) (Figura 51) e da Amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT) (Figura 52) mostram que essa anomalia pode estar associada a um grande corpo magnético ou a um conjunto de corpos menores aglutinados com formato levemente arqueado, alongado na direção E-W. A outra anomalia (B) (Figura 48) está localizada mais a sul e também apresenta polaridade normal. Por meio da análise das imagens de ASA, AGHT e Derivada Vertical (DZ) (Figura 50), observa-se que sua assinatura magnética tem cerca de 2 km de comprimento na direção NW-SE e, provavelmente, está relacionada a um corpo cujo

topo está localizado a uma profundidade maior que a do corpo (ou da sequência de corpos) referente à anomalia A. Outras anomalias magnéticas, associadas a uma sequência de corpos menores localizados entre as anomalias A e B, também estão alinhadas na direção NW-SE. As características das assinaturas dessas anomalias nas imagens ASA, AGHT e DZ corroboram a interpretação de que os corpos relativos a elas possuem topo em profundidades mais rasas do que aquele associado à anomalia B.

A porção norte da área de estudo (Figuras 47 a 52) é representada por relevo magnético menos movimentado; entretanto, é caracterizada por lineamentos magnetométricos com extensões variáveis e direção principal NE-SW.

Lineamentos magnetométricos ocorrem por toda a área e têm direção preferencial NE-SW. Variam de 0,5 a 8 km de extensão, aproximadamente. Lineamentos com direção NW-SE também estão presentes e aparecem, principalmente, nas porções central e sul.

Figura 47 – Imagem do campo magnético anômalo (CMA).

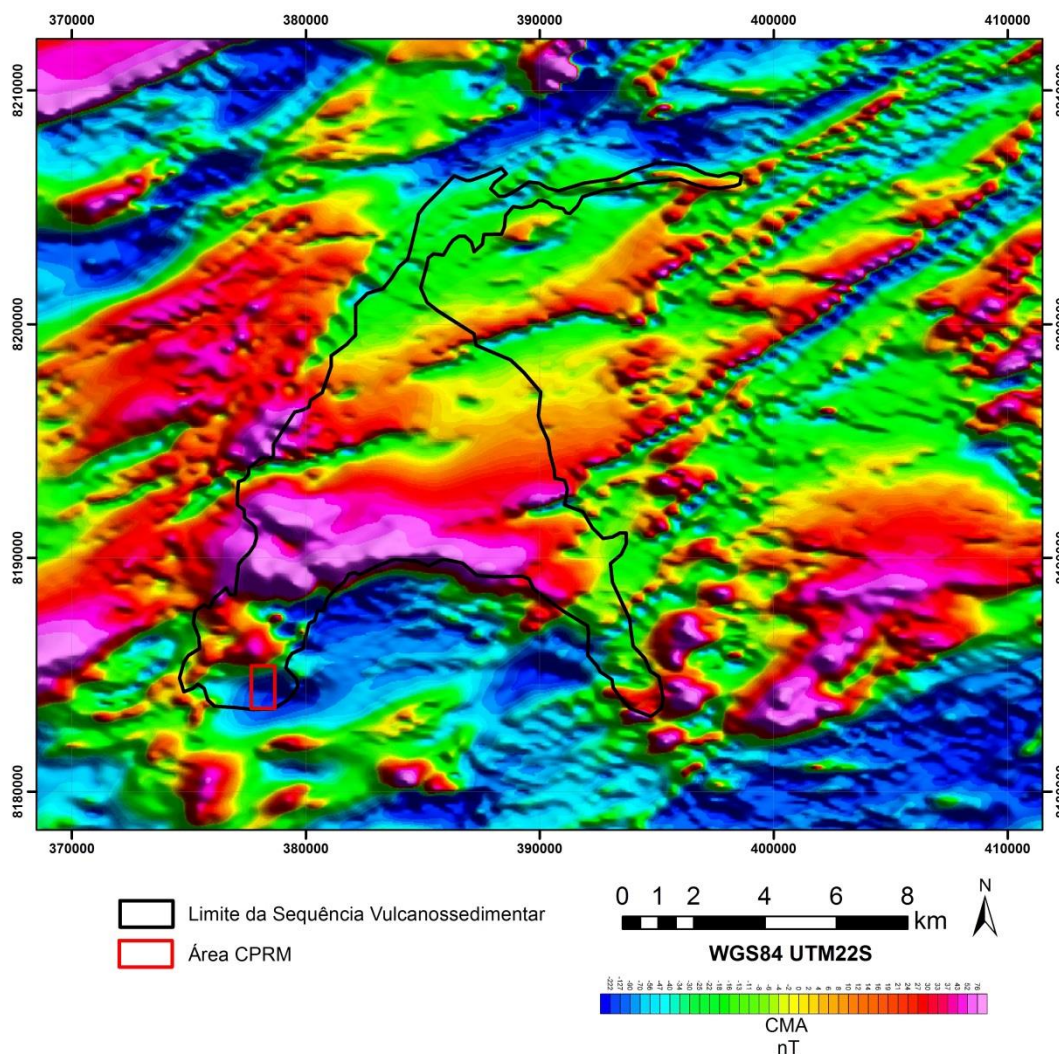
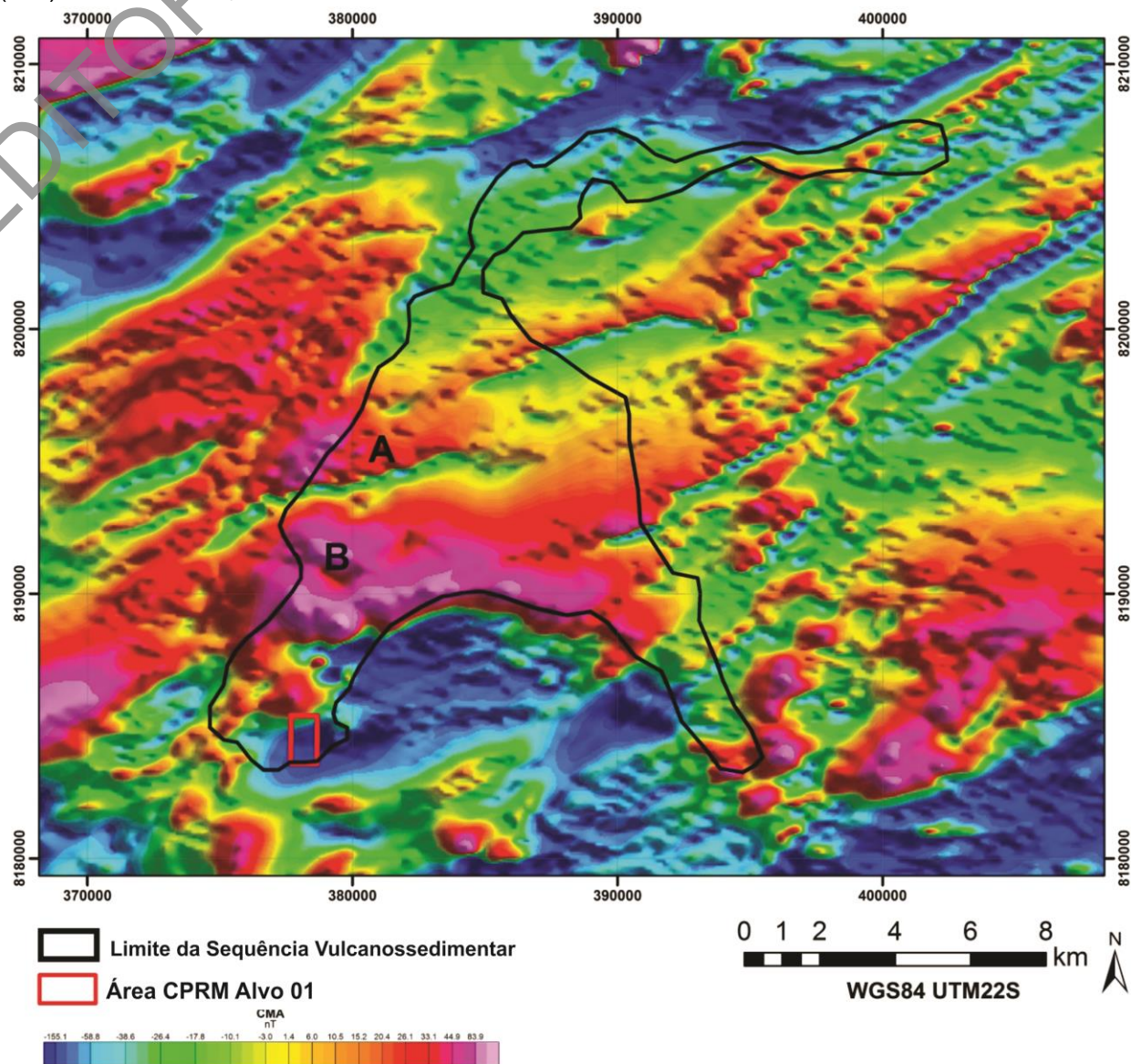


Figura 48 – Imagem do campo magnético anômalo (CMA) com as principais anomalias (A/B).



Os lineamentos magnetométricos apresentados na imagem de CMA são destacados em produtos derivados como: Inclinação do Sinal Analítico (ISA) (Figura 49), Primeira Derivada Vertical do CMA (Dz1) (Figura 50), Amplitude do Sinal Analítico (ASA) (Figura 51) e Amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT) (Figura 52).

Figura 49 – Imagem da inclinação do sinal analítico (ISA).

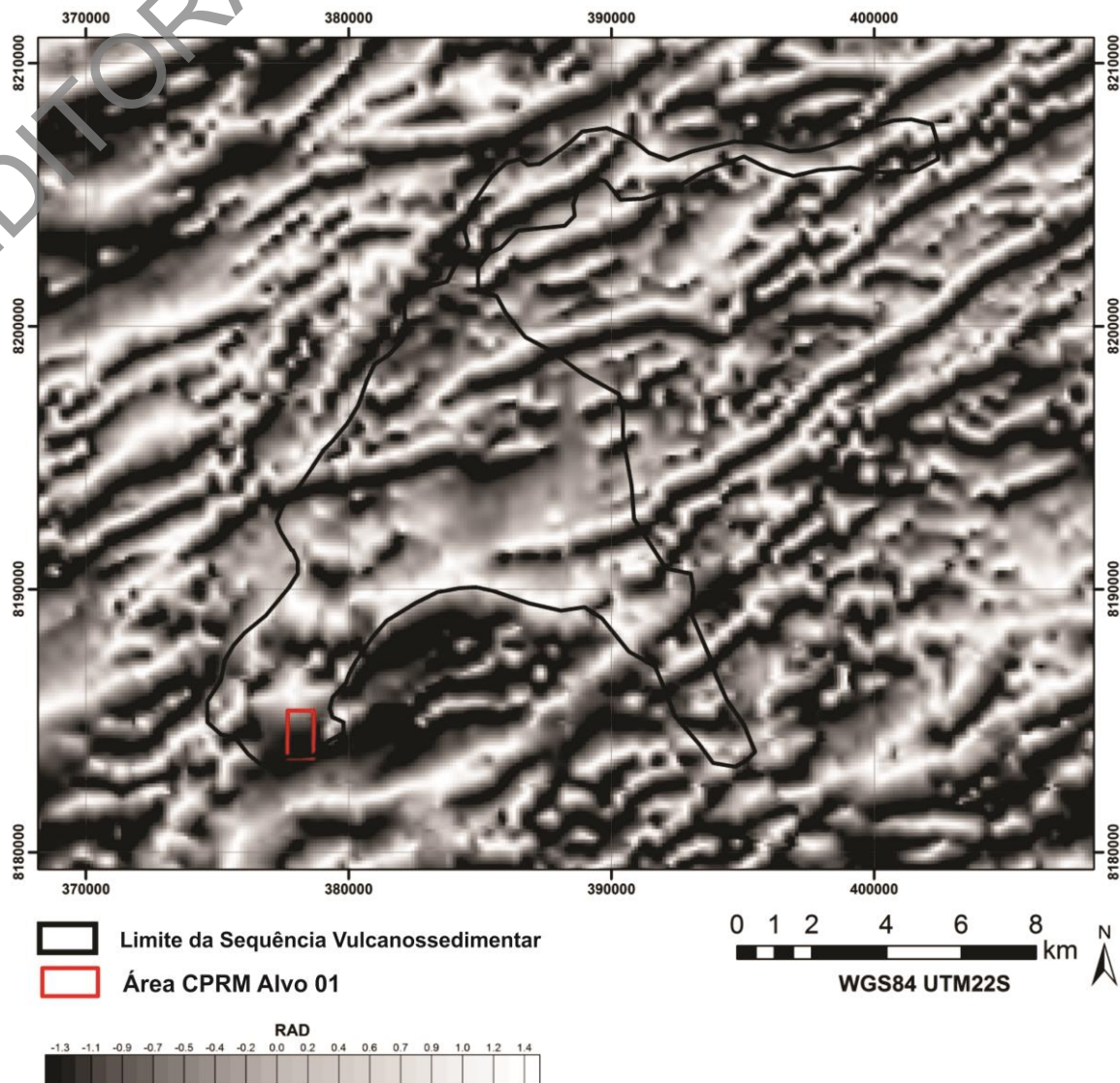


Figura 50 – Imagem da primeira derivada vertical do CMA (DZ1-CMA).

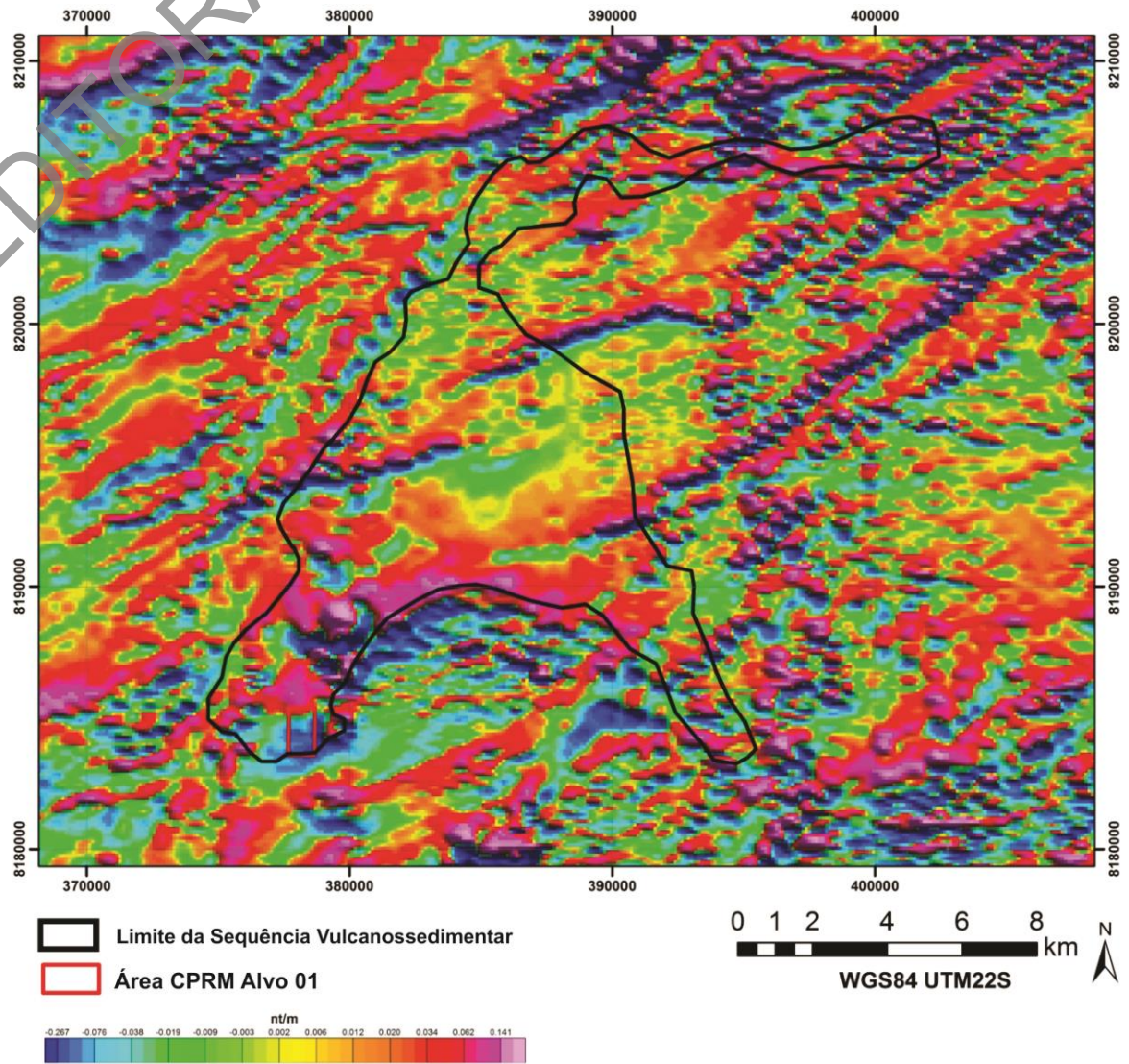


Figura 51 – Imagem da amplitude do sinal analítico (ASA).

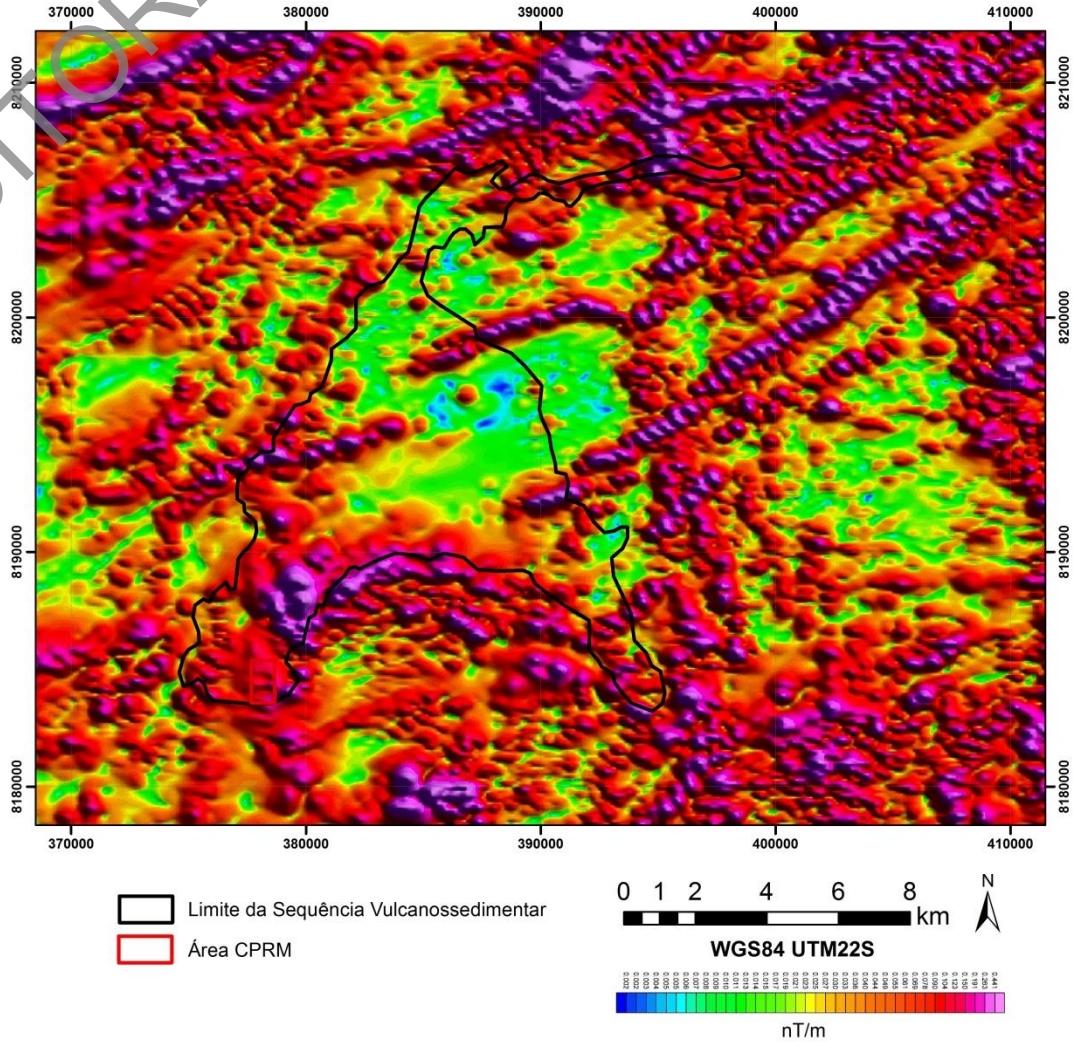
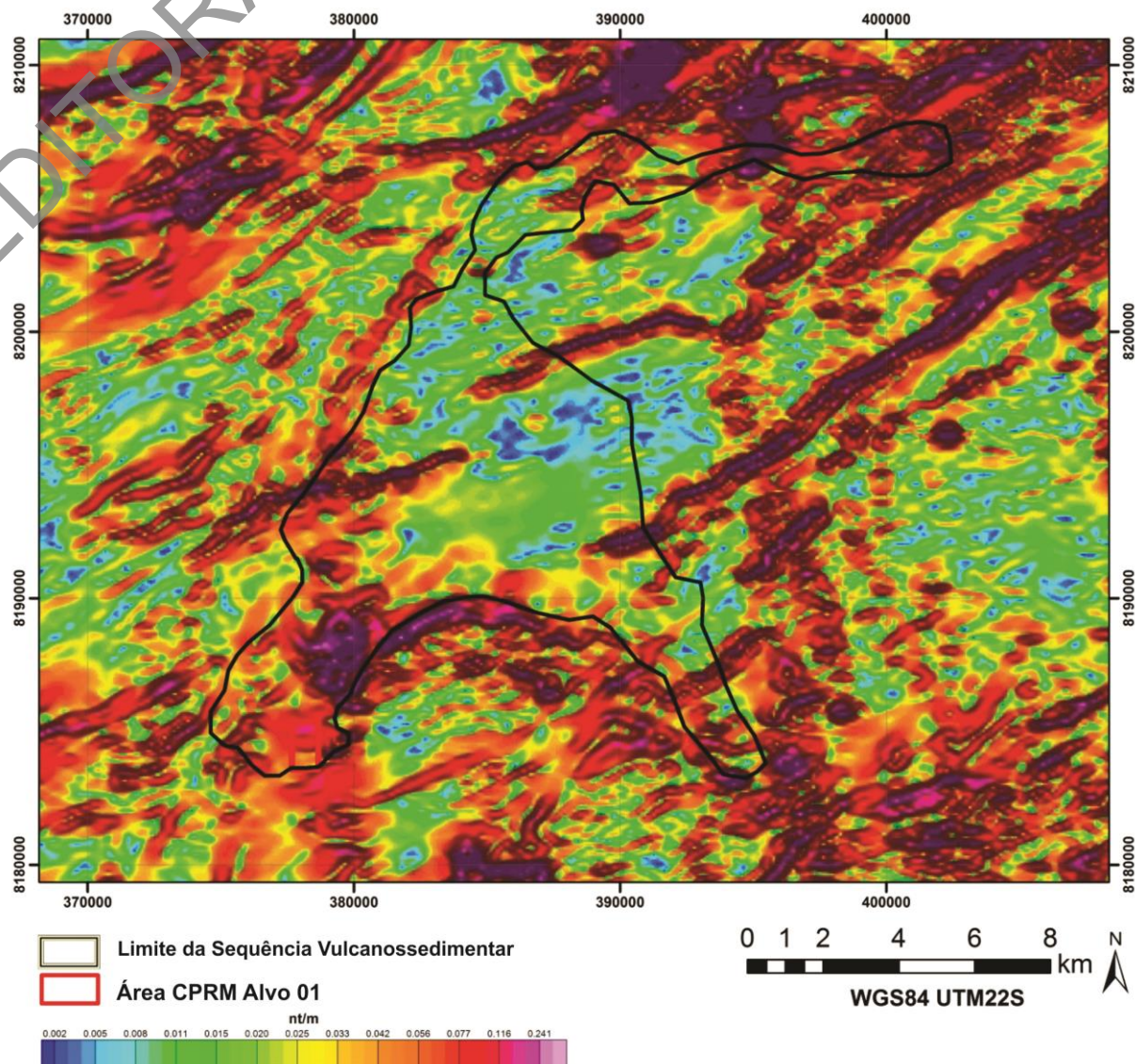
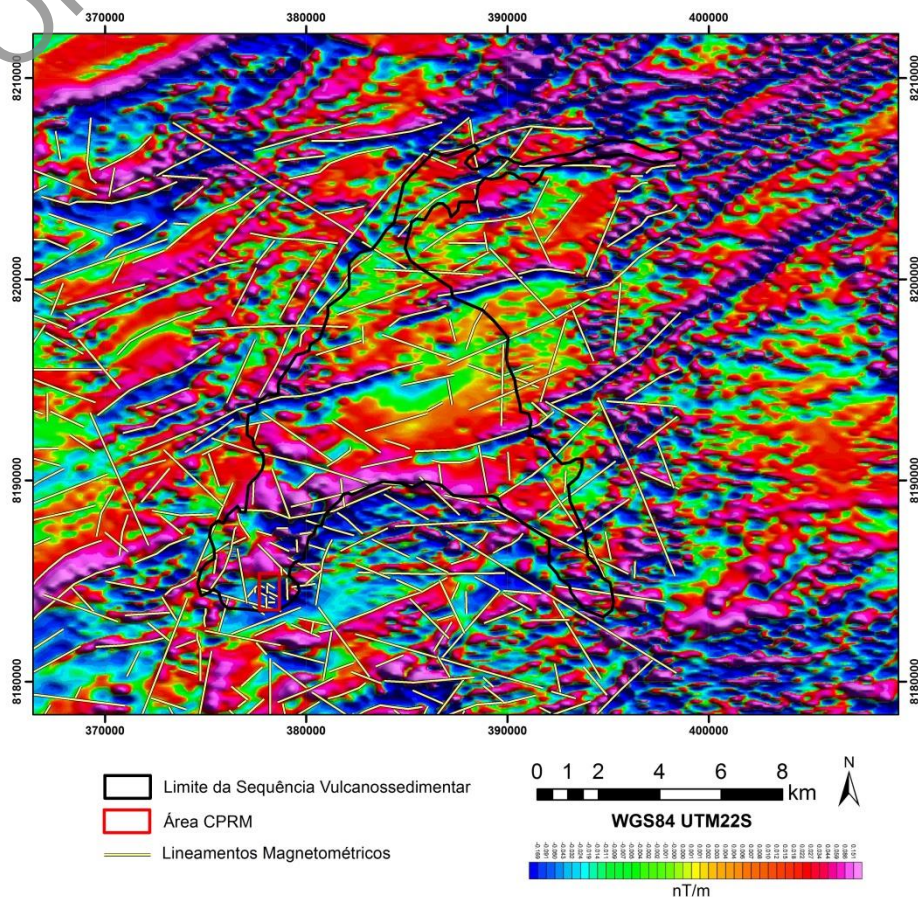


Figura 52 – Imagem da amplitude do gradiente horizontal total (AGHT).

10.2.2.2 Interpretação dos dados magnetométricos

Dois grandes lineamentos NW-SE se destacam na parte central da área. Ambos interceptam lineamentos com direção NE-SW e caracterizam cinemática sinistral na região (Figura 53). O menor deles tem cerca de 10 km de comprimento e o maior, 20 km.

Figura 53 – Interpretação dos lineamentos magnetométricos sobre a imagem da primeira derivada vertical (DZ).



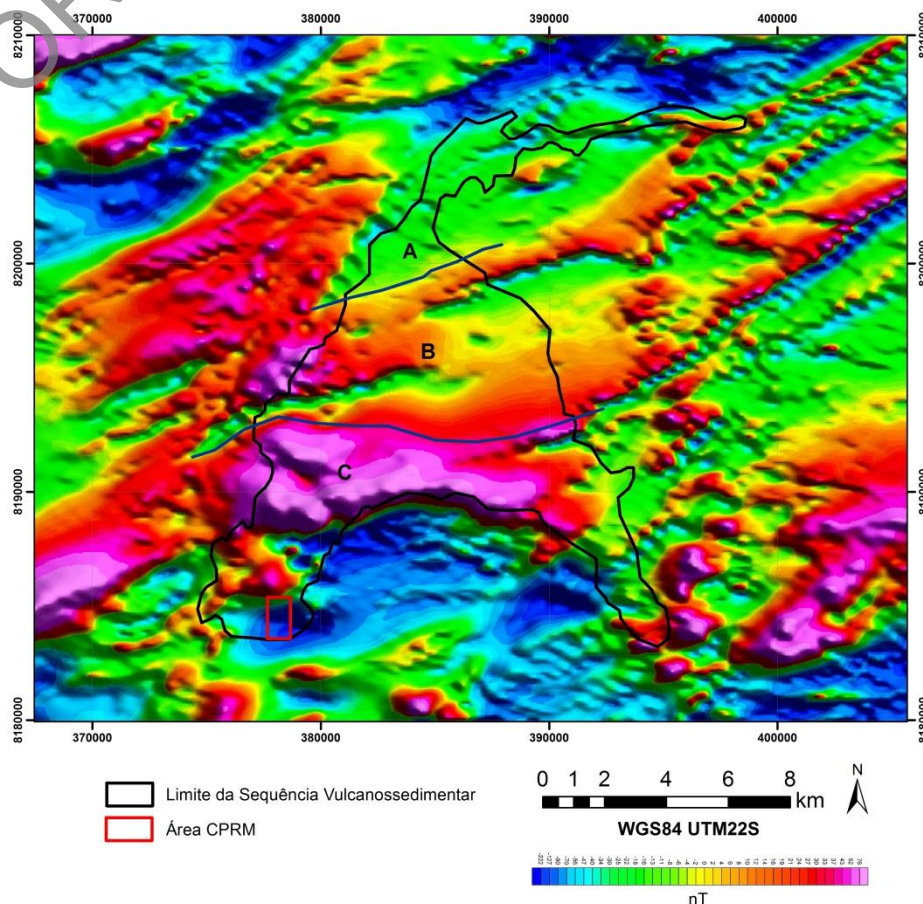
10.2.2.3 Domínios aeromagnetométricos

Com base, sobretudo, na imagem de CMA, foram delimitados três domínios magnetométricos: sul, central e norte (Figura 54).

O domínio sul abrange as duas anomalias bipolares mais expressivas da área de estudo (A e B). Nesse domínio, são observadas as maiores variações de amplitude do campo magnético (de -221 a 224 nT, aproximadamente).

O domínio central é representado por pequenas variações de amplitude do campo magnético, caracterizando uma região com valores medianos (entre cerca de -10 e 100 nT). Esse domínio abrange um grande conjunto de lineamentos magnetométricos com direção NE-SW, bem como aqueles com direção NW-SE. As relações de corte entre esses lineamentos sugerem uma cinemática sinistral, bastante evidenciada nesse domínio.

No domínio norte, destacam-se lineamentos magnetométricos nas direções NE-SW e E-W, principalmente. Na porção oeste desse domínio são observadas algumas estruturas sigmodais e um conjunto de lineamentos com direção NE-SW que parece sofrer leve inflexão para E-W. A porção leste do domínio norte abrange, essencialmente, lineamentos magnetométricos na direção NE-SW.

Figura 54 – Interpretação dos três principais domínios magnetométricos sobre a imagem de CMA

10.2.3 Integração de dados magnetométricos e gamaespectrométricos

As imagens magnetométricas e gamaespectrométricas apresentadas e descritas anteriormente são referentes aos dados de dois campos físicos distintos. Portanto, a integração desses dados deve ser feita com bastante critério, uma vez que cada método geofísico reflete diferentes propriedades das rochas.

A superposição de domínios e lineamentos magnetométricos e gamaespectrométricos interpretados pode, em determinadas porções da área, trazer informações sobre unidades e feições geológicas.

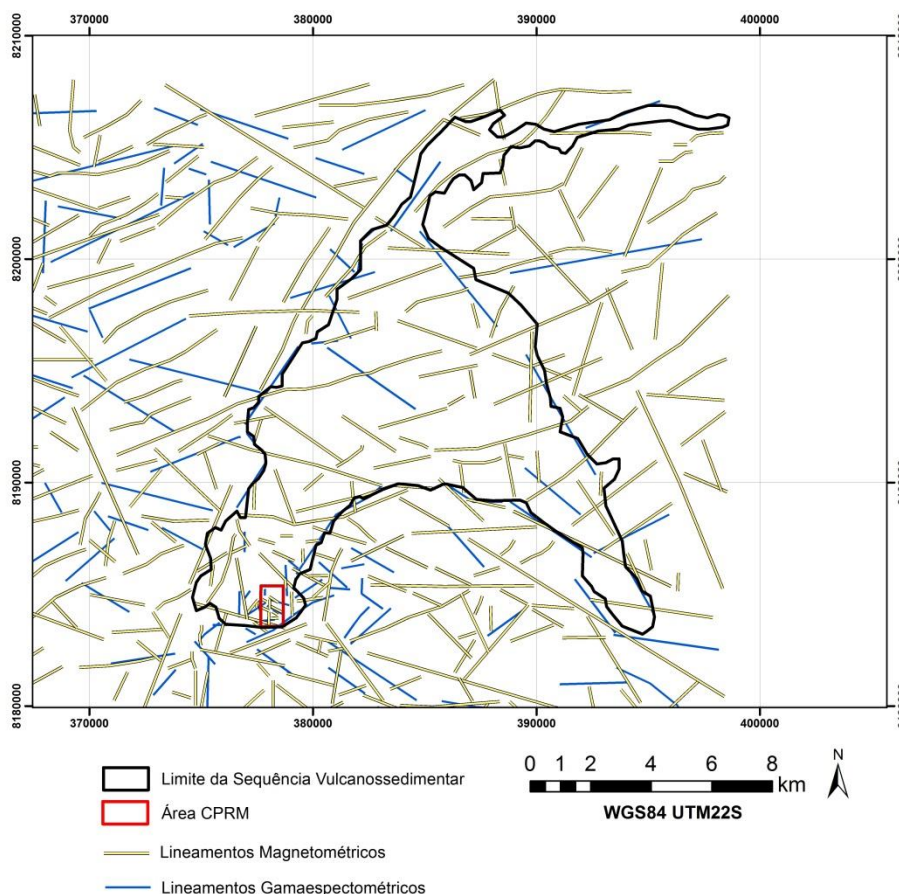
Em termos de geologia, as imagens gamaespectrométricas geralmente refletem aquilo que se observa em superfície. As imagens magnetométricas destacam feições de superfície e subsuperfície e, normalmente, complementam as imagens gamaespectrométricas, permitindo uma extensão dessas imagens em profundidade.

É possível observar que determinados lineamentos magnetométricos são coincidentes com os gamaespectrométricos (Figura 55), sobretudo aqueles com direção NW-SE que ocorrem na porção central da área. Essa sobreposição é indicativa de correlação e sugere que a feição observada em superfície apresenta continuidade em profundidade. Lineamentos na direção NE-SW também são coincidentes, principalmente na região norte da área.

Com relação aos domínios, a correlação entre magnetometria e gamaespectrometria nem sempre é possível. A gamaespectrometria reflete com clareza domínios que podem

representar unidades geológicas. Apesar de a magnetometria, igualmente, destacar unidades mais rasas (superficiais), ela também realça as mais profundas, por medir propriedade física distinta à da gamaespectrometria. Portanto, não se observa correlação, em escala regional, entre os domínios magnetométricos e gamaespectrométricos.

Figura 55 – Integração de lineamentos magnetométricos e gamaespectrométricos.



10.3 REINTERPRETAÇÃO DE DADOS TERRESTRES E INTEGRAÇÃO COM DADOS AEROGEOFÍSICOS NA ÁREA DA CPRM

10.3.1 Magnetometria

Dentro da área da CPRM, os domínios definidos pelos dados terrestres não coincidem com os principais domínios aeromagnetométricos. Porém, foram inferidos lineamentos magnéticos que não haviam sido apresentados no relatório da CPRM de 1979, com direção nordeste na região norte e ao sul deste com direção E-W, como observado também na imagem TDR AGHT RTP (Figura 56). Essa imagem corresponde à transformação do Campo Magnético Anômalo na imagem Reduzida ao Polo para gerar a Amplitude do Gradiente Total e, finalmente, a Inclinação do Sinal Analítico. Essa imagem equaliza as profundidades magnéticas, além de realçar bordas e contatos. Porém, apresenta alguns ruídos, por ser gerada pela 2ª derivada vertical.

A técnica da deconvolução de Euler coincidiu com lineamento magnetométrico terrestre reinterpretado e indicou o mergulho das fontes magnéticas da direção noroeste para sudeste, indicando profundidade de 300-400 m do topo das fontes magnéticas. Esse lineamento divide uma região com alto gradiente magnético a norte, que parece limitar o corpo mineralizado inferido pela modelagem dos furos de sondagem.

Os corpos magnéticos em branco são coincidentes com os lineamentos magnetométricos reinterpretados. Na parte leste da área, os corpos magnéticos possuem direção NE e, na parte oeste, direção N-NW. Alguns desses lineamentos magnetométricos reinterpretados parecem limitar o corpo mineralizado. O corpo mineralizado inferido parece estar fortemente deslocado na parte sul pelos lineamentos aeromagnetométricos com direção NW apresentando rejeito sinistral.

Ainda que os principais lineamentos tenham direção NW e NE, conforme anteriormente descrito, ocorrem na área também alguns lineamentos magnéticos com direção EW, que são caracterizados também por suas assinaturas radiométricas, com as regiões de alto gradiente magnético coincidindo com as regiões com altos valores de urânio e as áreas de baixo gradiente magnético coincidindo com altos valores de potássio.

Dessa forma, observa-se enriquecimento de potássio na parte sul do corpo mineralizado e de urânio na parte norte do corpo. Para essa visualização foi gerada uma imagem RGB, utilizando-se a associação de três técnicas: Potássio Anômalo (Kan), Urânio anômalo (Uan) e Parâmetro F (Figura 57). Essa interpretação encontra-se limitada pelo fato de que os dados geofísicos terrestres não foram coletados na porção sul da área, onde se encontra o direito minerário da CPRM e estão concentradas as principais anomalias aerogamaespectrométricas.

Figura 56 – Mapa de interpretação e integração de dados magnetométricos terrestres e aéreos.

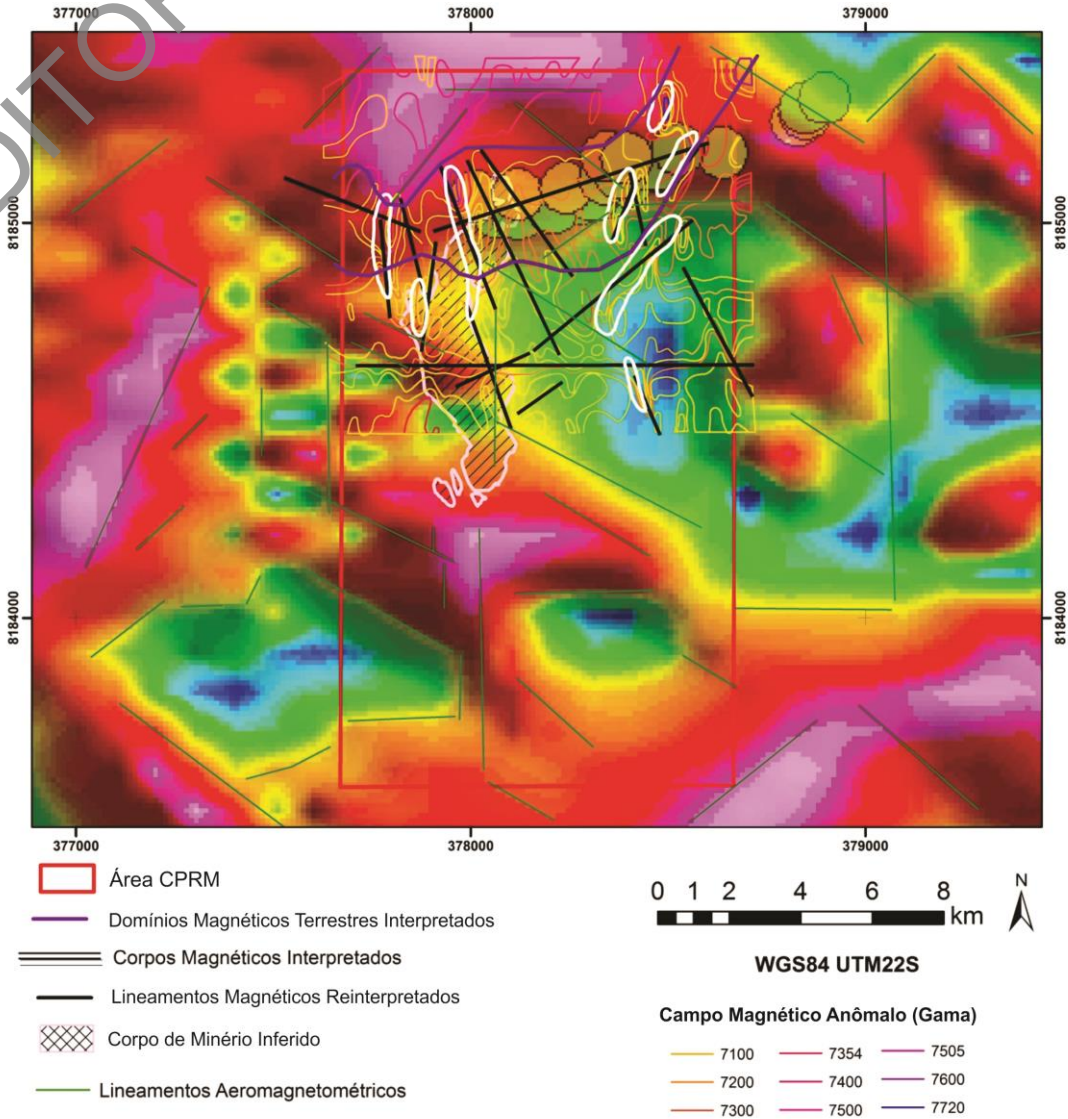
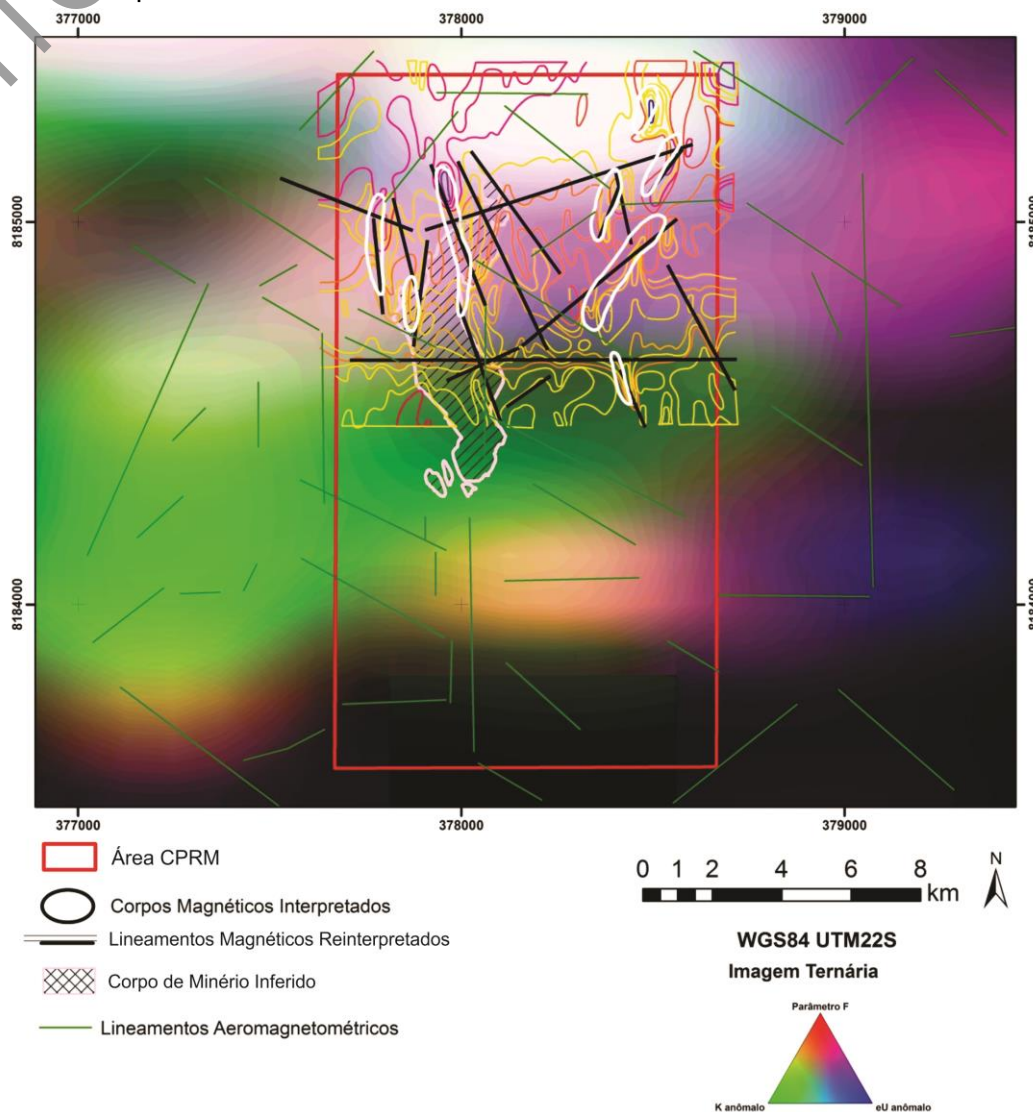


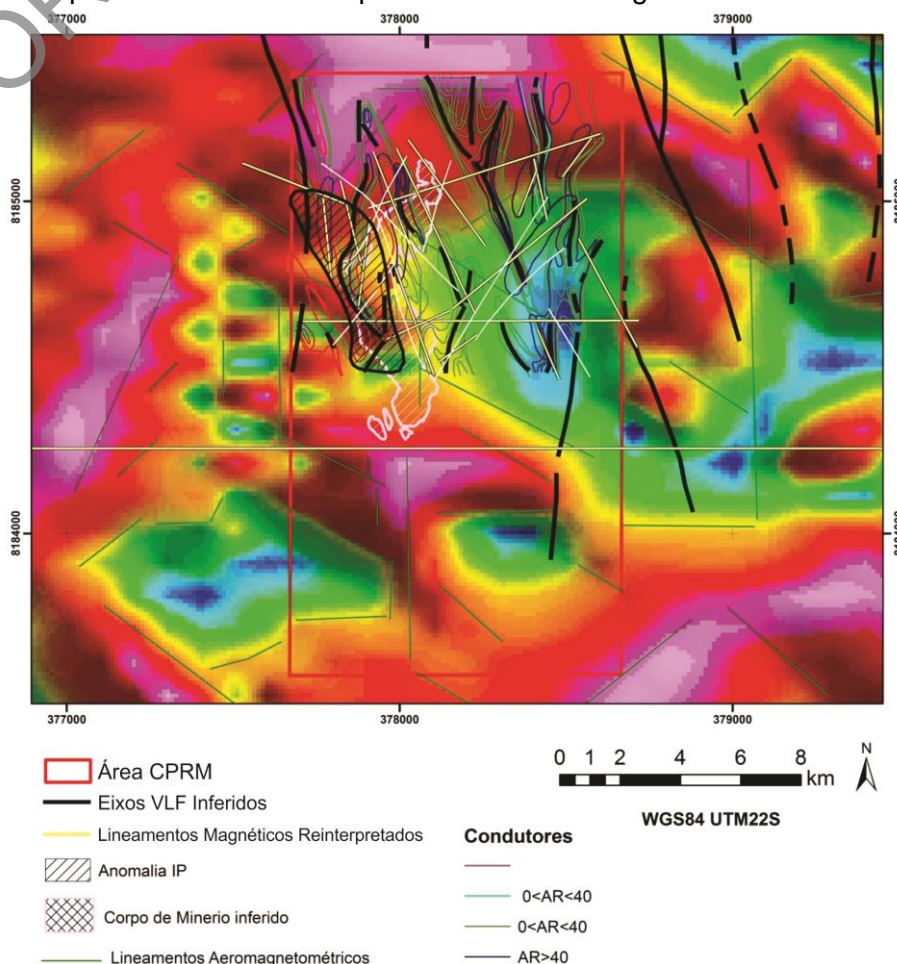
Figura 57 – Imagem do parâmetro F sobreposto aos lineamentos magnetométricos terrestres reinterpretados e aéreos, indicando as regiões de enriquecimento de potássio na parte sul do corpo mineralizado e de urânio na parte norte do corpo.



10.3.2VLF

Os eixos VLF possuem direção preferencial NE e NW, corroborando os lineamentos de magnetometria (Figura 58). Foram sugeridos alguns eixos VLF além dos preexistentes do antigo relatório (1979) na porção norte da área da CPRM. Os eixos condutores na parte oeste apresentam correlação com a direção do corpo condutivo interpretado dos dados de IP e com os lineamentos magnetométricos. O centro da anomalia IP, que parece estar limitada pelos lineamentos aeromagnetométricos, apresenta formato e área coincidentes com o corpo de minério inferido pelos furos de sondagem, mas, na porção norte, o corpo do minério inflêtu para nordeste e a anomalia de IP, para noroeste.

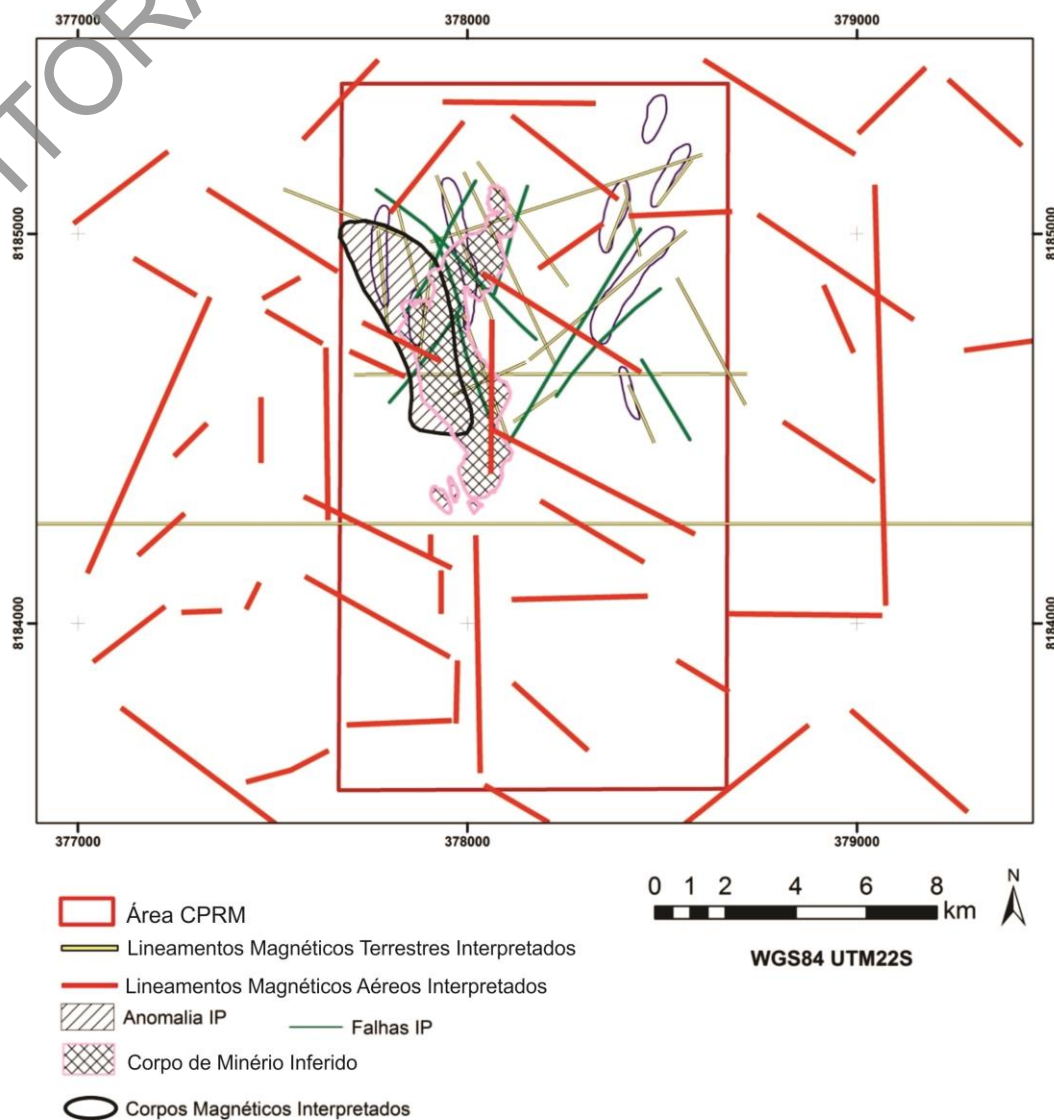
Figura 58 – Interpretação e integração de dados VLF com dados magnetométricos e IP e o corpo de minério inferido pelos furos de sondagem.



10.3.3 Polarização induzida

De acordo com a distribuição estatística dos dados, consideraram-se anômalos os valores de porcentagem de frequência de efeito superiores a 2%. De maneira geral, concentram-se na porção oeste do levantamento.

A reinterpretação dos dados de IP permitiu definir um corpo condutivo com comprimento máximo em torno de 600 m e largura de até 200 m (Figura 59). Em cima desse corpo há dois lineamentos magnetométricos com mesma direção (N25W), que podem estar associados ao sistema de fratura local. A intersecção dos lineamentos magnéticos NW e EW, associados à descontinuidade dos eixos dos lineamentos VLF, sugere a existência de corpos condutivos menores, lenticulares, descontínuos e boudinados.

Figura 59 – Imagem de integrações geofísicas relacionadas às interpretações de IP.

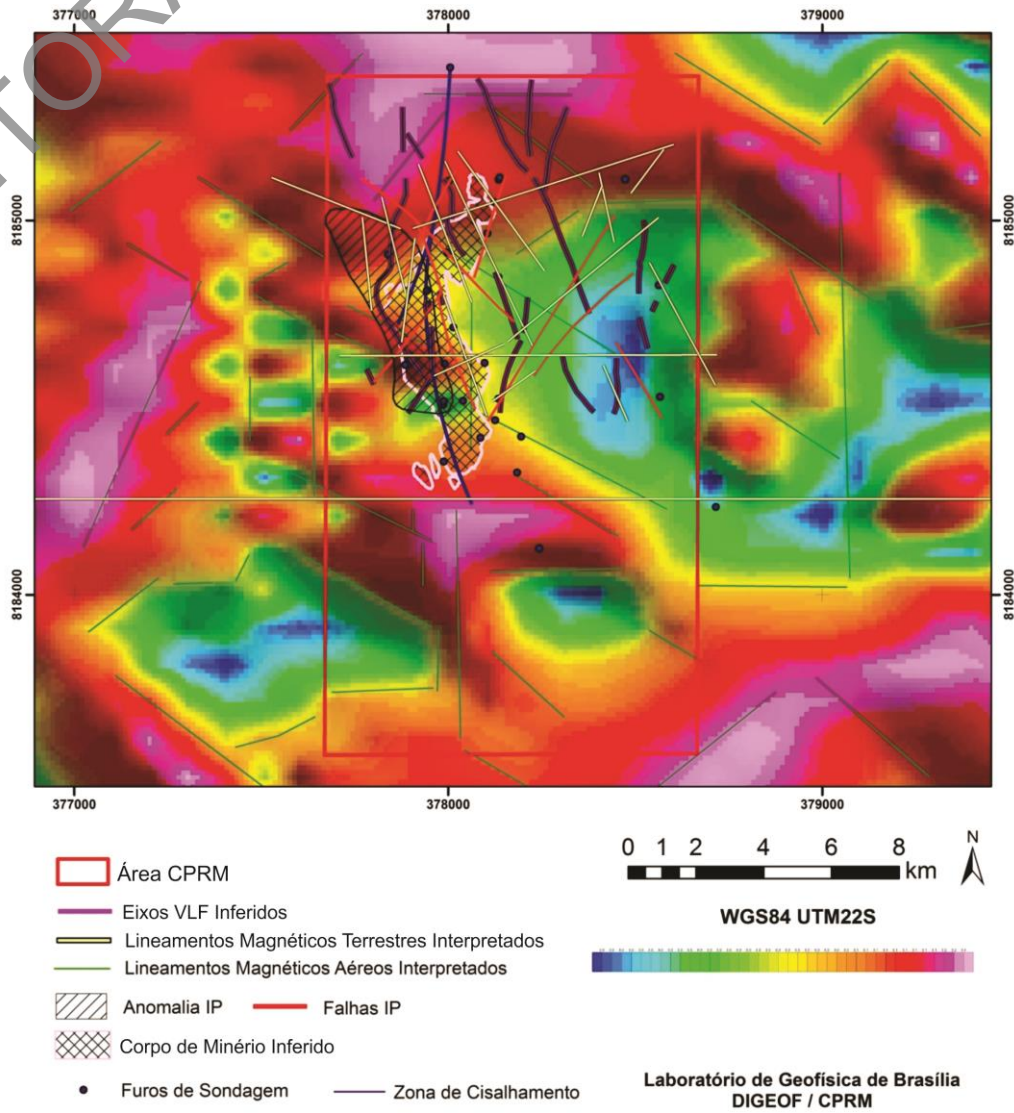
10.4 RESULTADOS

As conclusões dessa etapa de trabalho são apresentadas a seguir (Figura 60).

- A partir das imagens aerogamaespectrométricas, foi possível delimitar a sequência vulcanossedimentar.
- O corpo de IP interpretado apresenta forte correlação com os altos magnéticos da imagem TDR AGHT RTP.
- O corpo condutivo (IP) tem formato coincidente com o corpo mineralizado, inferido pela modelagem dos furos de sondagem; porém, o corpo mineralizado inflete para nordeste, concordando com a zona de cisalhamento traçada, e o corpo condutivo inflete para noroeste.
- Os corpos magnéticos inferidos são descontínuos, com direção NS na porção oeste e direção NE-SW na região leste da área, com poucas exceções com direção NW-SE no centro da área.

- Os lineamentos magnetométricos terrestres apresentam algumas diferenças em relação aos lineamentos magnéticos aéreos, o que pode ser causado pela falta de correção dos dados terrestres ou devido à diferença de escalas.
- Os lineamentos IP traçados, assim como os lineamentos aeromagnetométricos com direção noroeste, limitam a maioria dos corpos magnetométricos terrestres.
- Os lineamentos aeromagnetométricos apresentam direção preferencial NW, com rejeito de blocos boudinados variando de 80 a 100 m, com rotação sinistra. Os dados de Euler indicam que existe caimento para sudeste das fontes magnéticas, o que pode indicar que o corpo mineralizado está mergulhando nessa direção SE, o que explicaria o menor gradiente magnético na parte sul do corpo mineralizado.
- Cabe notar que a direção das três unidades magnéticas é principalmente NNE, enquanto todos os demais métodos geofísicos terrestres realizados (IP e VLF) indicam estruturação principalmente ao longo da direção NS, sendo esta a direção principal tanto das zonas de cisalhamento regionais quanto do eixo de maior alongamento do corpo de minério, o que indicaria forte controle estrutural da mineralização.
- A diferença de escala dos dados prejudica a interpretação e integração dos dados aerogeofísicos e geofísicos terrestres. Os dados terrestres, extraídos do antigo relatório de CPRM (1979), apresentam vários problemas de aquisição, assim como as interpretações apontadas no início do relatório, como falta de correção diurna e topográfica nos dados magnetométricos, entre outros, o que dificulta, além da correlação das informações, a compreensão da geometria e cinemática do corpo mineralizado.
- A região com maior anomalia aeromagnetométrica no centro da área não possui furos de sondagem e dados geofísicos terrestres e podem apresentar bons resultados. A zona de cisalhamento corta a anomalia, além de ser coincidente com uma anomalia radiométrica observada na Figura 57.

Figura 60 – Mapa de integração das interpretações geofísicas terrestres e aéreas.



11 PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA

O tratamento dos dados geoquímicos das amostras de solo do Projeto Bom Jardim seguiu a metodologia hoje aplicada pelos principais serviços geológicos do mundo, utilizando estatística robusta, ou seja, técnicas utilizadas para atenuar o efeito de *outliers* e preservar a forma de uma distribuição tão aderente quanto possível aos dados empíricos (CARRANZA, 2009, 2011; FILZMOSEER; HRON; REIMANN, 2009; GRUNSKY, 2010; REIMANN et al., 2008).

11.1 METODOLOGIA

Segundo o “Relatório final da pesquisa para zinco no município de Bom Jardim” (CPRM, 1979), a amostragem de solos seguiu o padrão praticado nos dias atuais na CPRM, sendo amostragem com cavadeiras (“bocas-de-lobo”), com profundidade variando entre 0,4 e 0,6 m, coincidindo, segundo os autores do referido relatório, com o horizonte pedogenético C. Em laboratório, as amostras foram destorroadas e peneiradas e a fração 80 mesh separada para análise, não indicando pulverização dessa alíquota. Essa alíquota sofreu abertura química por HNO₃ concentrado em chapa aquecedora e foi analisada por espectrofotometria de absorção atômica, método que possui limitações quanto ao limite inferior de detecção quando comparado aos métodos mais modernos, tal como ICP-MS. Contudo, não há problema em detectar altos teores em matrizes geológicas. Houve, então, a quantificação de teores para Cu, Zn, Pb, Ni, Fe e Mn. No banco de dados recebido, há indicação de análise para “CxCu”, onde Cx, segundo comunicação verbal, seria abertura com HCl concentrado a frio. Portanto, para não haver equívocos, essa variável foi descartada do tratamento dos dados.

Foram recebidos dois bancos de dados para o tratamento geoquímico: um levantamento regional, com 1.486 amostras de solos, e um levantamento de detalhe, constituído por 842 amostras. Ressalva-se que esses números de amostras foram computados após a organização do banco de dados.

O primeiro passo para o tratamento dos dados foi a organização do banco de dados para o tratamento estatístico, pois este apresentou alguns problemas, tais quais: (i) consistência do banco de dados: por exemplo, uma mesma estação de amostragem possui mais de um número de campo e mais de um número de laboratório; para esse problema, foram consideradas as amostras que possuíam maior número de dados analíticos; (ii) dentre as amostras citadas, há dados químicos incompletos, ou seja, espaços vazios na tabela para alguns elementos químicos, o que faz com que o usuário não saiba se a amostra não possui o dado (o elemento químico não foi analisado) ou está abaixo do limite de detecção do método analítico (o qual não é indicado no relatório para quaisquer elementos analisados). Para tanto, foi considerado que espaços vazios na tabela de dados químicos dos elementos são de “não analisados”; (iii) amostras de uma mesma estação com denominações A, B, C e D, as quais, corriqueiramente, representam diferentes profundidades de amostragem, não possuem sequer uma orientação no relatório e, ainda, muitas possuem coordenadas distintas. Além disso, há os mesmos problemas com campos de análise química vazios, como supracitado. Logo, foram consideradas amostras que possuem análises químicas mais completas, não considerando a profundidade.

Após a organização do banco de dados geoquímicos, as variáveis foram submetidas ao tratamento estatístico básico univariado, com a confecção de gráficos, tais quais histogramas, probabilidade normal (Figuras 61 e 62) e box plot (junto aos mapas unielementares), além de um sumário estatístico, mostrando parâmetros estatísticos pertinentes das variáveis e da estatística bivariada, levando-se em consideração as amostras do levantamento regional.

As variáveis foram submetidas à transformação log antes do tratamento, com o intuito de não se superestimar outliers superiores nem subestimar outliers inferiores, principalmente para os gráficos box plot. Teste de normalidade Shapiro-Wilk foi utilizado para os dados brutos (sem transformação) e os dados log normalizados. Nesse caso, foram utilizados os dados log normalizados, apesar de não apresentarem significativa mudança da normalidade em relação à distribuição das populações das variáveis (Figuras 61 e 62).

Figura 61 – Histogramas para os elementos analisados na forma bruta e log normalizados (levantamento regional).

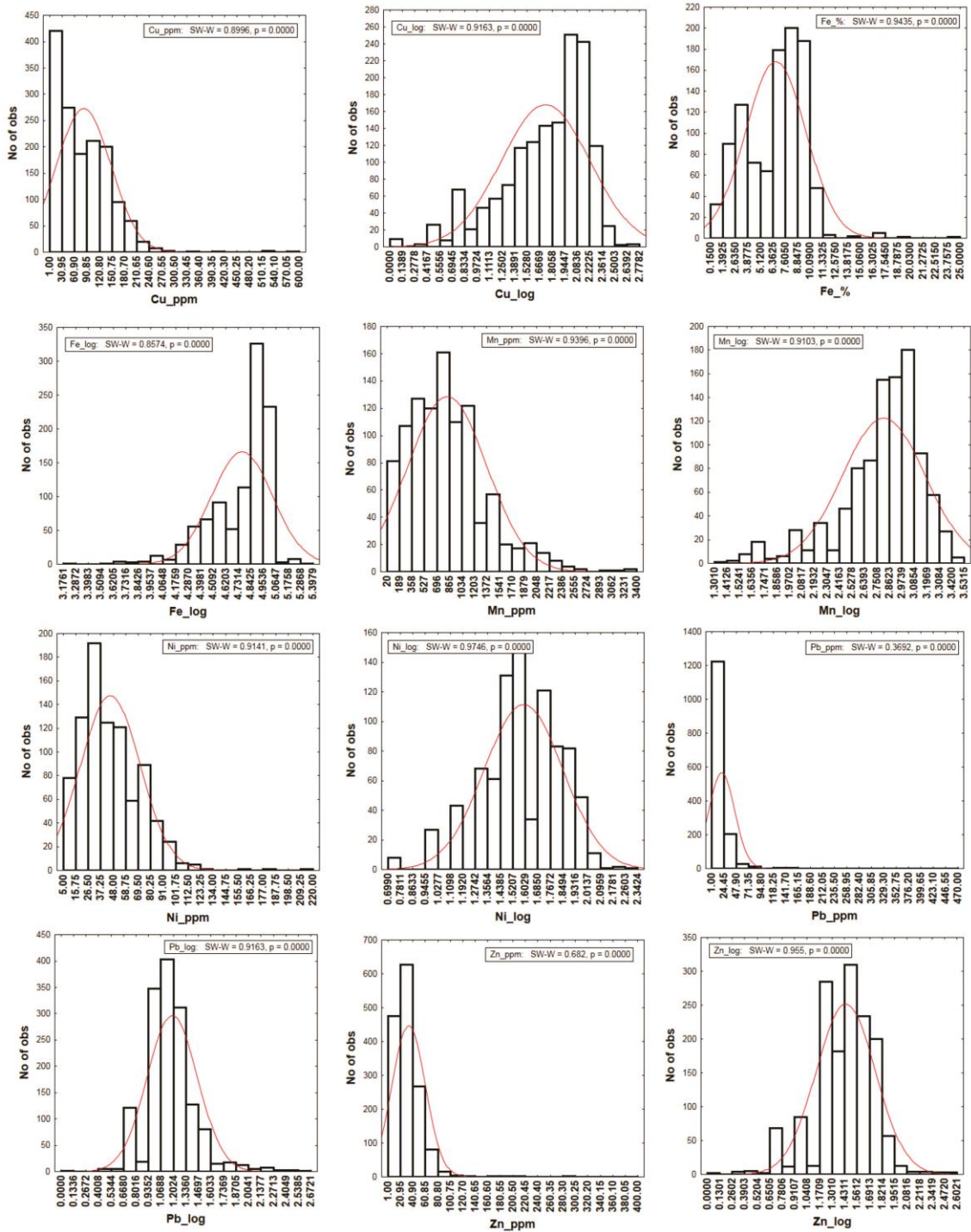
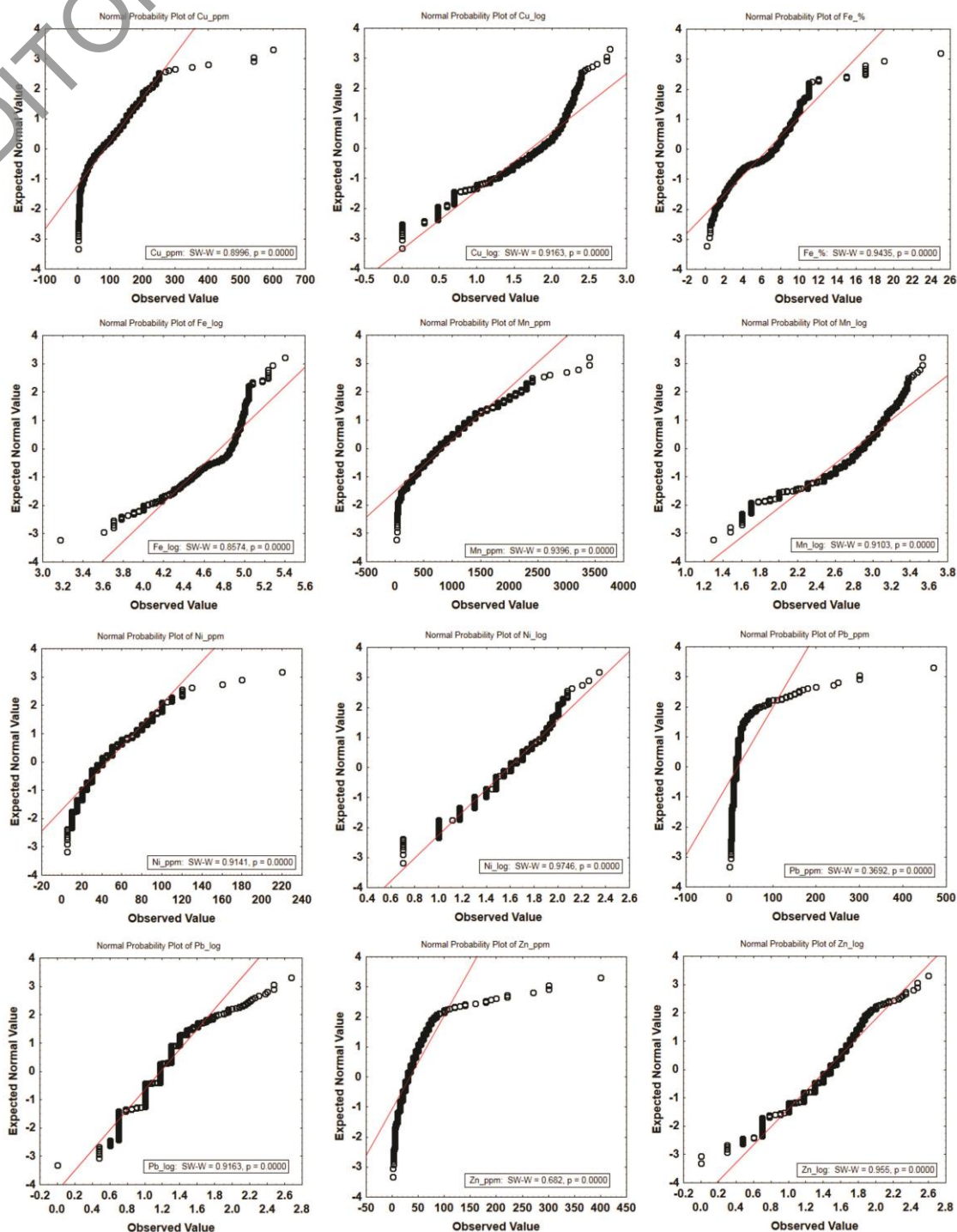


Figura 62 – Gráficos de probabilidade normal para os elementos analisados na forma bruta e log normalizados (levantamento regional).



11.2 RESULTADOS

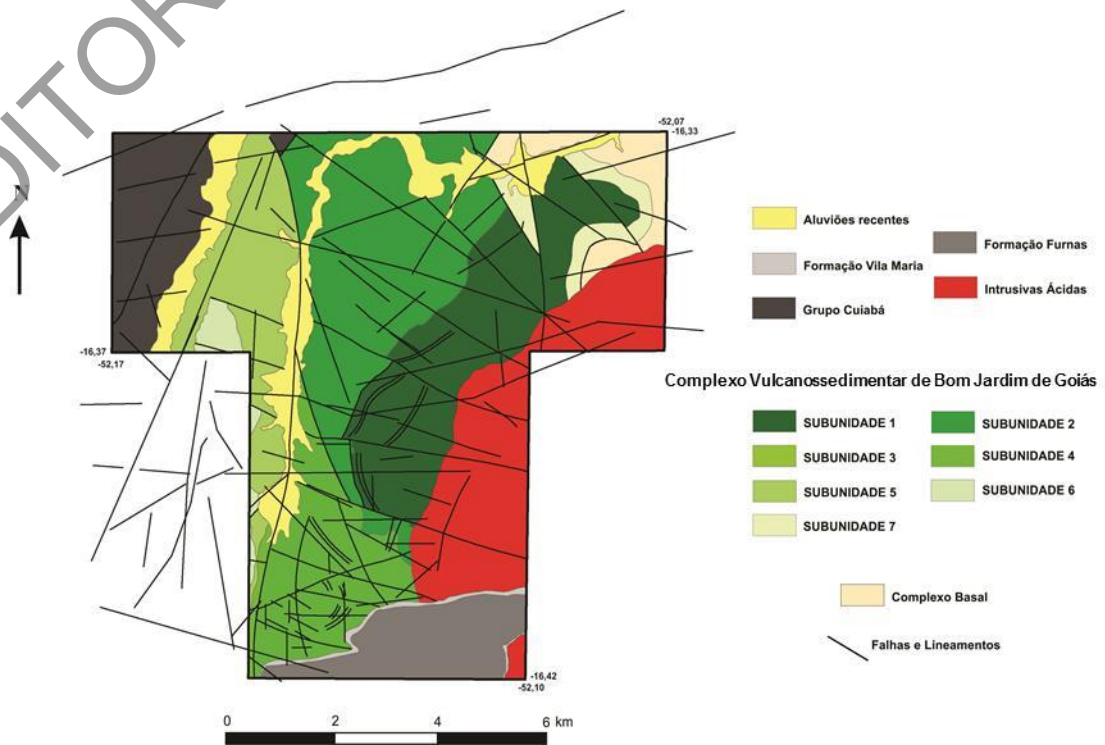
Os resultados são apresentados em mapas de três formas distintas: (i) o levantamento regional, que envolve as subunidades do Complexo Vulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás mostradas pelo mapa geológico; (ii) o levantamento de detalhe, que abrange, predominantemente, a subunidade 3; (iii) o levantamento por subunidades geológicas, baseado no levantamento regional. Esse último informa de maneira mais precisa os comportamentos dos elementos químicos analisados dentro de cada unidade, sugerindo áreas

potenciais a jazimentos e ocorrências minerais por meio de comparação estatística entre unidades geológicas. Esse tipo de análise seria mais efetivo se houvesse maior quantidade de elementos químicos analisados, os quais seriam mais bem explicados por meio de tratamento por estatística multivariada (análise de principais componentes, análise fatorial e análise de agrupamentos). Contudo, em um caso específico de boa correlação entre Pb e Zn, que será discorrido adiante, foi utilizada a análise fatorial para mostrar áreas de favorabilidade para jazimento, apesar de o número reduzido de variáveis. Portanto, efetivamente, somente as estatísticas univariada (análise estatística para cada elemento) e bivariada (correlação entre os elementos) foram utilizadas nos levantamentos. Na Figura 63, apresenta-se o mapa geológico simplificado da área estudada, o qual foi base para as interpretações dos dados geoquímicos; já nas figuras 64 a 66 são exibidas, respectivamente, a disposição das malhas de amostragem regional, de detalhe e por unidades geológicas. Os lineamentos e estruturas indicados nos mapas supracitados e os demais mapas ao longo deste relatório foram baseados no mapeamento geológico original dessa área, combinados com as estruturas retiradas de mapas geofísicos (magnetometria – derivada vertical).

A simbologia que se observa nos mapas geoquímicos é a representação dos quartis apresentados nos gráficos box plot para cada elemento (exemplificado na Figura 67) e foi baseada na metodologia utilizada pelo British Geological Survey (LAPWORTH et al., 2012). Descrevendo a simbologia, o círculo menor representa os outliers inferiores; o círculo médio representa as amostras com concentrações do limite do whisker inferior até 25% (Q1) do total de amostras; o círculo maior se refere aos valores entre 25% (Q1) e 75% (Q3), faixa que representa as amostras de tendência central de concentrações dentro de toda a população (esses valores representam a amplitude interquartil (AIQ) e também a faixa estimativa que representa o background da população); a cruz representa valores entre 75% e o limite do whisker superior (valor representado pelo algoritmo $Q3 + 1,5*AIQ$, representando o limiar), referindo-se às amostras que possuem certa elevação de concentração em relação à faixa “normal”, ou seja, representam amostras intermediárias entre a faixa de tendência central e outliers superiores, essas últimas consideradas anomalias geoquímicas. A faixa de outliers superiores ou anomalias, dependendo de sua amplitude, pode ser dividida em anomalias de terceira ordem (amostras que possuem concentrações até o valor representado pelo algoritmo $Q3 + 3*AIQ$), segunda (amostras que possuem concentrações até o valor representado pelo algoritmo $Q3 + 4,5*AIQ$) e primeira ordem (amostras que possuem concentrações maiores que o valor representado pelo algoritmo $Q3 + 4,5*AIQ$).

Os principais parâmetros estatísticos para interpretação do comportamento dos elementos químicos analisados para o levantamento regional, de detalhe e por subunidades são apresentados na Tabela 2. Observa-se que, para os elementos Ni, Mn e Fe, o número de amostras válidas não atinge a mesma porcentagem de Cu, Pb e Zn, não permitindo se proceder, de maneira satisfatória, a análises estatísticas mais robustas, tanto no levantamento regional quanto no de detalhe. Na distribuição dos elementos analisados em gráficos de histograma e de probabilidade normal e corroborados pelo teste de Shapiro-Wilk, percebe-se a não normalidade dos dados, mesmo as concentrações log transformadas (Figuras 61 e 62).

Figura 63 – Mapa geológico simplificado da área do projeto.



Fonte: Modificado de CPRM, 1979.

Figura 64 – Distribuição da malha de solos no levantamento regional.

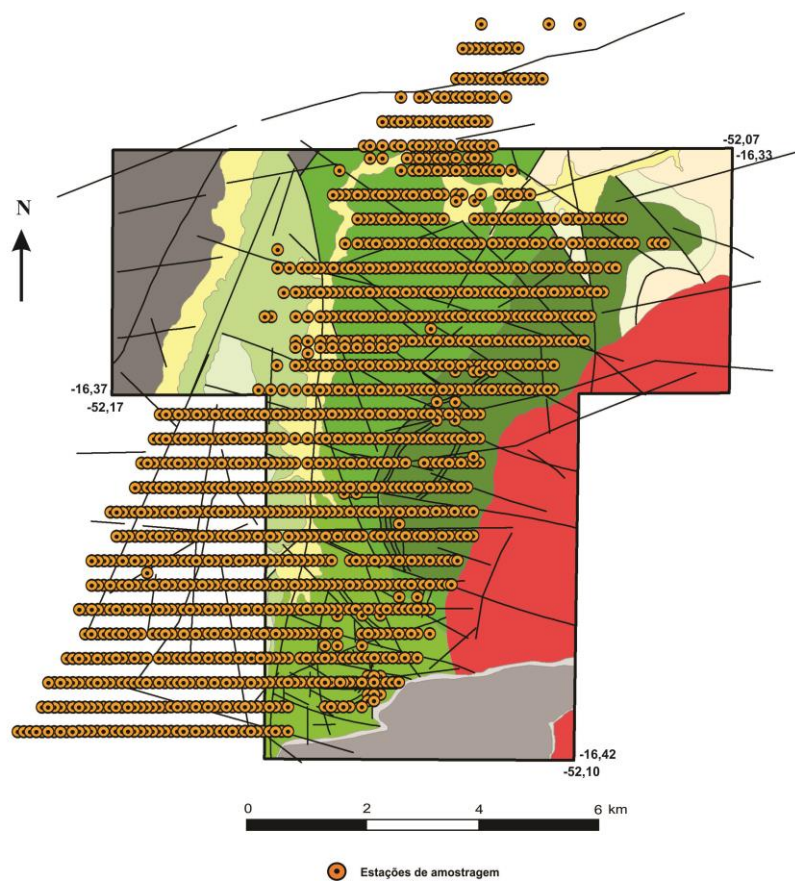


Figura 65 – Distribuição da malha de solos nos levantamentos de detalhe.

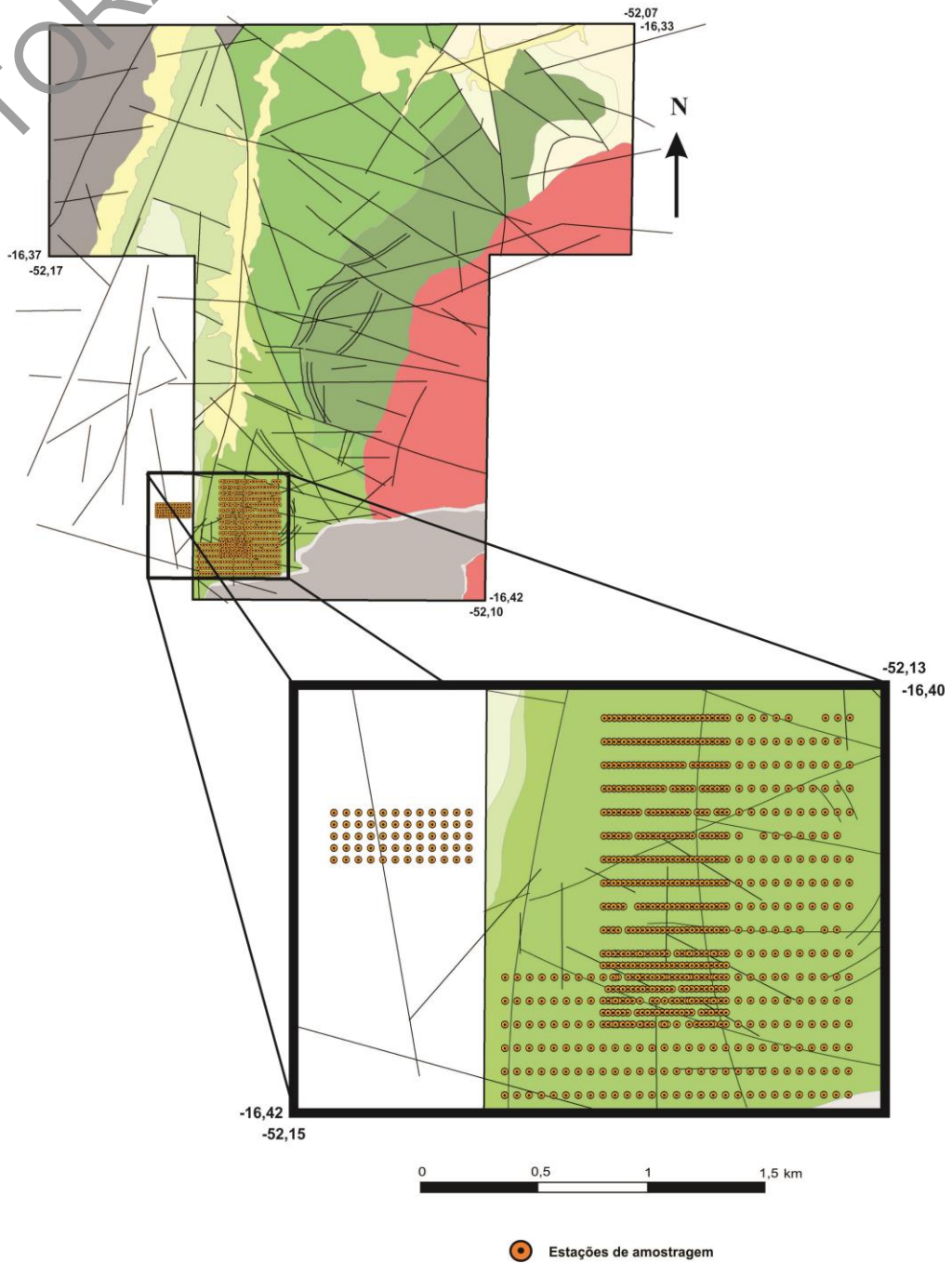


Figura 66 – Distribuição da malha de solos no levantamento por unidades geológicas baseado no levantamento regional.

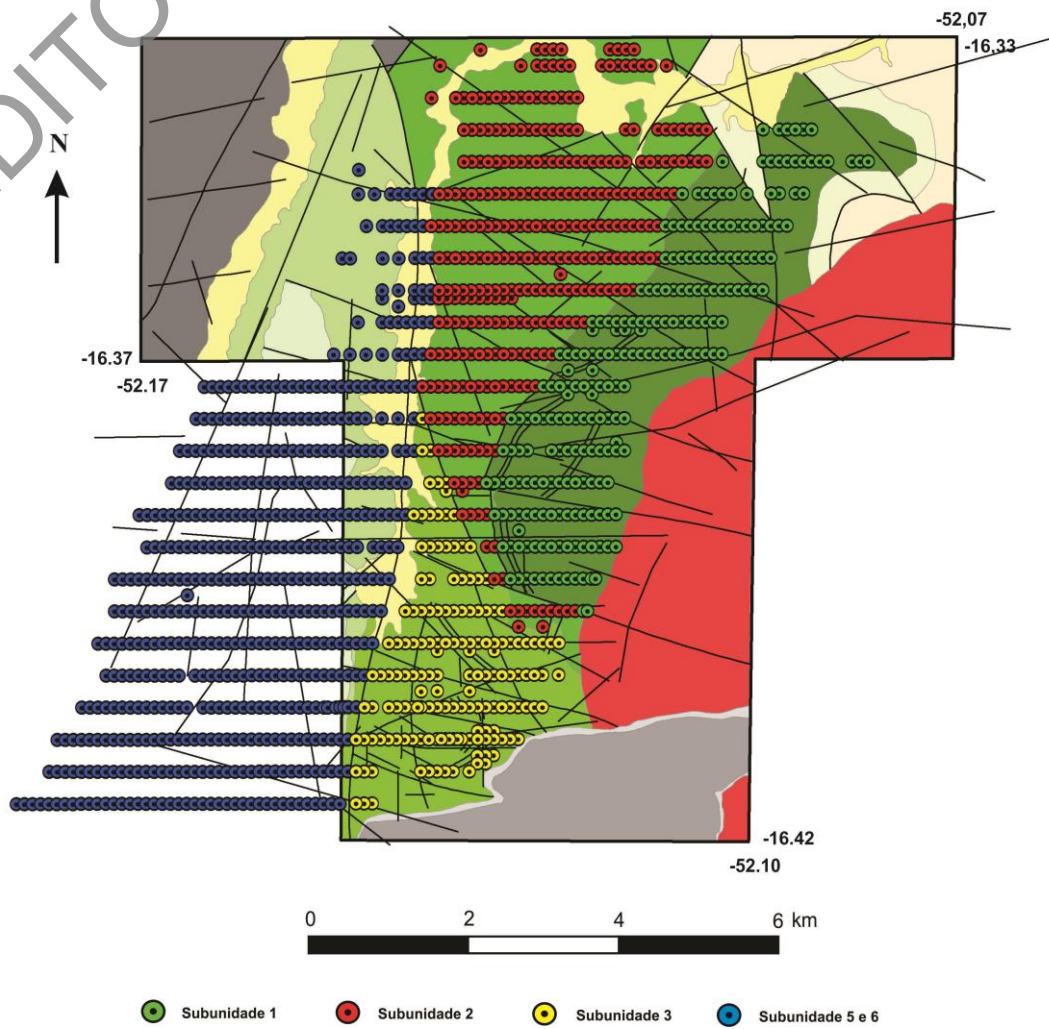


Figura 67 – Representação da simbologia para compor os mapas geoquímicos unielementares baseados em gráficos *box plot*.

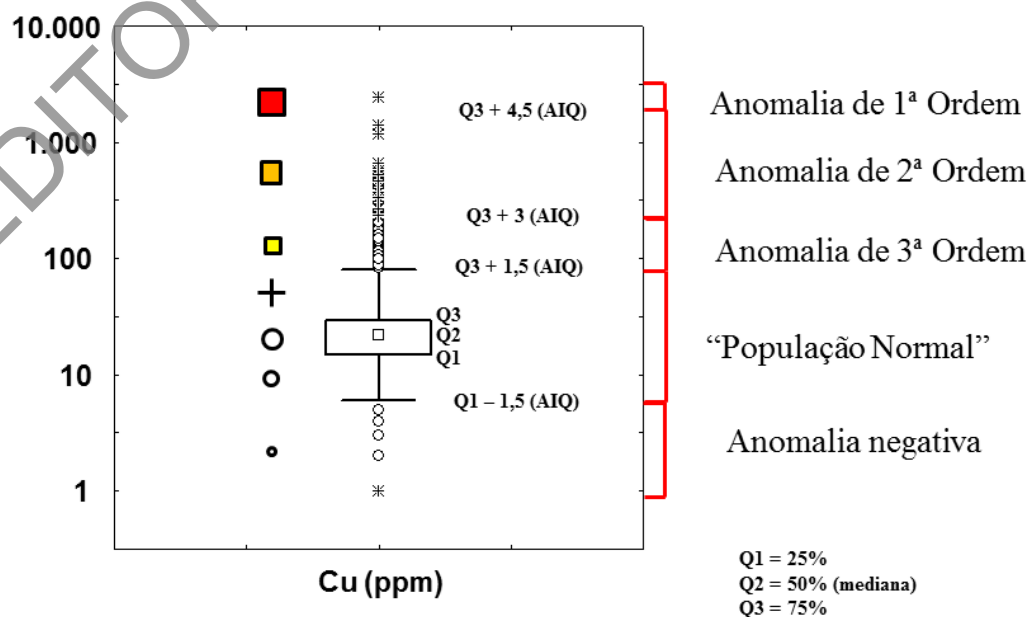


Tabela 2 – Parâmetros estatísticos pertinentes dos metais analisados para levantamento regional, de detalhe e por subunidades

Quartis											
	N Válidos	N Válidos (%)	Média	Mín.	Q3-1,5AIQ (Limiar Inf.)	Q1 (25%)	Q2 (Mediana)	Q3 (75%)	Q3+1,5AIQ (Limiar Sup.)	Máx.	Contraste*
Levantamento Regional (n=1486)											
Cu (ppm)	1486	100	52,85	1	4	30	70	130	600	600	9
Pb (ppm)	1486	100	15,23	1	4	10	15	20	55	470	31
Zn (ppm)	1486	100	27,23	1	6	20	30	45	140	400	13
Ni (ppm)	874	58,81	38,60	5	13	30	40	60	160	220	5,5
Mn (ppm)	1011	68,03	638,10	20	120	450	750	1100	3400	3400	4,5
Fe (%)	1012	68,10	5,72	0,15	1,20	3,90	7,30	8,75	25,00	25,00	3,4
Levantamento de Detalhe (n=842)											
Cu (ppm)	842	100	65,76	2	11	40	61	95	340	2600	43
Pb (ppm)	455	54	14,68	5	5	10	20	20	50	50	2,5
Zn (ppm)	842	100	27,53	3	8	20	30	40	110	900	30
Mn (ppm)	781	93	52,74	12	120	400	640	900	2200	5800	9,1
Fe (%)	781	93	0,06	0,2	2,5	3,4	3,8	4,2	5,7	7	1,8
Quartis											
			Média	Mín.	Q3-1,5AIQ (Limiar Inf.)	Q1 (25%)	Q2 (Mediana)	Q3 (75%)	Q3+1,5AIQ (Limiar Sup.)	Máx.	Contraste*
Subunidade 1 (n = 254)											
Cu (ppm)			102,05	5	25	70	130	150	400	600	4,6
Pb (ppm)			15,08	5	5	10	15	20	50	60	4
Zn (ppm)			30,12	5	15	25	35	45	80	80	2,3
Subunidade 2 (n = 376)											
Cu (ppm)			117,05	10	50	100	120	160	280	280	2,3
Pb (ppm)			16,15	5	10	15	15	20	30	85	5,7
Zn (ppm)			31,76	5	15	25	35	45	90	90	2,6
Subunidade 3 (n = 173)											
Cu (ppm)			58,68	12	12	36	50	90	350	540	10,8
Pb (ppm)			11,43	5	6	10	10	15	25	85	8,5
Zn (ppm)			26,02	5	5	15	30	45	85	85	2,8
Subunidades 4, 5 e 6 (n = 552)											
Cu (ppm)			19,81	1	2	10	24	40	230	230	9,6
Pb (ppm)			15,94	1	3	10	15	24	80	470	31,3
Zn (ppm)			23,24	1	3	13,5	25	45	270	400	16

*Razão entre o teor máximo do elemento analisado e o teor de *background* (representado pela mediana).

11.3 DISCUSSÃO

Nas figuras 68 a 73 apresentam-se os mapas geoquímicos unielementares, respectivamente, de Cu, Pb, Zn, Ni, Mn e Fe para o levantamento regional, enquanto nas figuras 74 a 78 são mostrados os mapas unielementares, respectivamente, de Cu, Pb, Zn, Mn e Fe para o levantamento de detalhe. Os mapas unielementares do levantamento por unidades se encontram nas figuras 82 a 93.

Ao verificar as concentrações dos metais de interesse Cu, Pb e Zn no levantamento regional, estes atingem concentrações de 600, 470 e 400 ppm, respectivamente, os quais podem ser considerados valores representativos de mineralização, principalmente quando comparados aos seus valores medianos. Esses valores, por sua vez, representam a tendência central da faixa de background. Portanto, ao testar o contraste (que, nesse caso, foi utilizado como razão entre o teor máximo e o teor de background, representado pela mediana – Tabela 2) para esses metais, verificam-se os valores de 9, 31 e 13 (Tabela 2), respectivamente, para Cu, Pb e Zn, corroborando a representação de mineralizações. Excetuando-se Pb e Zn, principalmente na região das subunidades 4, 5 e 6, as anomalias desses metais não ocorrem nas mesmas áreas (Figuras 68 a 70).

Para o Cu (Figura 68), teores mais elevados ocorrem nos metabasaltos (subunidade 1, com 600 ppm) e nos metavulcanitos riodacíticos (subunidade 3, com 540 ppm). Contudo, há uma diferença entre os valores medianos (background) de cada unidade (130 ppm para a subunidade 1 e 50 ppm para a subunidade 3 – Tabela 2), o que pode ser devido à composição química dos litotipos de cada unidade. A área com potencial jazimento para Cu pesquisada pela CPRM nos anos de 1970 (Capibaribe – Alvo 01) se encontra na subunidade 3 e, levando-se em conta as características geoquímicas do Cu supracitadas (baixos teores de background e altos teores anômalos), estas sugerem que o potencial para Cu nessa área pode ser devido à reatividade desses metatufos ao fluido mineralizante. Esse mesmo comportamento de Cu, que corrobora essa hipótese, se repete e se torna mais evidente no levantamento de detalhe, onde os teores atingem valores acima de 1.500 ppm (valor máximo de 2.600 ppm), com valor de background de 61 ppm, ou seja, atingindo um contraste de 43, o qual é um valor muito expressivo. É válido ressaltar que as anomalias de Cu no levantamento de detalhe formam uma faixa de favorabilidade para Cu que se alonga por 630 m (área calculada de 122 m²) na direção N-S/NE-SW, coincidente com um lineamento N-S presente na subunidade 3, o que corrobora um controle estrutural para essa mineralização.

Em relação aos metais Pb e Zn (Figuras 69 e 70, respectivamente), estes apresentam suas concentrações mais relevantes nas subunidades 4, 5 e 6 (as amostras para ambas as subunidades foram contabilizadas juntas), as quais representam sequências supracrustais (predominantemente metaconglomerados, filitos e quartzitos), com teores atingindo 470 ppm para Pb e 400 ppm para Zn. Assim como para Cu, Pb e Zn apresentam baixos teores de background (15 ppm para Pb e 30 ppm para Zn) e altos teores anômalos, também sugerindo reatividade dos litotipos das subunidades com o fluido mineralizante. Observando-se os mapas unielementares de Pb e Zn regionais, estes apresentam configurações de distribuição de teores condizentes com áreas mineralizadas, ou seja, amostras de background elevando suas concentrações em direção a amostras anômalas. Essas características confirmam três alvos nas subunidades 4, 5 e 6, sendo um a norte e outro mais ao sul, com disposição N-S (assim como mostrado para as anomalias de Cu no levantamento de detalhe), e um terceiro com disposição NW-SE, todos apresentando amostras com teores anômalos tanto para Pb quanto para Zn.

Comparando-se essas faixas anômalas para Pb e Zn, os alvos com disposição N-S são mais expressivos para Pb, com a faixa ao sul se estendendo por 1,5 km (área calculada de 706 m²)

e a faixa ao norte por 1,4 km (área calculada de 700 m²), enquanto para Zn a faixa anômala ao sul se estende por 1,07 km (205 m²) e ao norte por apenas 230 m (26 m²). A faixa anômala de direção NW-SE se mostra mais significativa para Zn, a qual se estende por 1,1 km (área calculada de 105 m²), apesar de essa faixa para Pb (extensão de 640 m e área de 48 m²) apresentar o maior teor encontrado (470 ppm).

No levantamento de detalhe, concentrações de Pb mantêm faixas de background semelhantes ao do levantamento regional, entretanto, não mostrando teores anômalos (valor máximo de 50 ppm). O mesmo comportamento é observado para Zn, contudo, este apresenta uma só amostra com 900 ppm. Nesse caso, esse teor exacerbado precisa ser analisado com cautela, pois não reflete o real comportamento do Zn nessa área.

Os elementos Ni, Mn e Fe (Figuras 71 a 73, respectivamente), apesar de interesse secundário, podem fornecer informações relevantes sobre possíveis associações geoquímicas ocorrentes na área estudada. As concentrações mais relevantes de Ni se encontram nas subunidades 1 e 2, onde esse elemento possui teores de background elevados, devido à química dos litotipos. Assim como para Ni, Mn possui teores elevados também nas subunidades 1 e 2 e pode estar fortemente associado a processos hidrotermais na área de estudo, principalmente ao se observar o aumento dos teores de Cu, Zn e Ni na faixa dominada por zonas de cisalhamento sinistrais de direção E-W/NW-SE proeminentes nas subunidades 1, 2 e 3. Ainda para Mn, é interessante observar que, no levantamento de detalhe (subunidade 3), apesar de possuir concentrações de background semelhantes ao levantamento regional, registra-se um valor de contraste que atinge 9,1, o que é bastante significativo. O Fe possui suas maiores concentrações predominantemente na subunidade 2, onde apresenta aumento nos valores de background, o que, obviamente, é devido à composição química dos litotipos dessa subunidade.

Figura 68 – Mapa geoquímico unielementar de Cu para o levantamento regional.

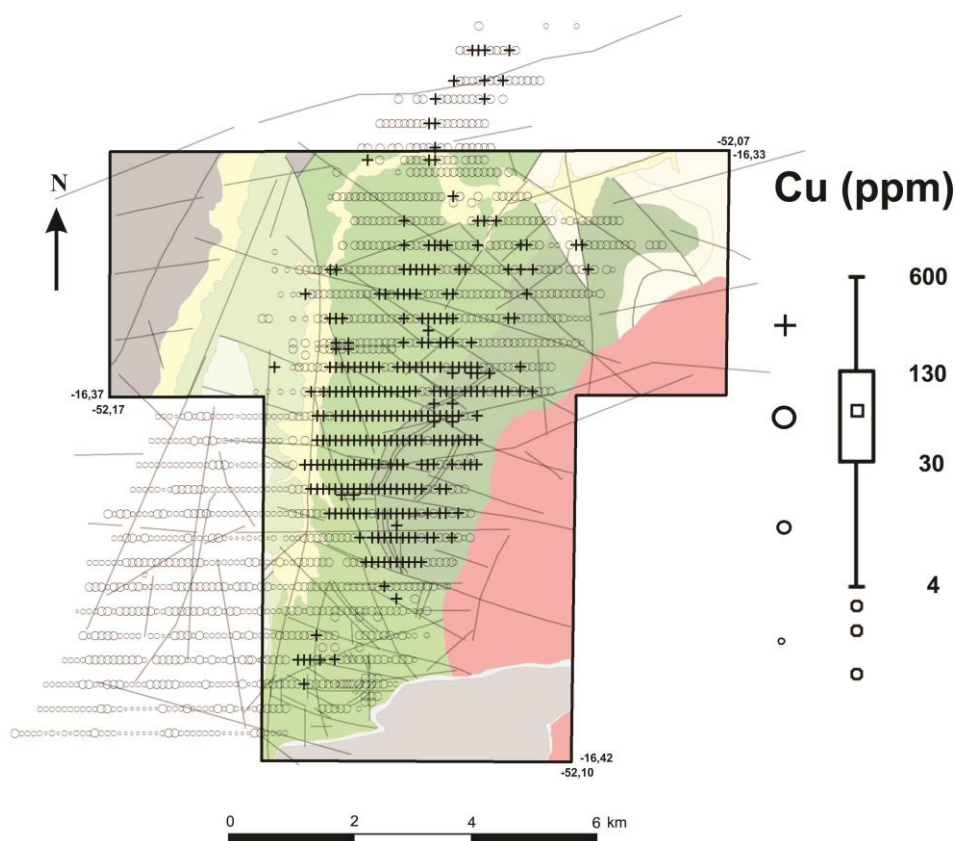


Figura 69 – Mapa geoquímico unielementar de Pb para o levantamento regional.

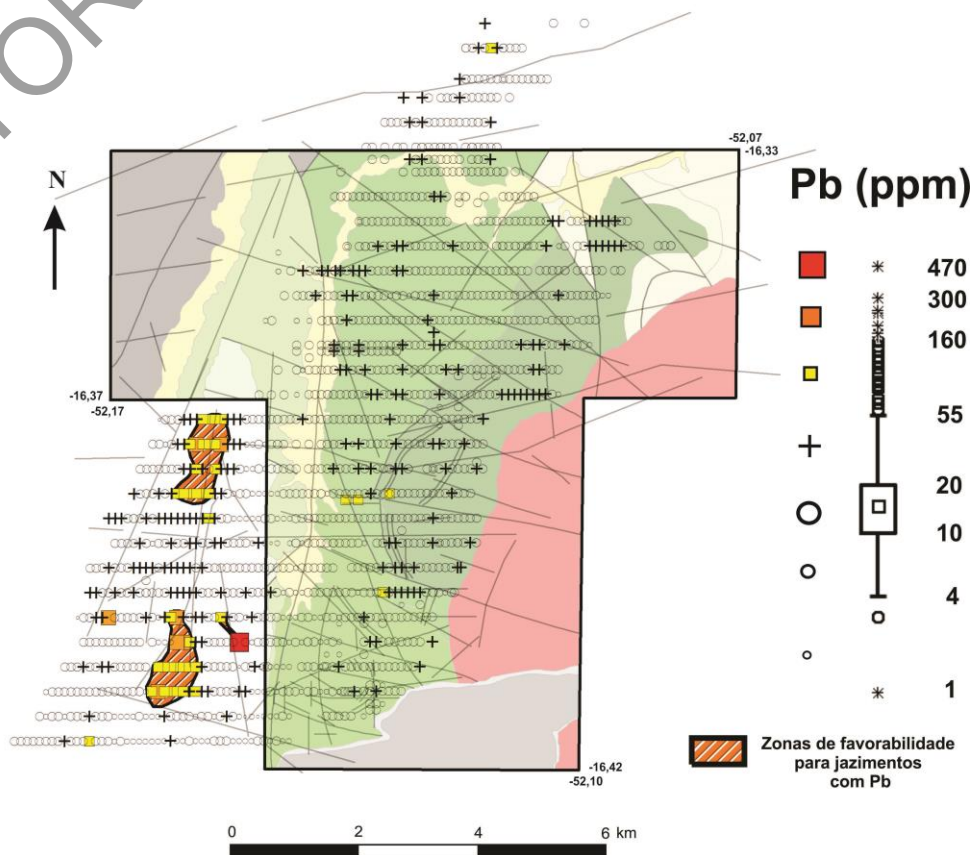


Figura 70 – Mapa geoquímico unielementar de Zn para o levantamento regional.

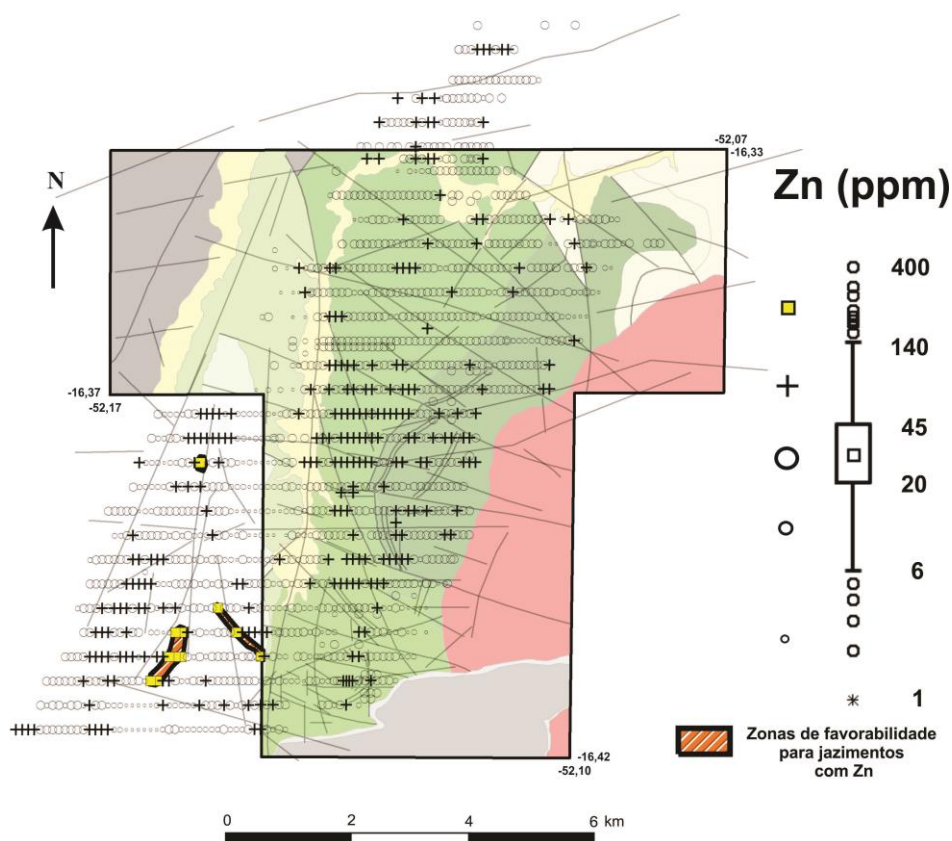


Figura 71 – Mapa geoquímico unielementar de Ni para o levantamento regional.

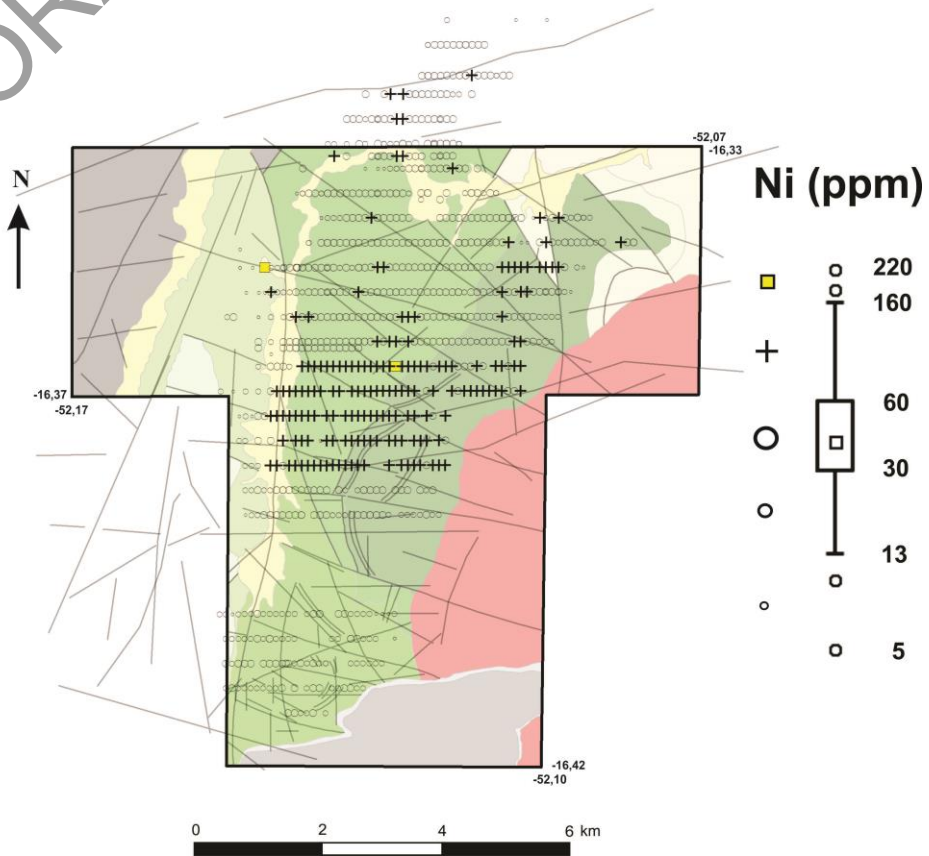


Figura 72 – Mapa geoquímico unielementar de Mn para o levantamento regional.

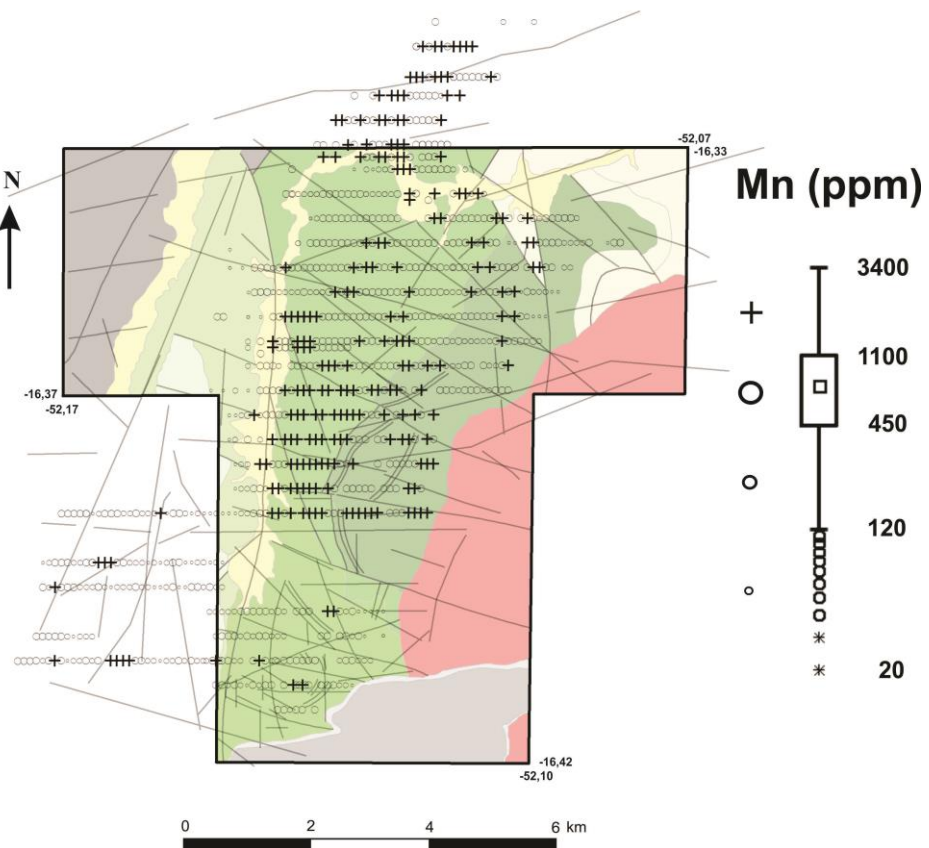


Figura 73 – Mapa geoquímico unielementar de Fe para o levantamento regional.

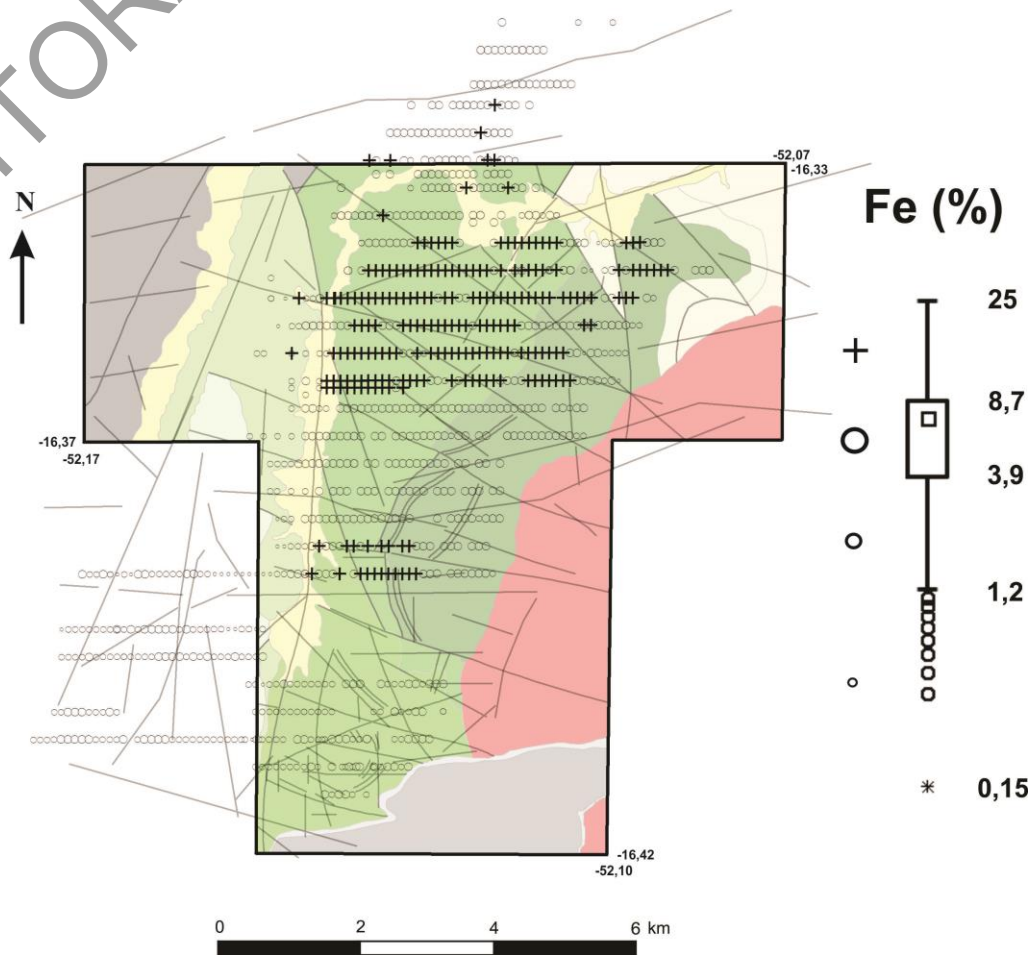


Figura 74 – Mapa geoquímico unielementar de Cu para o levantamento de detalhe.

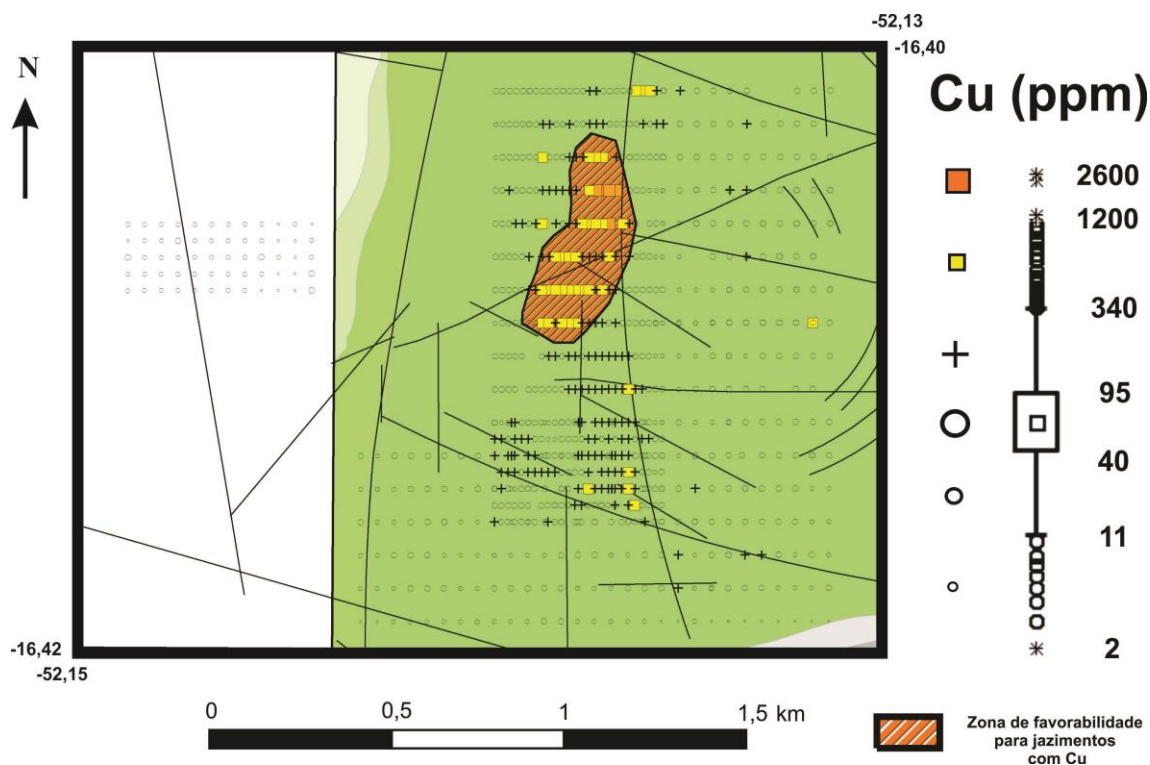


Figura 75 – Mapa geoquímico unielementar de Pb para o levantamento de detalhe.

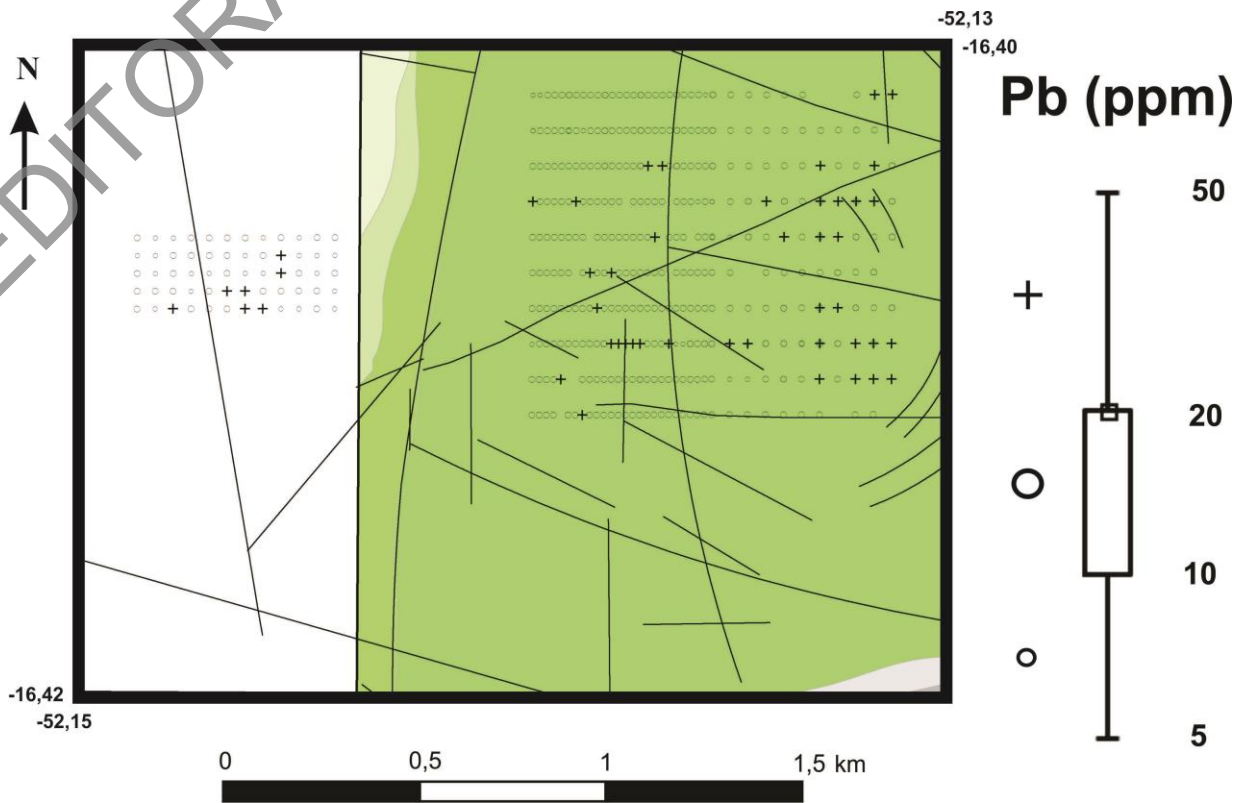


Figura 76 – Mapa geoquímico unielementar de Zn para o levantamento de detalhe.

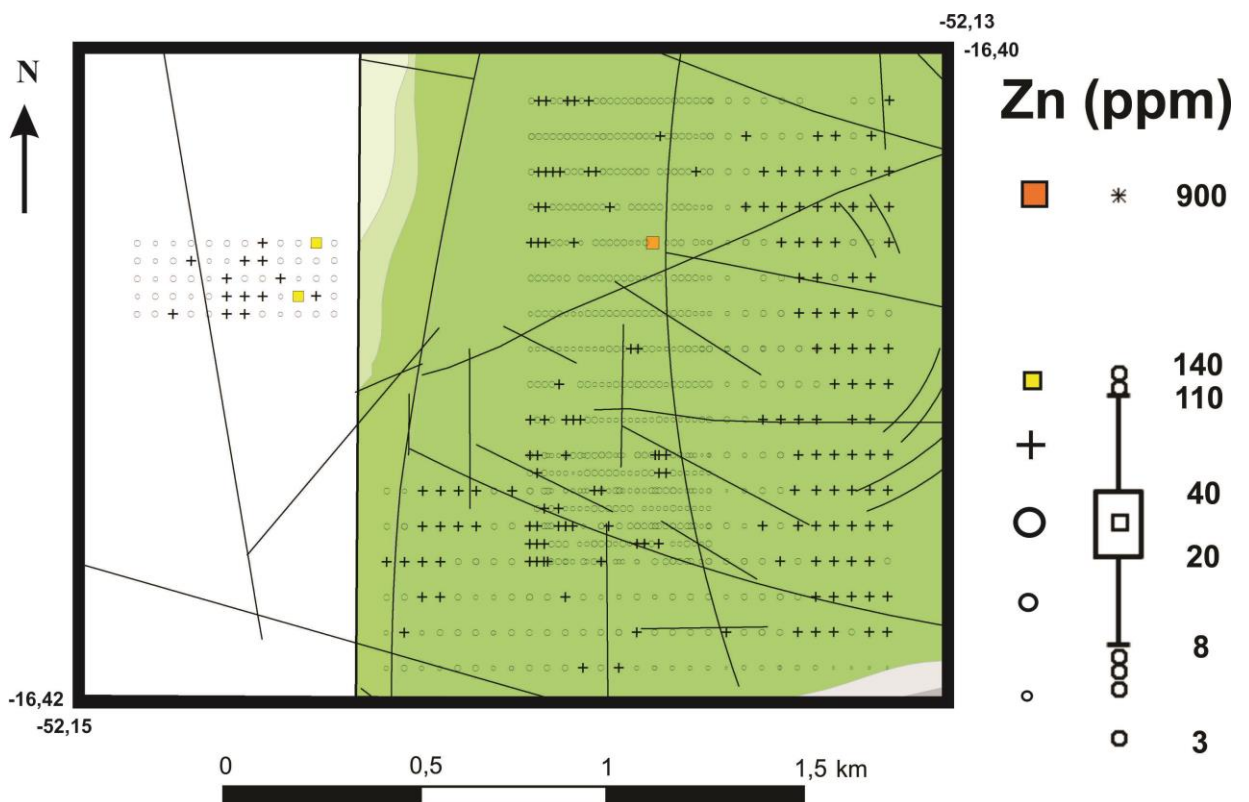


Figura 77 – Mapa geoquímico unielementar de Mn para o levantamento de detalhe.

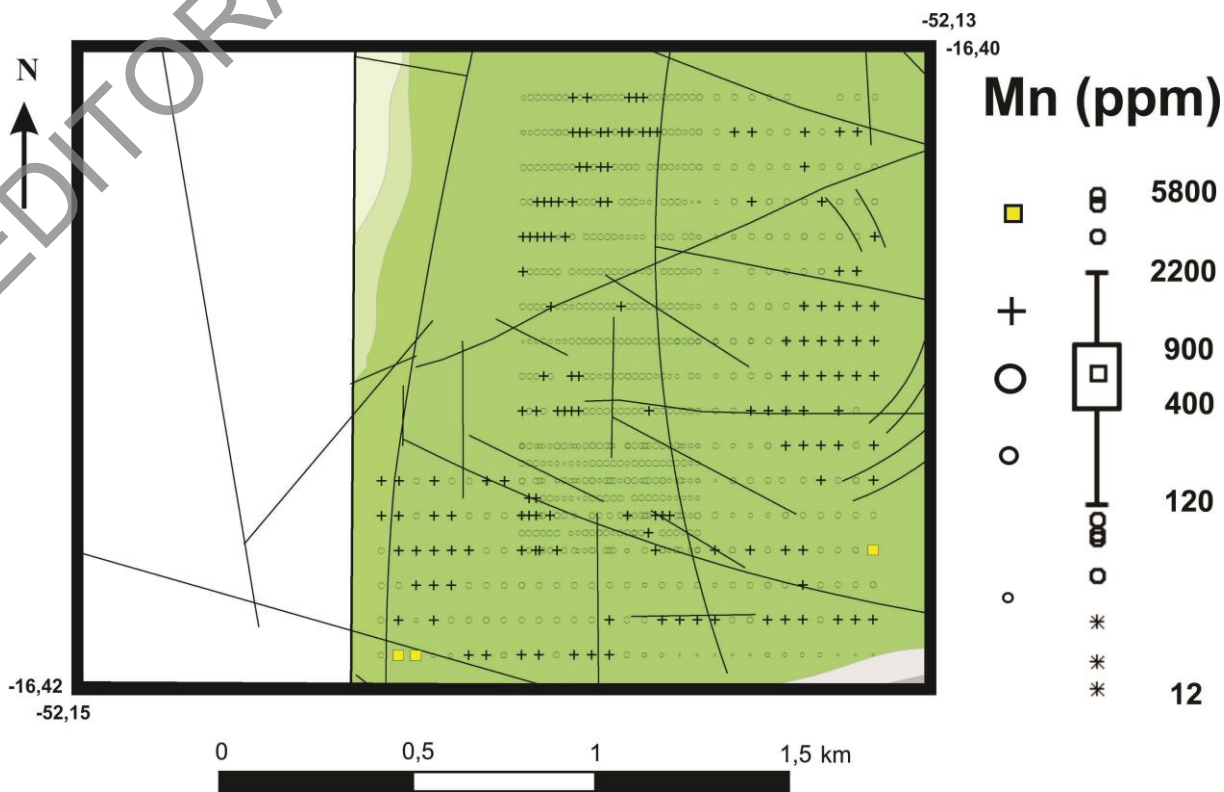
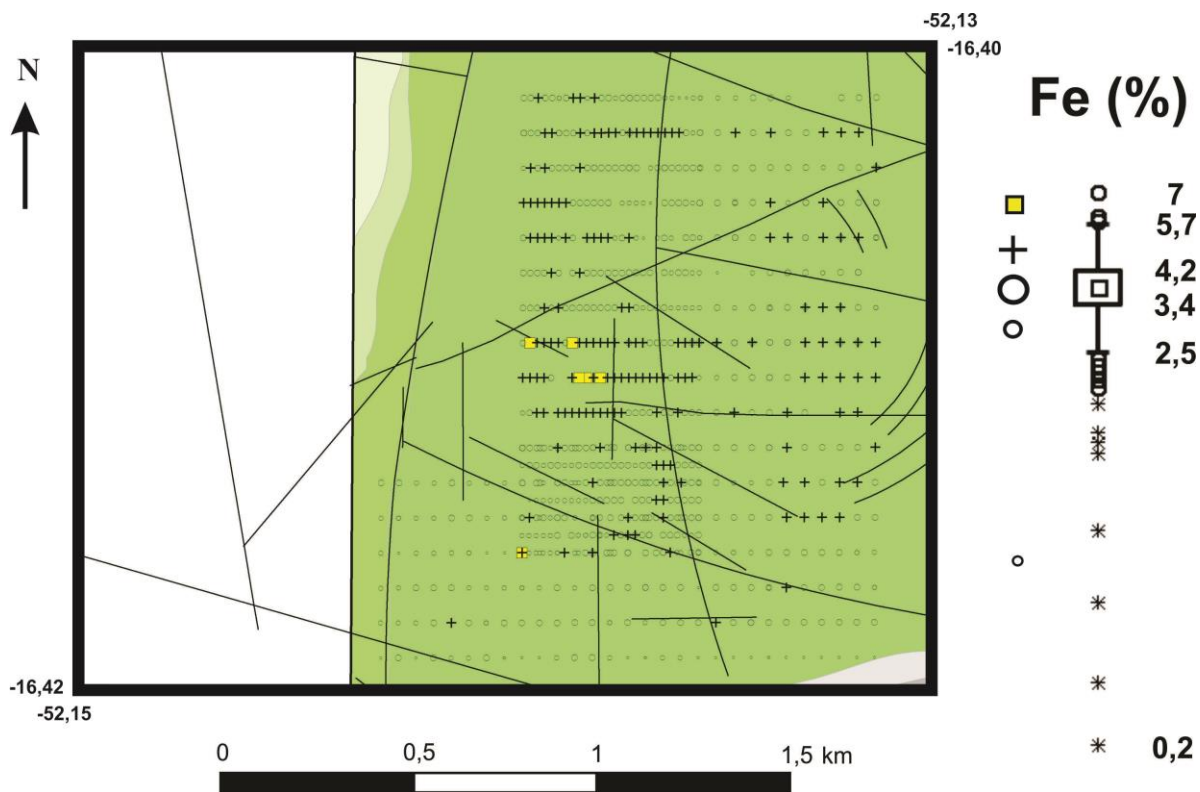


Figura 78 – Mapa geoquímico unielementar de Fe para o levantamento de detalhe.



Para corroborar essas hipóteses, uma análise de correlação de Spearman (análise estatística não paramétrica) (Tabela 3) foi utilizada para os elementos disponíveis no levantamento regional, mesmo que Ni, Mn e Fe tenham números de análises reduzidas em relação a Cu, Pb

e Zn. Ressalta-se que somente as amostras que possuíam análises de todos os elementos disponíveis foram utilizadas nessa análise, no caso, 872 amostras; para todos os elementos utilizados, as amostras consideradas anômalas foram retiradas para essa análise, com o intuito de não influenciar nos resultados; todas as variáveis foram log transformadas para essa análise. As melhores correlações entre os elementos analisados são apresentadas em gráficos de dispersão (Figura 79).

Tabela 3 – Matriz de correlação de Spearman para os elementos analisados no levantamento regional

	Cu (log)	Pb (log)	Zn (log)	Ni (log)	Mn (log)	Fe (log)
Cu (log)	-					
Pb (log)	0,14	-				
Zn (log)	0,68	0,37	-			
Ni (log)	0,69	0,32	0,61	-		
Mn (log)	0,65	0,14	0,65	0,52	-	
Fe (log)	0,59	0,16	0,24	0,39	0,40	-

(*) Os valores em vermelho representam correlações significantes a $p < 0,05$; $n = 872$.

Nota-se que o Cu possui valores de correlação significativos ($p < 0,05$) com Zn, Ni, Mn e Fe, fato esse verificado nos mapas unielementares na região de predominância das zonas de cisalhamento E-W/NW-SE. Em contrapartida, Pb não possui correlações significativas com qualquer outro elemento, sugerindo para esse metal uma fonte diferente de Cu e Zn ou processo metalogenético distinto. Entretanto, os teores mais elevados de Pb ocorrem na mesma região de maiores teores de Zn – as subunidades 4, 5 e 6. A boa correlação entre Cu e Fe corrobora a paragênese mineral sulfetada descrita no Alvo 01, onde Fe pode ocorrer como calcopirita (principal mineral-minério), pirita (sulfeto mais abundante) e pirrotita. As boas correlações de Mn com Cu, Zn e Ni podem, além de corroborar a hipótese de origem hidrotermal, confirmar a existência de processos supergênicos de adsorção e coprecipitação dos metais-base por óxidos-hidróxidos de Mn, que são uns dos principais carreadores de metais em ambiente supergênico (FAURE, 1998; KRAUSKOPF; BIRD, 1995; YARIV; CROSS, 1979).

A mesma análise de correlação de Spearman foi aplicada aos dados por subunidade geológica (Tabela 4). Entretanto, somente os dados de Cu, Pb e Zn foram utilizados, devido ao problema já elucidado, com relação ao número de amostras válidas, ou seja, somente Cu, Pb e Zn possuem análises em todas as estações de amostragem. Notam-se, em quase todas as subunidades, os bons valores de correlação entre Cu e Zn, o que corrobora a hipótese de mesma fonte para esses elementos. Contudo, verifica-se também boa correlação entre Pb e Zn nas subunidades 4, 5 e 6, o que não era destacado na correlação com os dados regionais, pois levava-se em consideração todas as subunidades. Outro fato a ser destacado é o aumento significativo da correlação entre Pb e Cu também nas subunidades 4, 5 e 6 (valor de 0,41) quando comparado às demais subunidades. Isso reforça a hipótese de que Pb tenha outra fonte hidrotermal ou outro processo metalogenético, como cogitado anteriormente. As melhores correlações entre os elementos analisados para o levantamento por subunidades são mostradas em gráficos de dispersão (Figura 80).

Figura 79 – Gráficos de dispersão das melhores correlações obtidas para o levantamento regional.

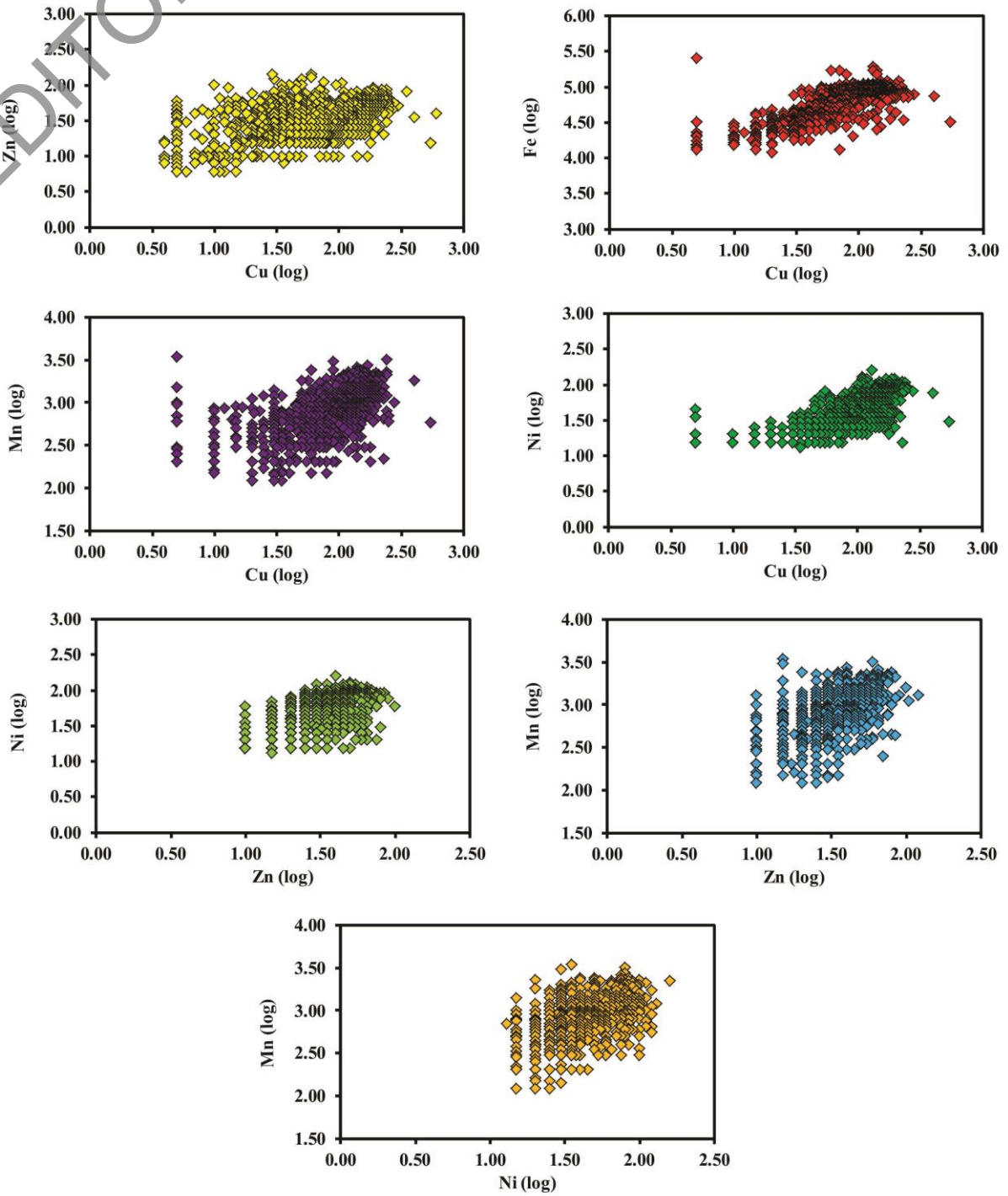
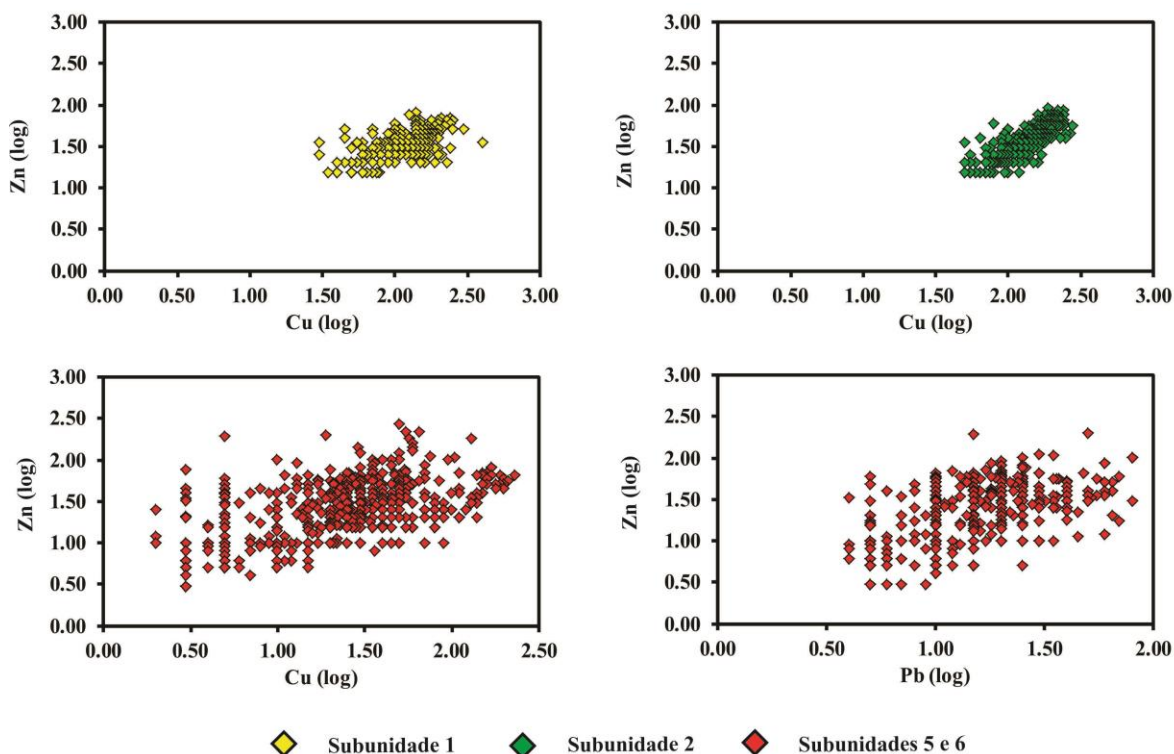


Tabela 4 – Matriz de correlação de Spearman para os elementos analisados no levantamento por subunidades

	Cu (log)	Pb (log)
Pb (log)	* - 0,06 ** 0,00 “ 0,04 “” 0,41	
Zn (log)	* 0,63 ** 0,81 “ 0,48 “” 0,58	* - 0,05 ** 0,22 “ 0,31 “” 0,59

Notas: Os valores em vermelho representam correlações significantes a $p < 0,05$. (*) Subunidade 1. (**) Subunidade 2. (“) Subunidade 3. (“”) Subunidades 4, 5 e 6.

Figura 80 – Gráficos de dispersão das melhores correlações obtidas para o levantamento por subunidades.



Para melhor apresentar a relação Pb e Zn em área, foi utilizada a análise fatorial (estatística multivariada), com o intuito de mostrar áreas com maior favorabilidade para possíveis jazimentos desses metais, ainda que o presente banco de dados não possua variáveis suficientes. Apenas as amostras coletadas nas subunidades 4, 5 e 6 foram consideradas, para não haver influência das demais unidades, as quais não apresentaram anomalias significativas de Pb e Zn. Para realização dessa análise estatística, os dados foram também log normalizados. Devido ao número reduzido de variáveis, essa análise mostrou algumas

restrições, tais quais não rotação de vetores, baixa comunalidade de variáveis (índice que mostra o quanto cada variável utilizada influi na variância do sistema; no presente caso, $r^2 = 0,39$, tanto para Pb como para Zn) e, obviamente, apenas um fator. Todavia, esse único fator mostrou correlações de 0,90 com Pb e Zn e grande porcentagem de influência desse fator sobre a variância de todo o sistema (81%). Essa análise gera escores do fator para cada estação amostrada, ou seja, representam o quanto o fator (que representa a associação geoquímica Pb-Zn) é significativo em cada estação. Portanto, por meio de escores do fator, é possível elaborar um mapa onde a associação geoquímica Pb-Zn possui maior significância e, por consequência, definir áreas de favorabilidade para jazimentos desses metais. Quanto maior o valor do escore no mapa, maior é a significância da associação Pb-Zn naquela área. A simbologia do mapa da associação geoquímica Pb-Zn foi elaborada do mesmo modo que os mapas unielementares, ou seja, baseada nos gráficos box plot.

Ao se observar o mapa do fator (Pb-Zn) (Figura 81), percebe-se que as áreas onde Pb e Zn apresentam anomalias geoquímicas nos mapas unielementares regionais (Figuras 91 a 93), assim como nos mapas unielementares das subunidades 4, 5 e 6 (Figuras 92 e 93), são coincidentes com os maiores valores dos escores do mapa da associação Pb-Zn, o que corrobora a boa execução da análise multivariada, mesmo com duas variáveis, e sua utilidade para a prospecção mineral, confirmando os alvos estabelecidos pelos mapas unielementares.

A distribuição da maioria dos elementos ora tratados possui importante relação com as estruturas mapeadas. As mais marcantes estruturas da área de estudo são o conjunto de falhas (zonas de cisalhamento) sinistrais de direção E-W/NW-SE que predominam nas subunidades 1, 2 e 3, que são interrompidas pelo lineamento de direção N-S, separando as subunidades 2 e 3 das subunidades 4, 5 e 6. Verifica-se que Cu, Mn, Fe, Ni, e, parcialmente, Zn, possuem concentrações significativas ao longo do conjunto de falhas E-W/NW-SE e diminuem bruscamente suas concentrações ao atingirem o lineamento N-S, mostrando grande controle ou, no mínimo, grande influência das estruturas regionais sobre o comportamento desses elementos. A disposição predominante N-S dos possíveis alvos mostrados para Pb e Zn nas subunidades 4, 5 e 6 pode apontar um controle estrutural por subestruturas condicionadas ao grande lineamento N-S, como mostrado nos mapas. Contudo, é preciso maior detalhe naquela área por parte do mapeamento geológico para corroborar tal hipótese.

Figura 81 – Mapa de associação geoquímica de Pb-Zn extraído da análise fatorial para as amostras das subunidades 4, 5 e 6 (área destacada em vermelho no mapa geológico).

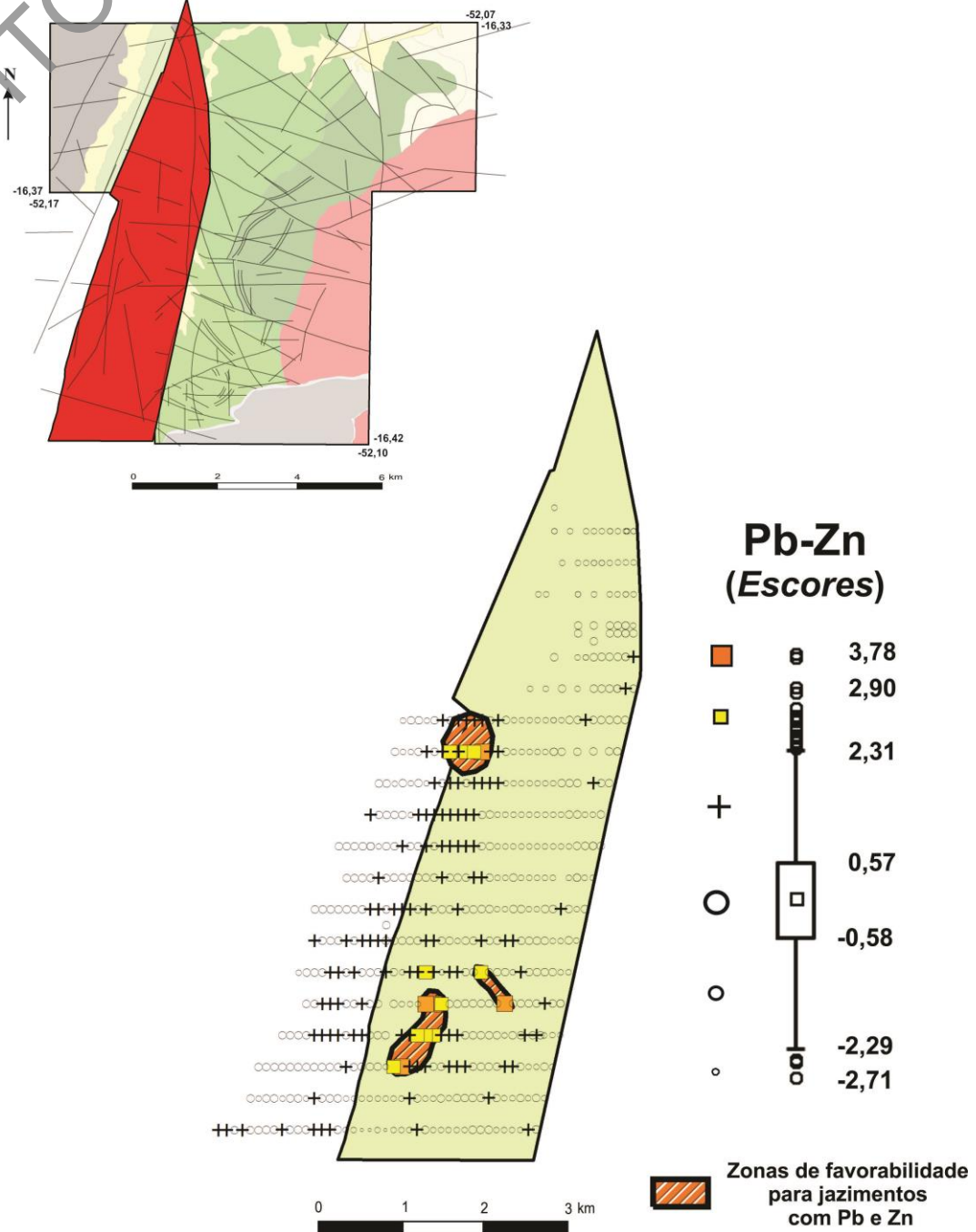


Figura 82 – Mapa geoquímico unielementar de Cu para a subunidade 1 (destacada em hachuras no mapa geológico).

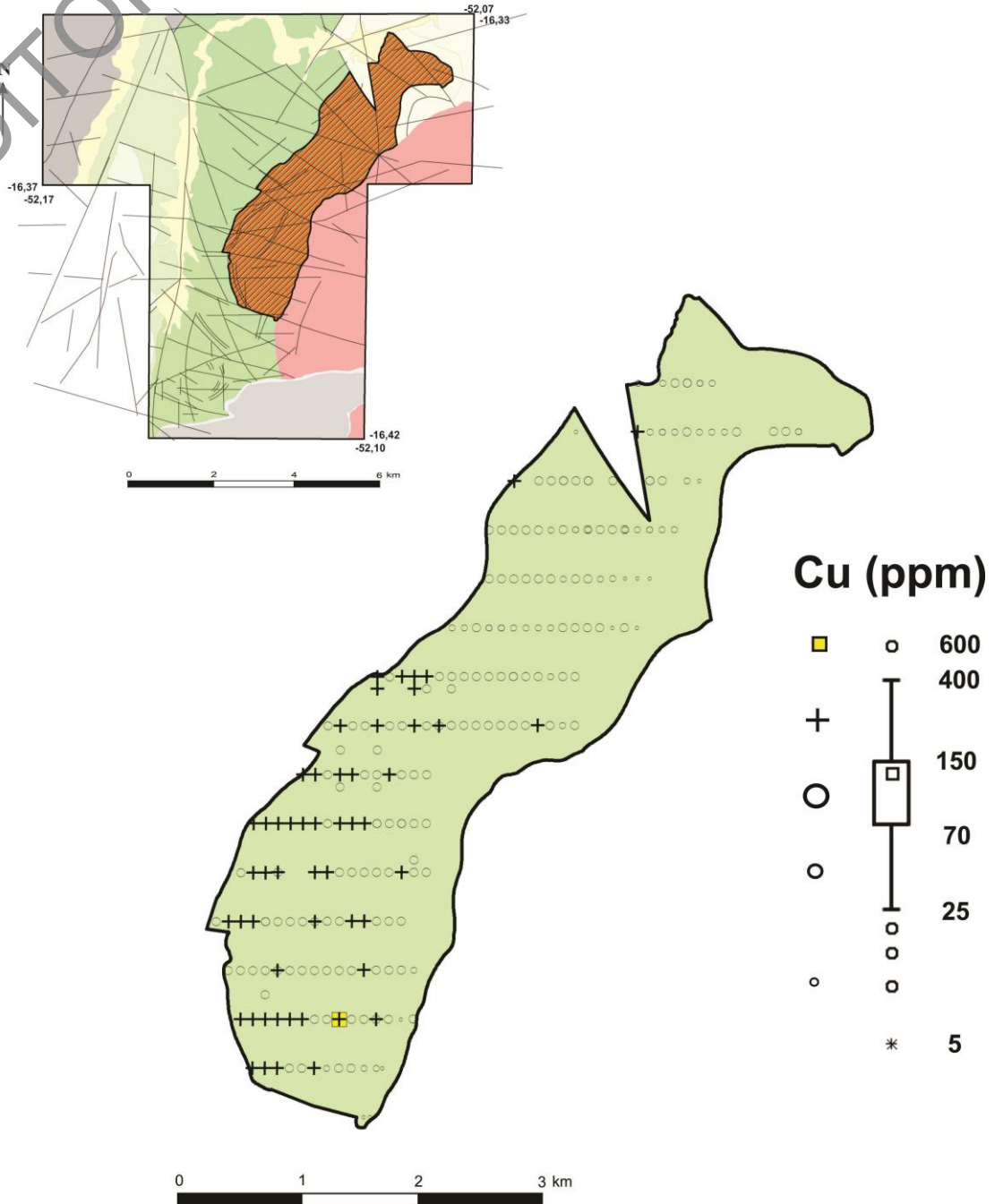


Figura 83 – Mapa geoquímico unielementar de Pb para a subunidade 1 (destacada em hachuras no mapa geológico).

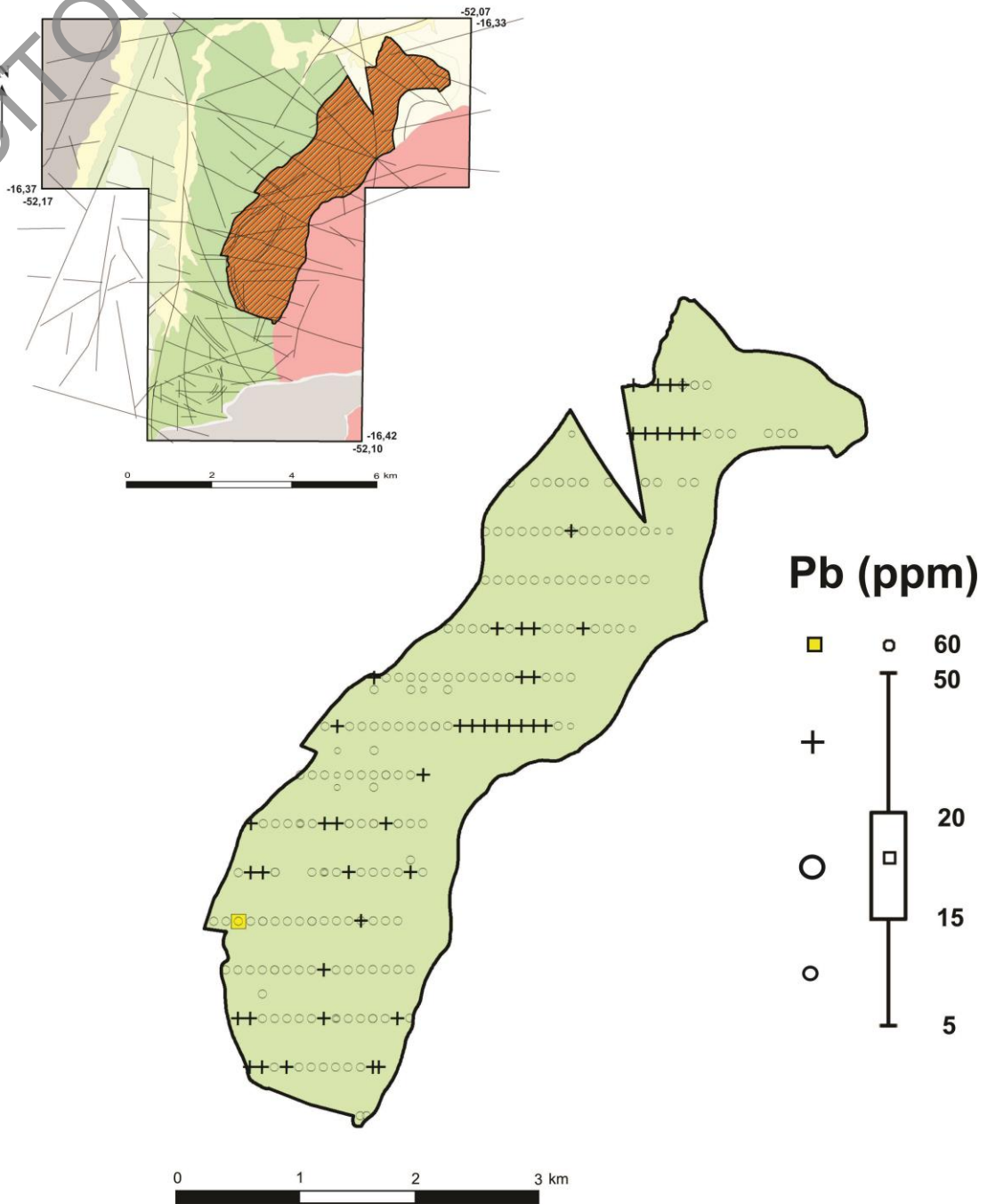


Figura 84 – Mapa geoquímico unielementar de Zn para a subunidade 1 (destacada em hachuras no mapa geológico).

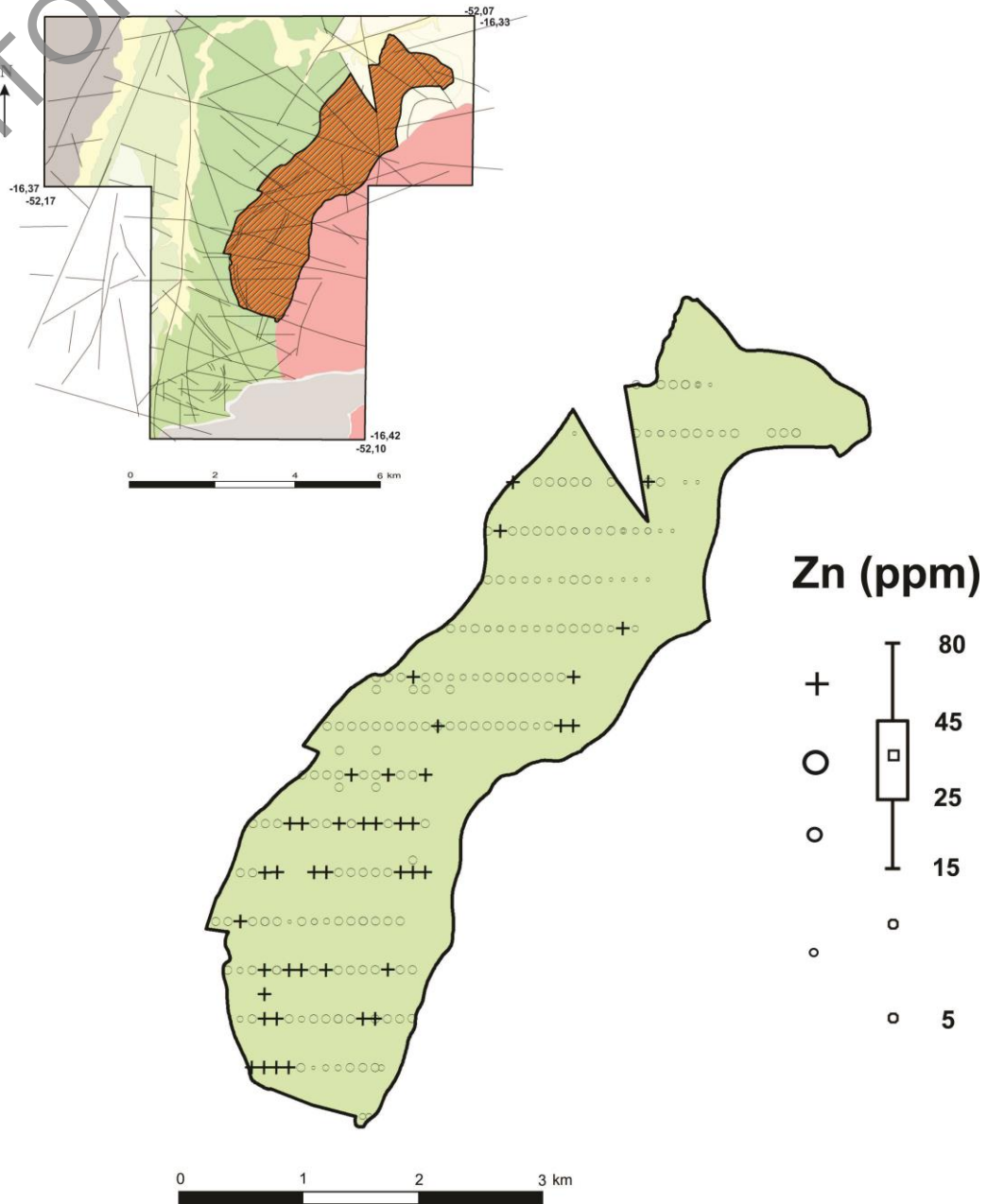


Figura 85 – Mapa geoquímico unielementar de Cu para a subunidade 2 (destacada em na churas no mapa geológico).

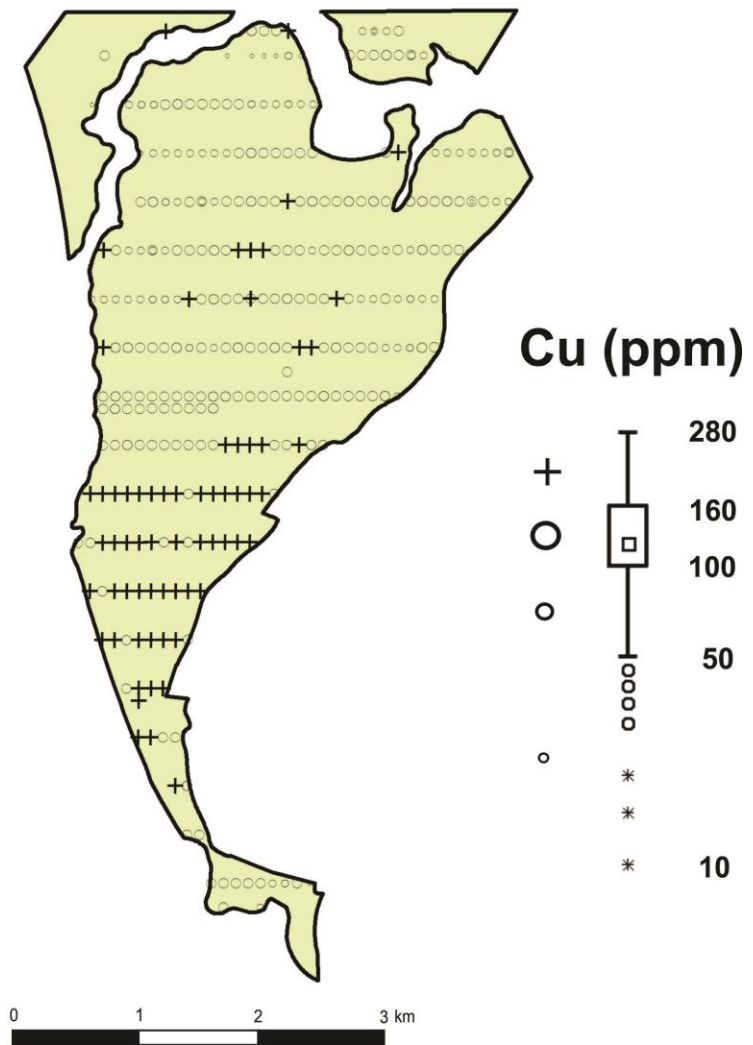
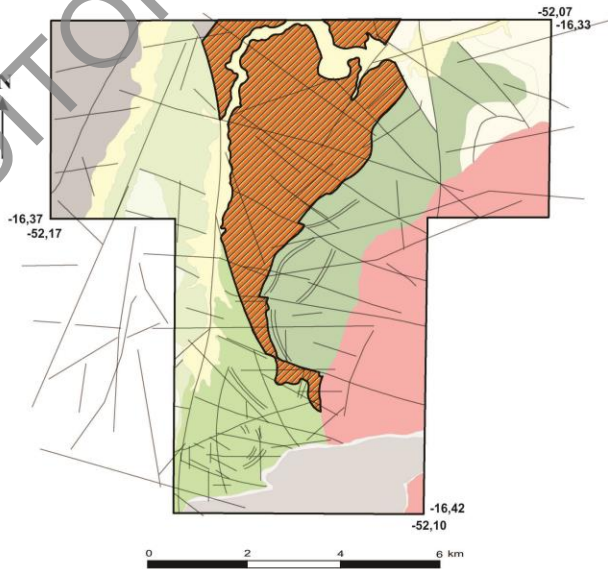


Figura 86 – Mapa geoquímico unielementar de Pb para a subunidade 2 (destacada em na churas no mapa geológico).

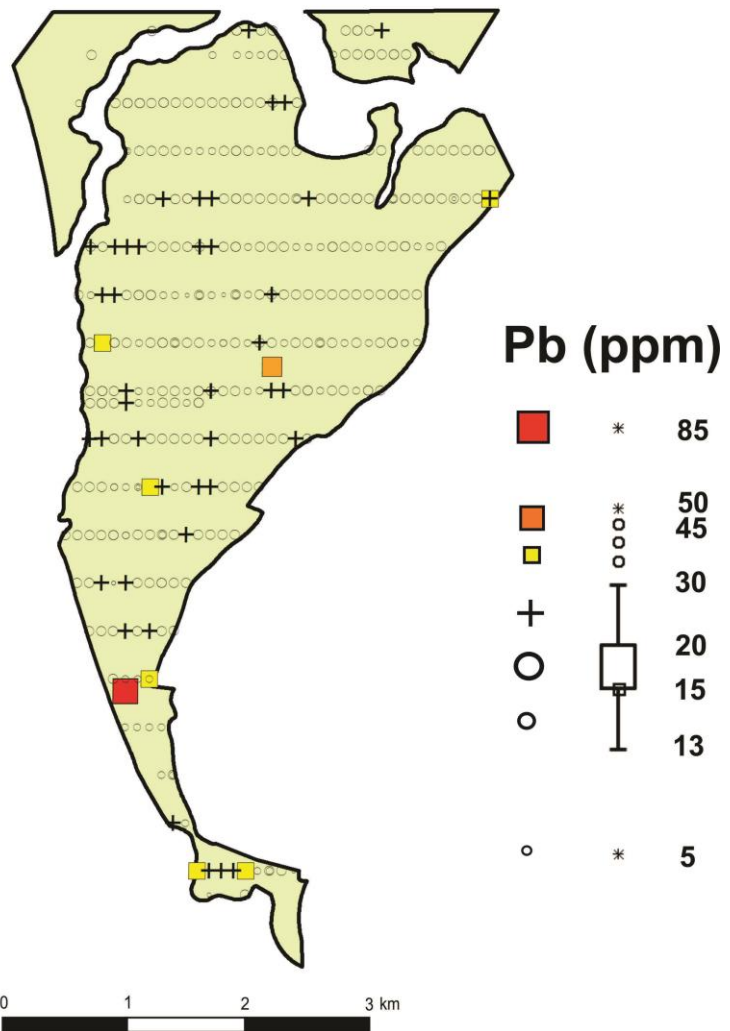
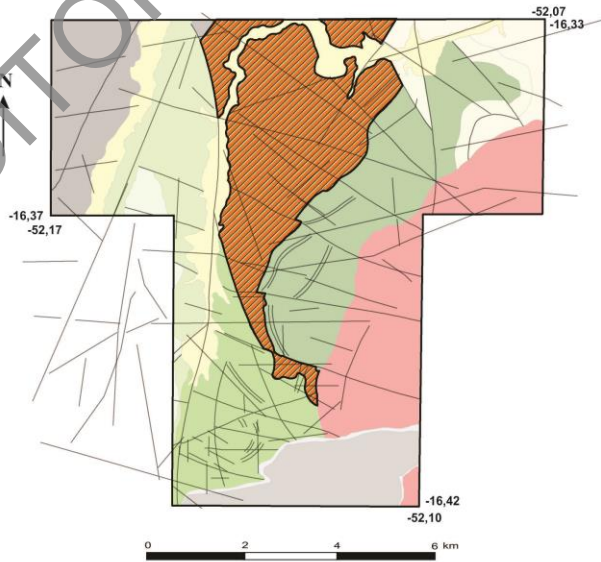


Figura 87 – Mapa geoquímico unielementar de Zn para a subunidade 2 (destacada em hachuras no mapa geológico).

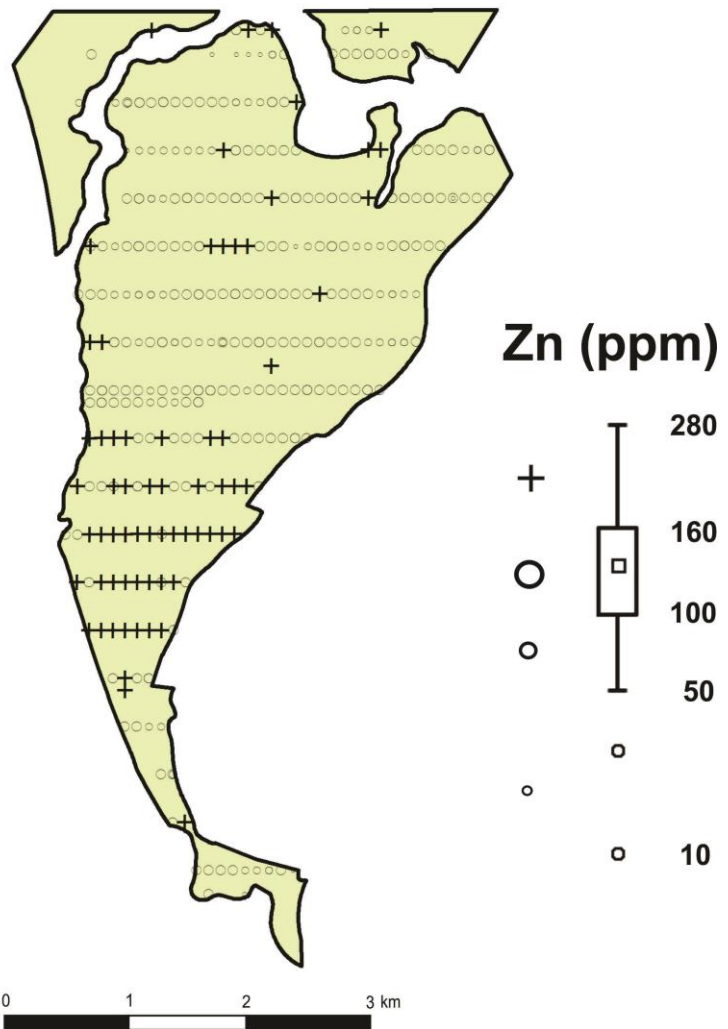
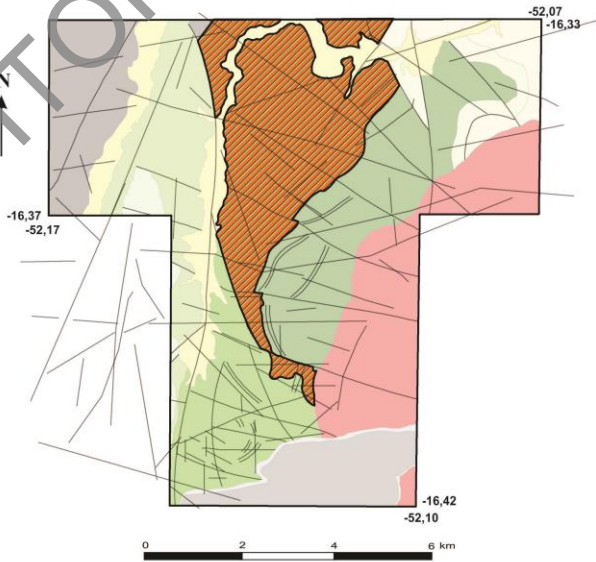


Figura 88 – Mapa geoquímico unielementar de Cu para a subunidade 3 (destacada em hachuras no mapa geológico).

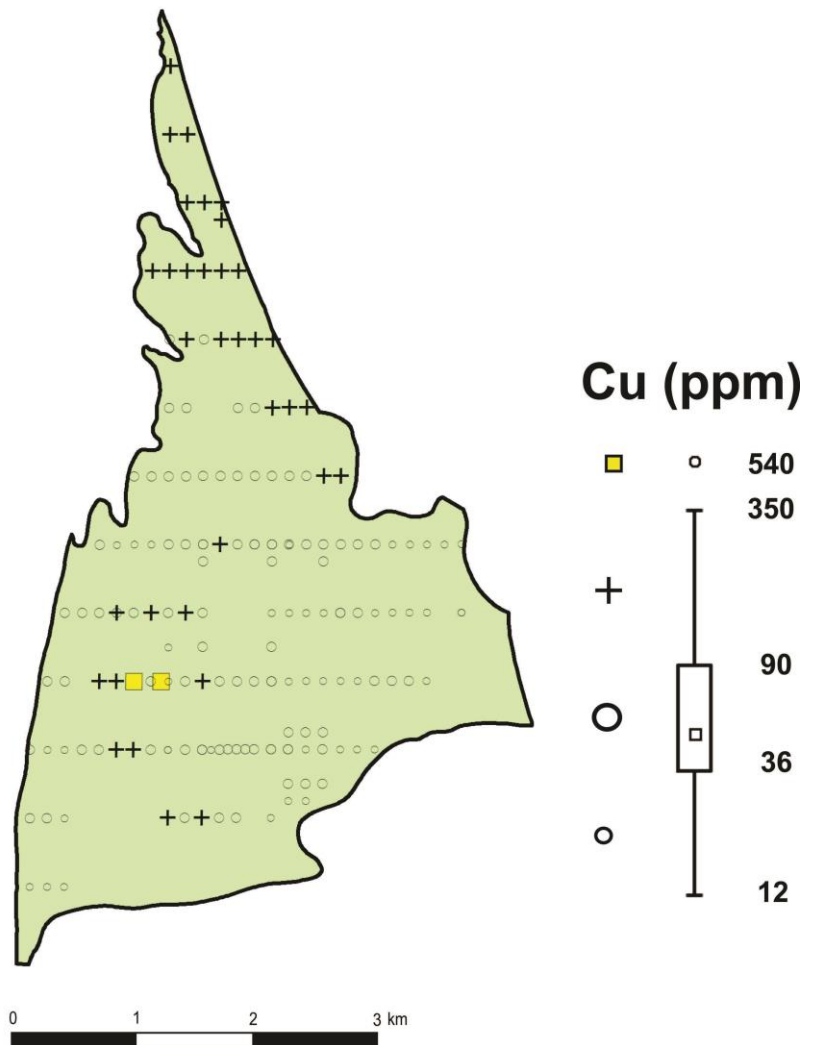
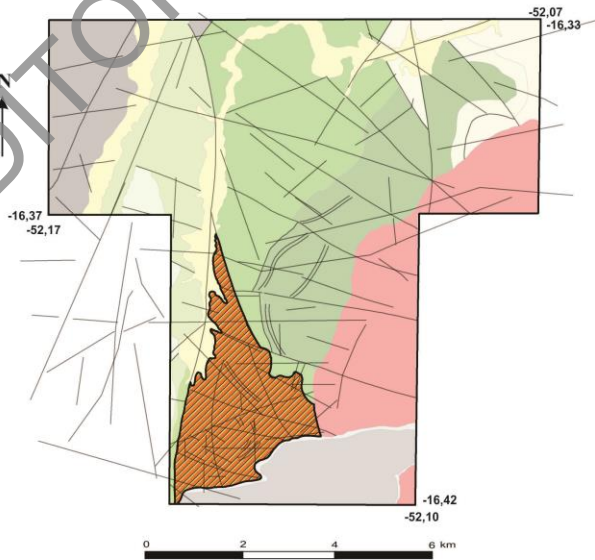
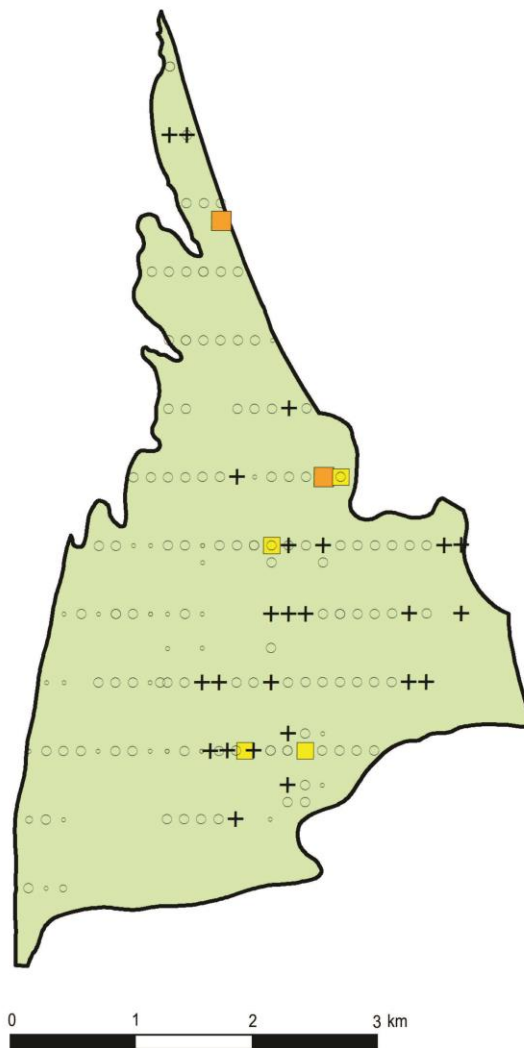
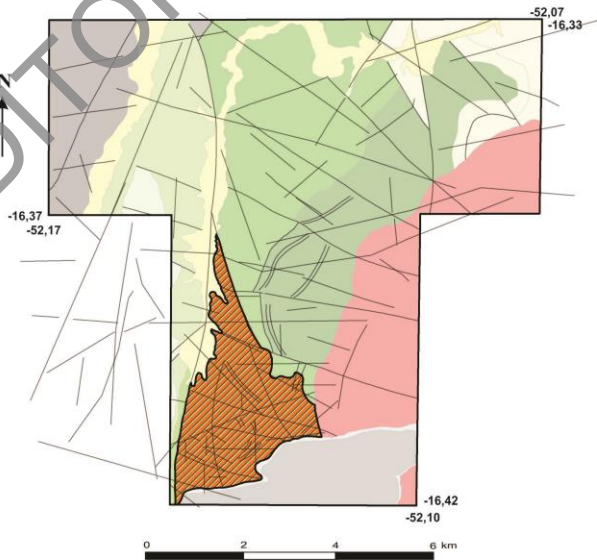


Figura 89 – Mapa geoquímico unielementar de Pb para a subunidade 3 (destacada em hachuras no mapa geológico).



Pb (ppm)

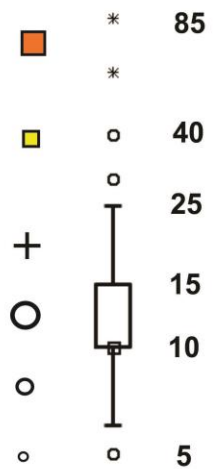


Figura 90 – Mapa geoquímico unielementar de Zn para a subunidade 3 (destacada em hachuras no mapa geológico).

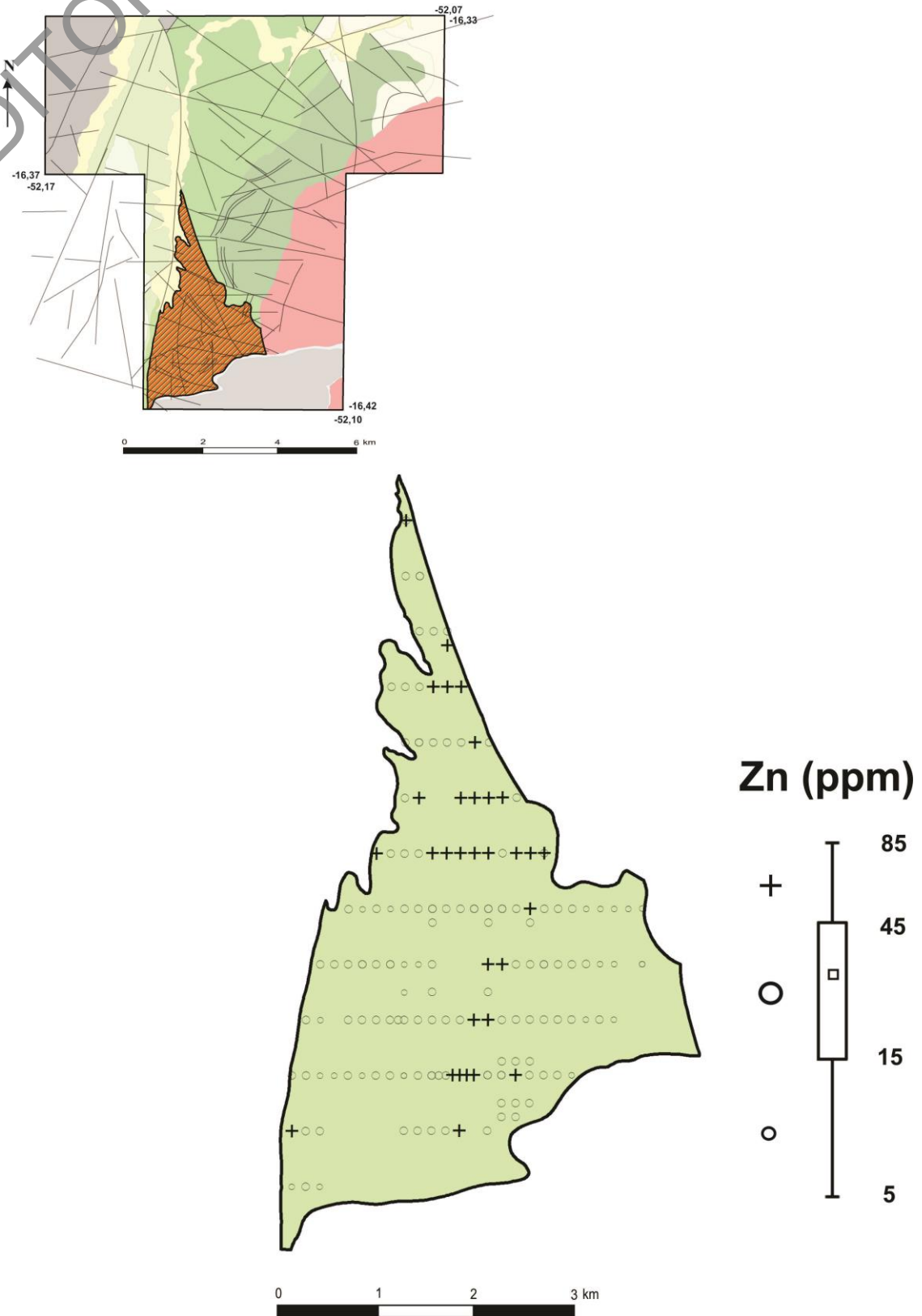


Figura 91 – Mapa geoquímico unielementar de Cu para as subunidades 4, 5 e 6 (destacadas em hachuras no mapa geológico).

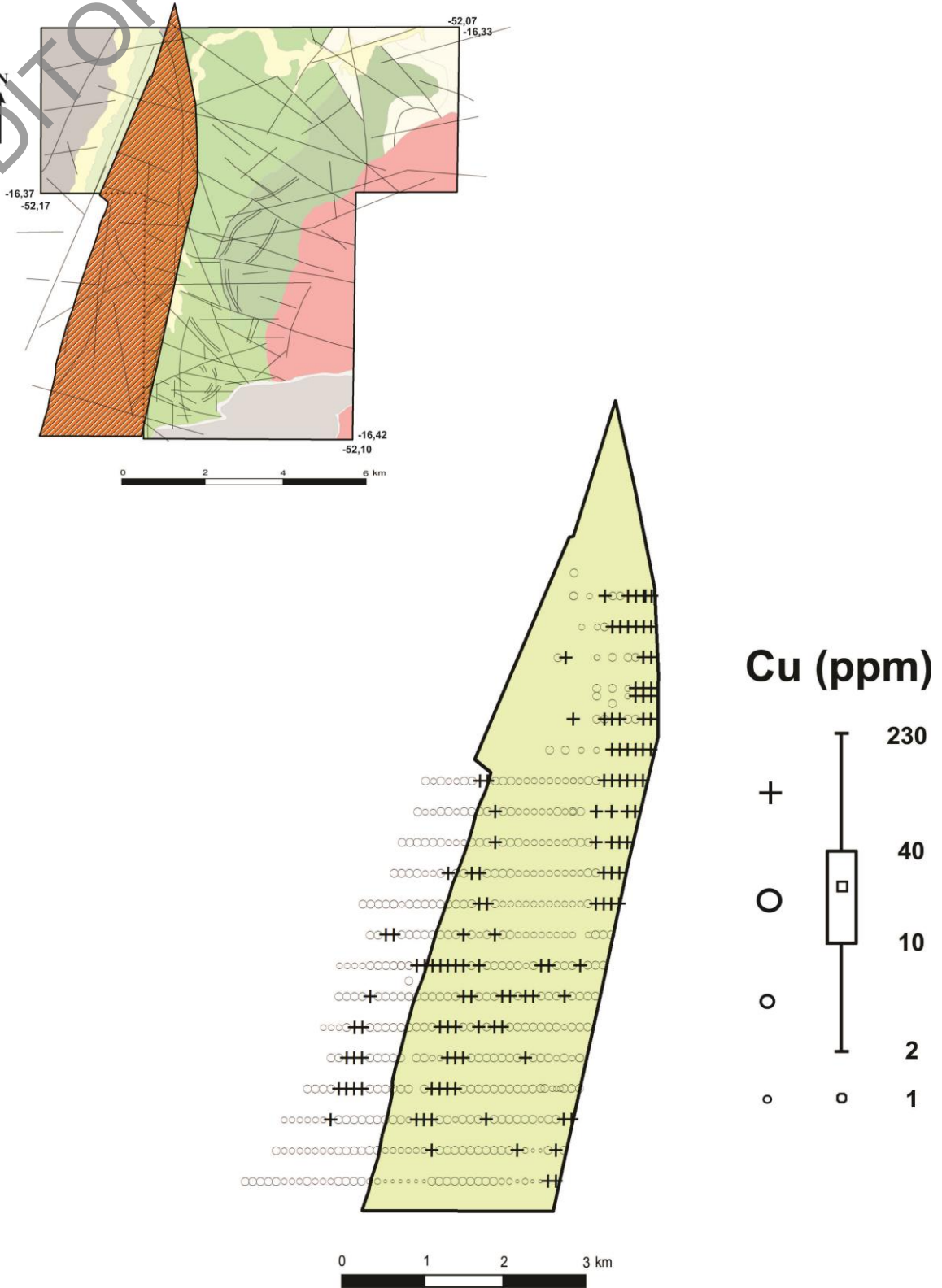


Figura 92 – Mapa geoquímico unielementar de Pb para as subunidades 4, 5 e 6 (destacadas em hachuras no mapa geológico).

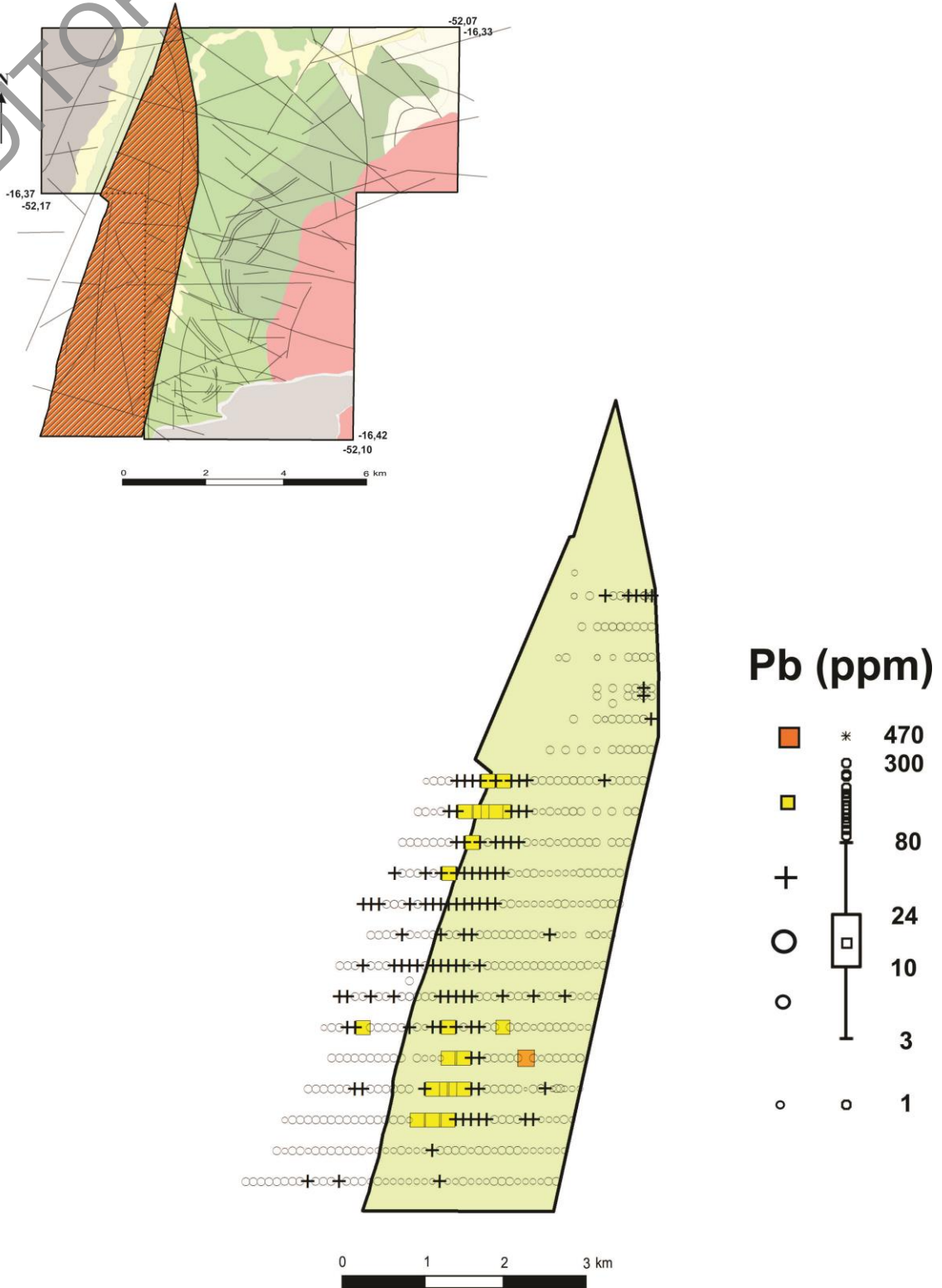
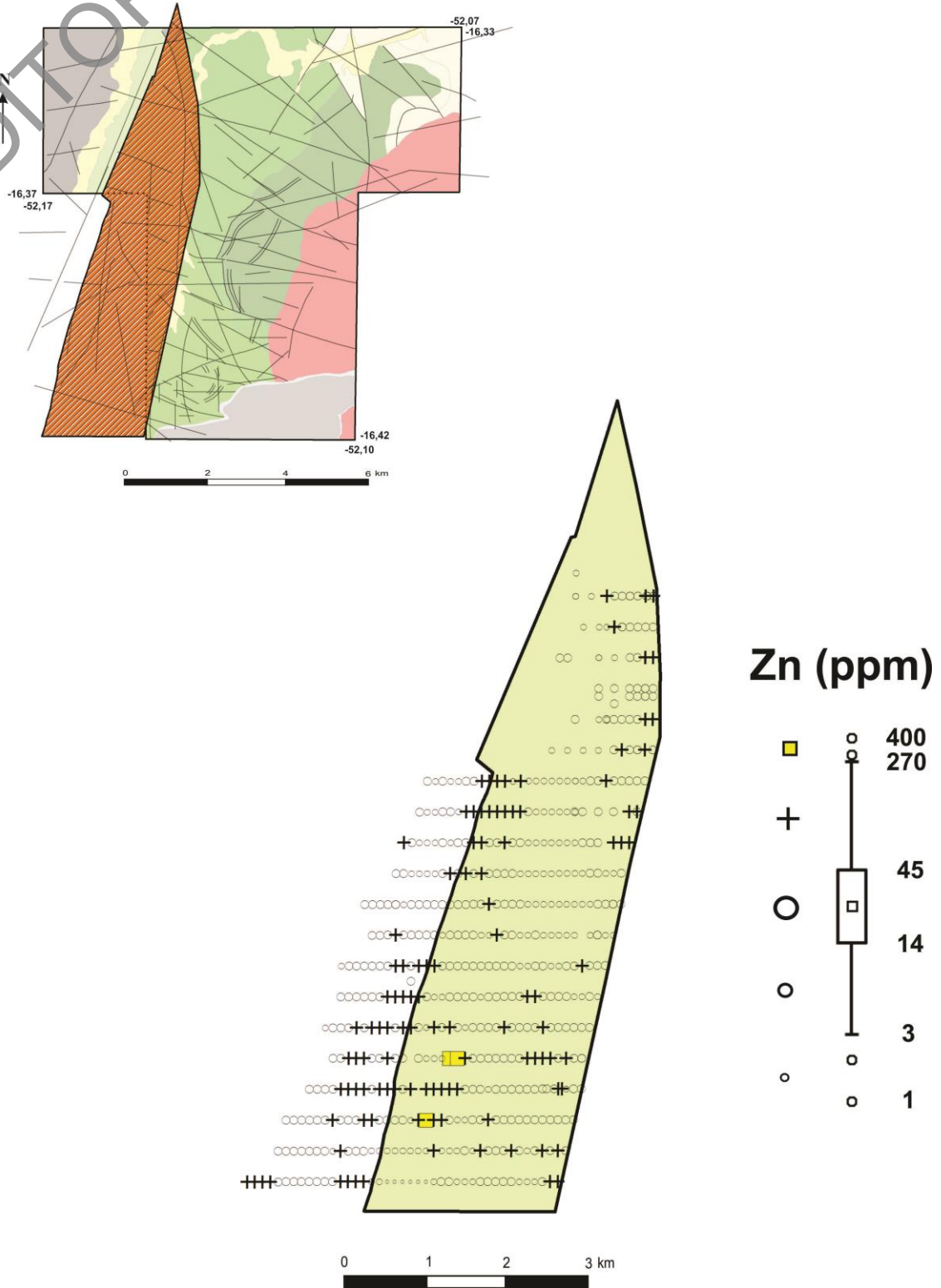


Figura 93 – Mapa geoquímico unielementar de Zn para as subunidades 4, 5 e 6 (destacadas em hachuras no mapa geológico).



12 ANÁLISES E QA/QC

12.1 ENSAIOS DE DENSIDADE

Nos trabalhos realizados na década de 1970, não foram executados ensaios de densidade. Portanto, estes foram realizados em maio de 2014 pelos técnicos da Litoteca Regional de Caeté sob a supervisão do geólogo Jonathan Rojas.

Procedeu-se à seleção das amostras para os ensaios de forma a se distribuir, aproximadamente, a mesma quantidade de amostras por faixa de teor (Quadro 14) e selecionar amostras de diferentes furos (19 furos amostras para densidade). Assim, foram selecionadas 305 amostras das 4.078 amostras originais, ou seja, 7,5% do suporte amostral.

Quadro 14 – Distribuição das amostras selecionadas para ensaios de densidade

Faixas de Teores (Cu%)	Quantidade de Amostras
< 0.04	30
0.04 a 0.08	30
0.08 a 0.12	30
0.12 a 0.20	30
0.20 a 0.40	78
0.40 a 0.80	58
> 0.8	49
Total	305

12.1.1 Metodologia

Os procedimentos realizados nos ensaios de densidade foram baseados na norma C 914-95: Standard Test Method for Bulk and Volume of Solid Refractories by Wax Immersion da American Society for Testing and Materials (ASTM, 2004), cujas etapas são descritas a seguir.

a) Coleta da amostra

Buscou-se selecionar a amostra mais representativa de todo o intervalo indicado pelo geólogo. O material coletado foi identificado com um marcador permanente, assim como o local de onde foi tomada a amostra, para depois retorná-lo, dentro de um saco plástico identificado, ao mesmo intervalo na caixa de testemunhos.

b) Determinação da massa in natura (W)

Após a coleta, as amostras foram pesadas na balança semianalítica Bk 8000. Antes da pesagem, a balança foi calibrada, nivelada e ligada com 30 minutos de antecedência, respeitando-se o tempo de aquecimento do equipamento. Os resultados obtidos nessa etapa foram registrados como W para o cálculo de densidade.

c) Secagem do material

A secagem foi realizada em apenas algumas amostras, para se observar a diferença relativa entre a massa da amostra natural e a da amostra seca. Como nesses testes não houve diferença entre as massas, decidiu-se não realizar esse processo no restante das amostras. Para esses testes, colocou-se o material na estufa (marca Nova Ética), com temperatura de 105 a 110°C por um tempo mínimo de quatro horas. Retirou-se o testemunho da estufa e deixou-o esfriar durante cinco minutos. Em seguida, pesou-se a amostra. Como não houve diferença entre a

massa original e a massa seca, não foi necessário voltar com o material para a estufa e repetir os procedimentos. Caso a diferença tivesse sido maior do que 0,1%, seria preciso retornar a amostra à estufa por mais 1-2 horas e depois pesá-la novamente; esses procedimentos devem ser repetidos até se obter a massa constante.

d) Impermeabilização

As amostras foram revestidas com filme PVC para impermeabilizá-las.

e) Determinação da massa com PVC

As amostras revestidas com PVC tiveram de ser novamente pesadas, devido ao acréscimo de massa do revestimento. Essa pesagem foi executada da mesma maneira que a determinação de massa in natura.

f) Determinação da massa imersa (S)

Após a medição das massas das amostras revestidas, realizou-se a medição da massa imersa em água. Para tal, adaptaram-se os ganchos e o cesto na saída inferior da balança. Colocou-se água limpa no recipiente plástico, na parte inferior da plataforma, sob a balança. Ao final, a balança foi tarada com o cesto já imerso na água. Para medição da massa imersa colocou-se o material revestido em PVC cuidadosamente dentro do cesto já imerso na água e, depois, registrou-se o valor indicado na balança (S). Os resultados obtidos nessa etapa foram registrados como S para o cálculo de densidade.

g) Cálculo de densidade

O cálculo foi realizado de acordo com a fórmula:

$$\text{Densidade (g/cm}^3\text{)} = \frac{W}{W - S}$$

12.1.2 Resultados

Somente foi possível realizar os ensaios de 191 amostras, devido à falta de alguns intervalos dos furos (Quadro 15).

Quadro 15 – Distribuição das amostras submetidas a ensaios de densidade

Faixas de Teores (Cu%)	Quantidade de Amostras
< 0.04	21
0.04 a 0.08	18
0.08 a 0.12	19
0.12 a 0.20	23
0.20 a 0.40	48
0.40 a 0.80	29
> 0.8	33
Total	191

Os resultados obtidos apresentaram valor mínimo de 2,060 g/cm³, valor máximo de 3,89 g/cm³ e média de 2,54 g/cm³ (Figura 94).

Procedeu-se a estudos estatísticos para validar a aderência dos resultados obtidos com os resultados esperados para as faixas de teor. Quanto maior o teor, maior a densidade da

amostra, devido à alta densidade dos minerais-minério, como calcopirita (4,1-4,3 g/cm³). Porém, na maioria dos casos não se observou essa relação entre densidade e teor da amostra, como mostra o scatter plot (Figura 95). Isso pode ser explicado pela presença de veios de quartzo (2,65 g/cm³) em algumas amostras de alto teor. No entanto, a alta heterogeneidade dos intervalos amostrais originais também pode ter influenciado esses resultados, além da baixa confiabilidade dos intervalos dos testemunhos dentro das caixas atualmente.

Figura 94 – Histograma de 191 amostras com resultados de densidade.

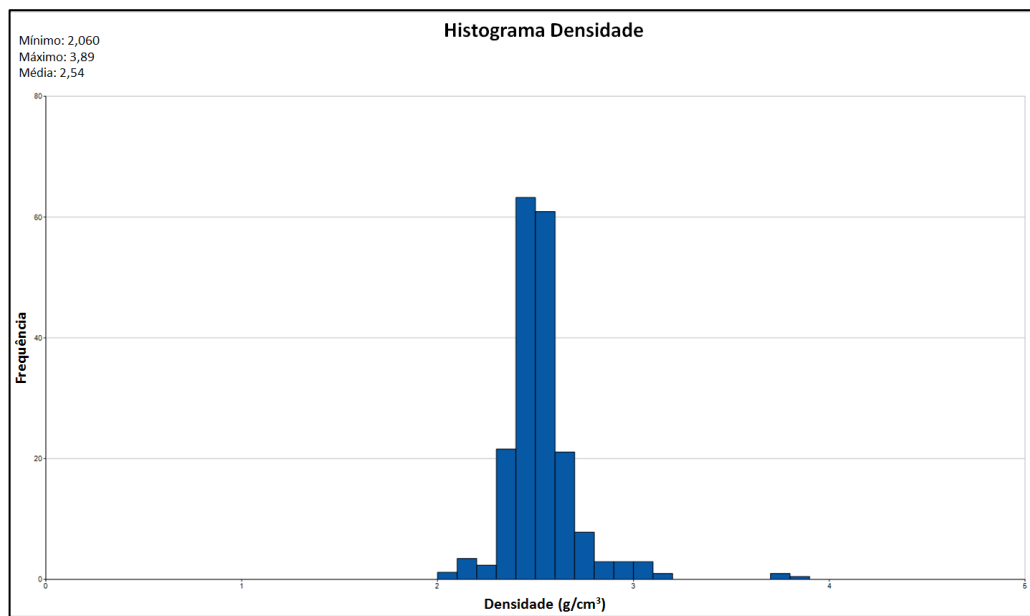
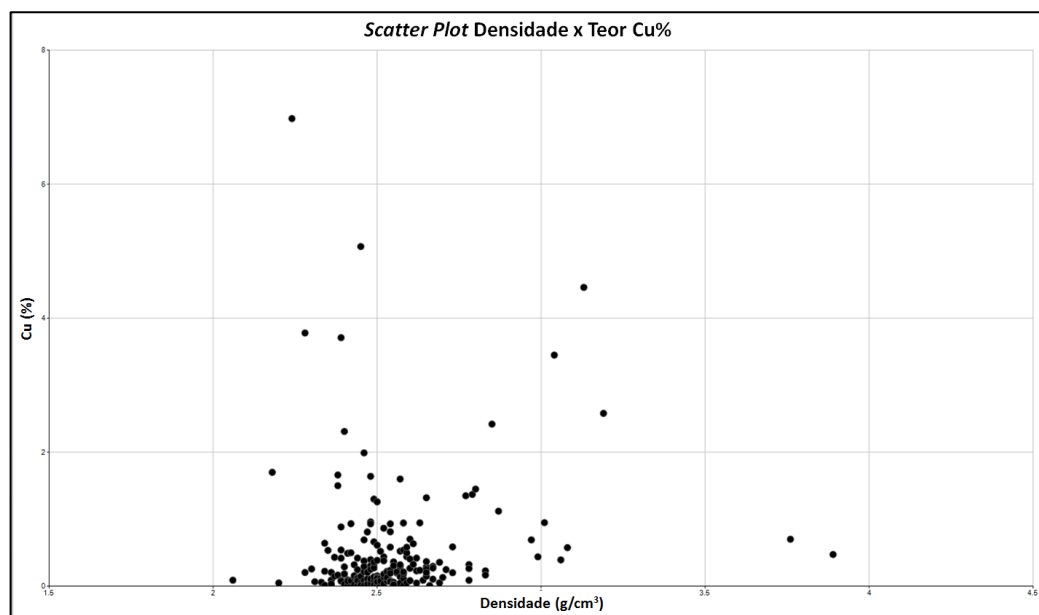


Figura 95 – Scatter plot mostrando a distribuição de 191 valores de densidade por teor.



12.2 REANÁLISES

Quando o Projeto Bom Jardim foi executado na década de 1970, não era prática a realização de procedimentos de Quality Assurance/Quality Control (QA/QC). Portanto, julgou-se importante para a reavaliação desse depósito reanalisar-se parte dessas amostras com ferramentas de controle inseridas nos lotes de reenvios, de forma a comparar a qualidade

analítica das amostras analisadas àquela época com as do reenvio. Nesse contexto, foram selecionadas 1.074 amostras para reanálise com base nas polpas que estavam disponíveis na Litoteca Regional de Caeté (Quadro 16).

Quadro 16 – Amostras de controle das análises químicas dos testemunhos de sondagem

Amostra	Quantidade	Método Analítico	Quantidade
Reanálise	1074	ICP-MS e <i>Fire Assay</i>	1044
		ICP-MS, <i>Fire Assay</i> e Absorção Atômica	30
Duplicata	54	ICP-MS e <i>Fire Assay</i>	51
		ICP-MS, <i>Fire Assay</i> e Absorção Atômica	3
Padrão	54	ICP-MS e <i>Fire Assay</i>	54

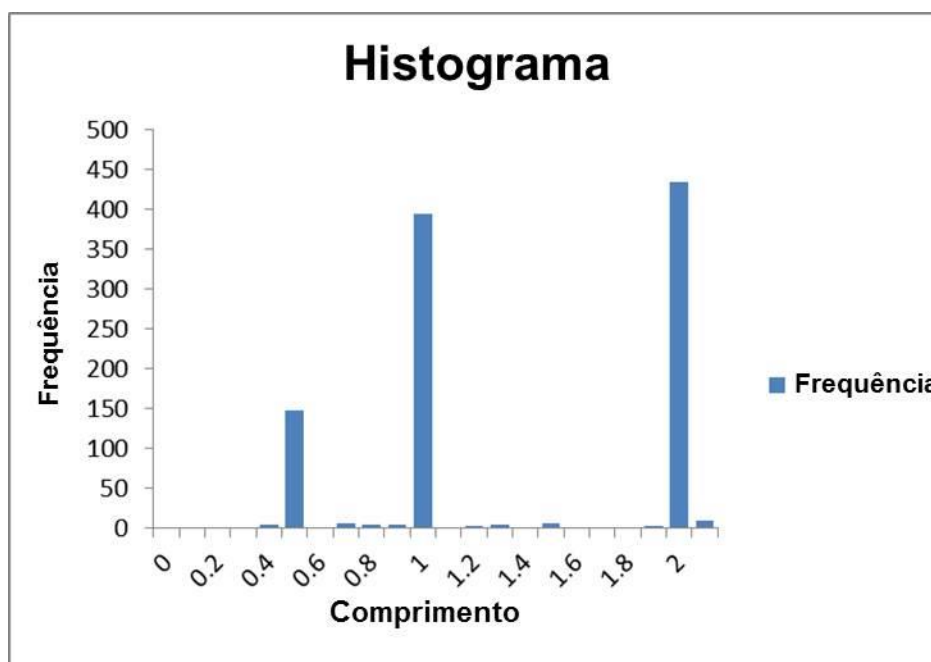
12.2.1 Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)

O objetivo deste trabalho foi verificar os resultados analíticos obtidos da reanálise de material pulverizado enviado para laboratório distinto do originalmente utilizado. O laboratório comercial SGS Geosol, que atende às premissas de certificação de qualidade ISO, reanalisou as amostras originalmente analisadas pelo LAMIN (CPRM). Nesse conjunto de amostras, ferramentas de controle foram inseridas nos lotes de reenvio, que consistiram de amostras duplicatas e padrão certificado, totalizando aproximadamente 5% do total de amostras.

A ausência de ferramentas de controle, tais como branco grosso, branco de polpa, duplicatas grosseiras e duplicatas de campo limita consideravelmente a identificação da fonte dos desvios que se observam neste estudo.

Fato relevante é a irregularidade do intervalo amostral observada no conjunto de amostras originais (Figura 96), que pode afetar a homogeneidade das amostras. No tratamento estatístico dos teores de tais amostras foi considerado o comprimento das referidas amostras, para evitar interpretações equivocadas.

Figura 96 – Histograma do comprimento das amostras.



O programa de QA/QC estabelecido considerou o reenvio de reserva pulverizada das amostras coletadas durante a execução dos trabalhos de pesquisa nos anos de 1970. Esse procedimento, conhecido como Check Assay, visa a comparar a validade analítica das amostras analisadas àquela época com as do reenvio. Nos lotes gerados para reenvio, foram inseridas amostras de controle que consistem de (i) amostras-padrão inseridas nos lotes de reenvio e (ii) duplicatas de polpas, geradas dentro desses lotes.

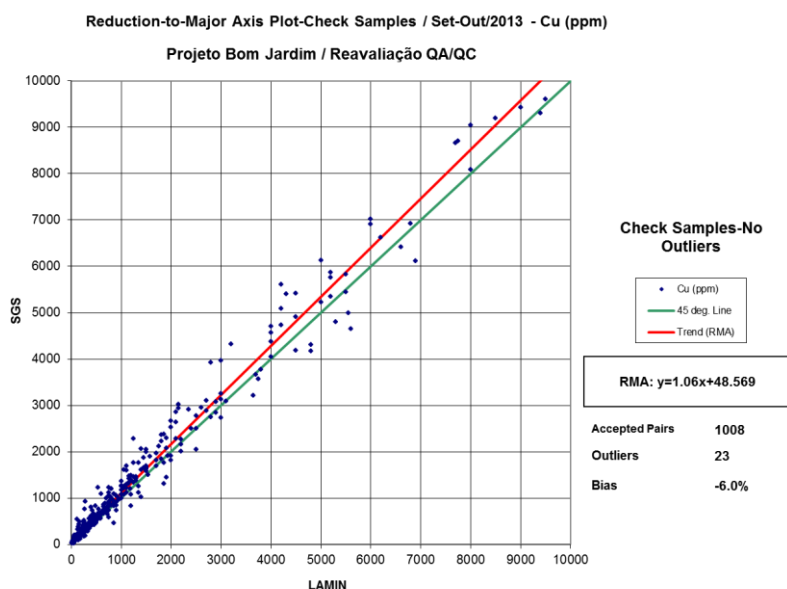
12.2.2 Comparativo entre laboratórios

As reanálises efetuadas em alíquotas de pulverizado das amostras originalmente analisadas retornaram bons resultados, confirmando, em geral, os teores do LAMIN/CPRM. Porém, alguns pontos merecem atenção, pois muitos fatores podem ter influenciado os resultados.

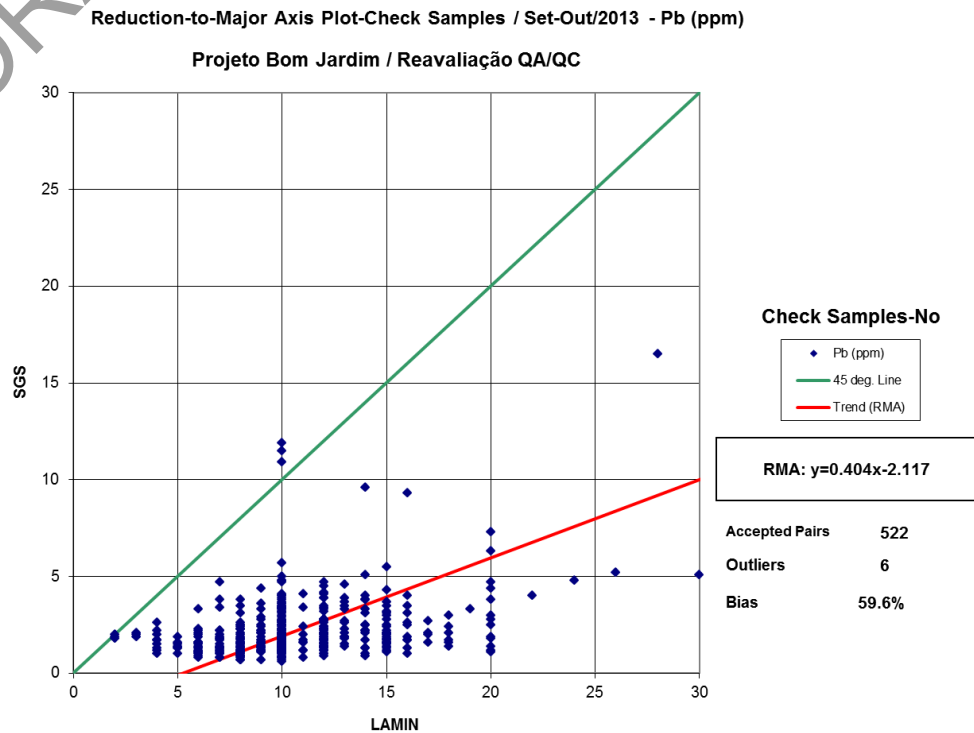
O desempenho das amostras analisadas nos dois laboratórios é mostrado em gráficos (Figuras 97 e 98). Em sua maioria, observam-se padrões que sugerem troca de amostras em algum ponto do processo, tal como identificação, coleta ou manipulação do material ou até mesmo na listagem manual dos resultados, como feito no LAMIN. Isso se nota pela simetria de pares de amostras em relação à reta de 45°. Sugere-se, futuramente, a averiguação dessas amostras, seguida de retificação do banco de dados, para não ser prejudicado o montante a ser utilizado na estimativa.

Com o total de 1.031 amostras, a comparação entre análises de Cu foi satisfatória, considerando-se a retirada de 23 pares anômalos (2,2%) (Figura 97).

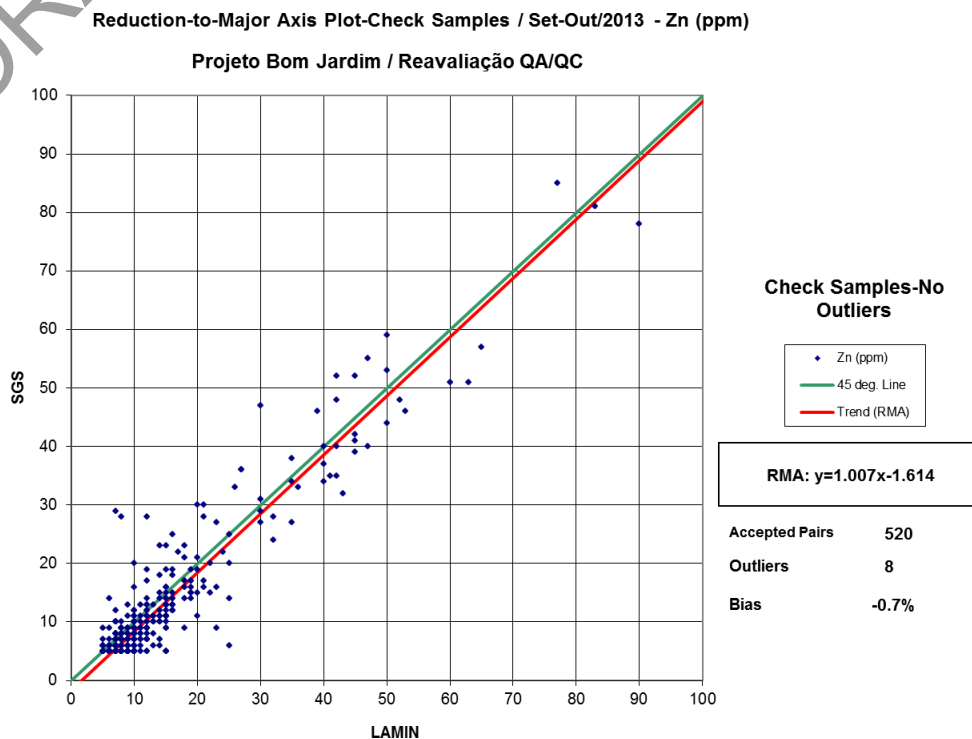
Figura 97 – Comparativo entre laboratórios para análise de Cu.



A reanálise de Pb retornou resultados bastante preocupantes, pois não houve correlação entre os dois conjuntos de análises (Figura 98). Apesar de os baixos teores, uma investigação mais aprofundada deve ser efetuada para identificar possíveis causas.

Figura 98 – Comparativo entre laboratórios para análise de Pb.

Para os teores de Zn, uma boa correlação é observada, considerando o capeamento de amostras analisadas por SGS Geosol, que tiveram teores abaixo de 5 ppm, para evitar deslocamento impróprio da origem da reta de regressão (Figura 99). Isso se deve ao fato de o limite de detecção do LAMIN, à época das análises, ser de 5 ppm. A dispersão dos resultados na região média do gráfico pode ser explicada pela ocorrência de troca de amostras, identificada por pares simétrica e ortogonalmente posicionados em relação à reta de 45°. Tal fato pode afetar significativamente o resultado de estimativa de teores e deve ser corrigido no banco de dados.

Figura 99 – Comparativo entre laboratórios para análise de Zn.

12.2.3 Amostras-padrão

O material de referência BRP-1 foi produzido em grande escala por meio de convênio entre Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade Estadual Paulista (UNESP), CPRM e United States Geological Survey (USGS), com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O material é derivado de basalto da região de Ribeirão Preto (SP) e foi o único utilizado na avaliação das análises químicas do Projeto Bom Jardim. A matriz do padrão é compatível com a do material da área de estudo (sequências metavulcânicas), embora o litotipo seja diferente.

A metodologia empregada para avaliar o desempenho do laboratório é descrita a seguir.

- Avaliação da média dos valores recebidos em relação ao valor certificado (viés).
- Investigação da fonte de eventuais desvios em lotes com picos sucessivos fora dos limites de ± 2 DP (desvio-padrão) da população (*outliers*).
- Avaliação visual de tendências.

A avaliação do viés é feita conforme estas orientações:

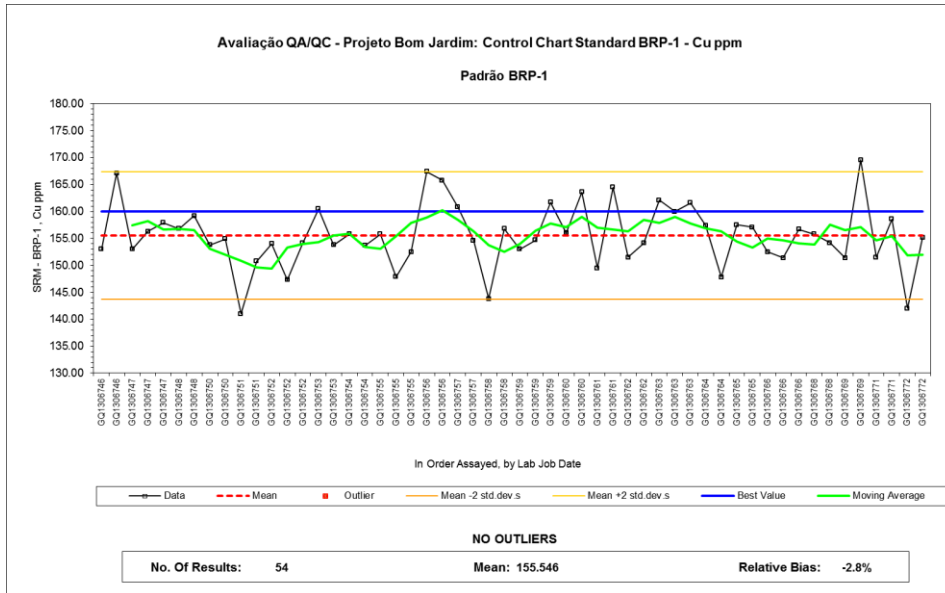
- Bom: $|\text{Viés}| < 5\%$
- Questionável: $|\text{Viés}|$ entre 5% e 10%
- Inaceitável: $|\text{Viés}| > 10\%$

O princípio geral recomenda acompanhar os índices de qualidade e tomar ações imediatas para identificar a fonte do problema, que pode estar em diversos pontos do processo. A simples reanálise das amostras não é suficiente para retificar dados anômalos encontrados pelo programa de QA/QC, sendo esta parte das possíveis ações a serem tomadas.

No total, 54 amostras-padrão foram distribuídas em 12 lotes de envio (registrados por Requisições Analíticas (RA)) e geraram 24 certificados analíticos emitidos por SGS Geosol. As análises foram efetuadas por ICP-MS após digestão multiácida, diferentemente dos métodos utilizados para certificação do padrão, na maioria por fluorescência de raios X para elementos maiores.

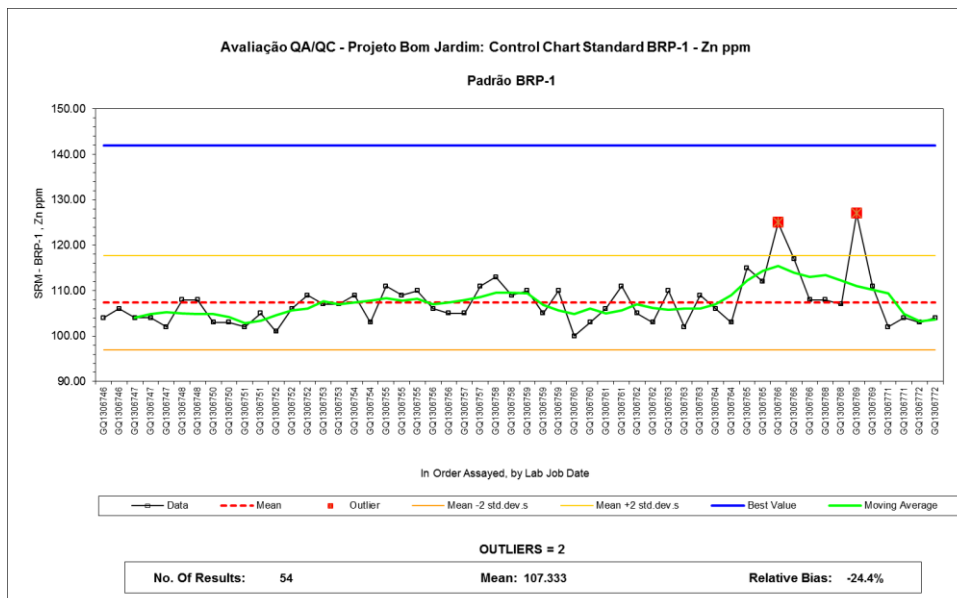
Os teores de Cu analisados no padrão BRP-1 (Figura 100) estão com viés negativo de 2,8% e não apresentam tendências nem outliers. Esses resultados afirmam a qualidade das análises efetuadas por SGS Geosol para o elemento em questão.

Figura 100 – Gráfico de análise de Cu para o padrão BRP-1.



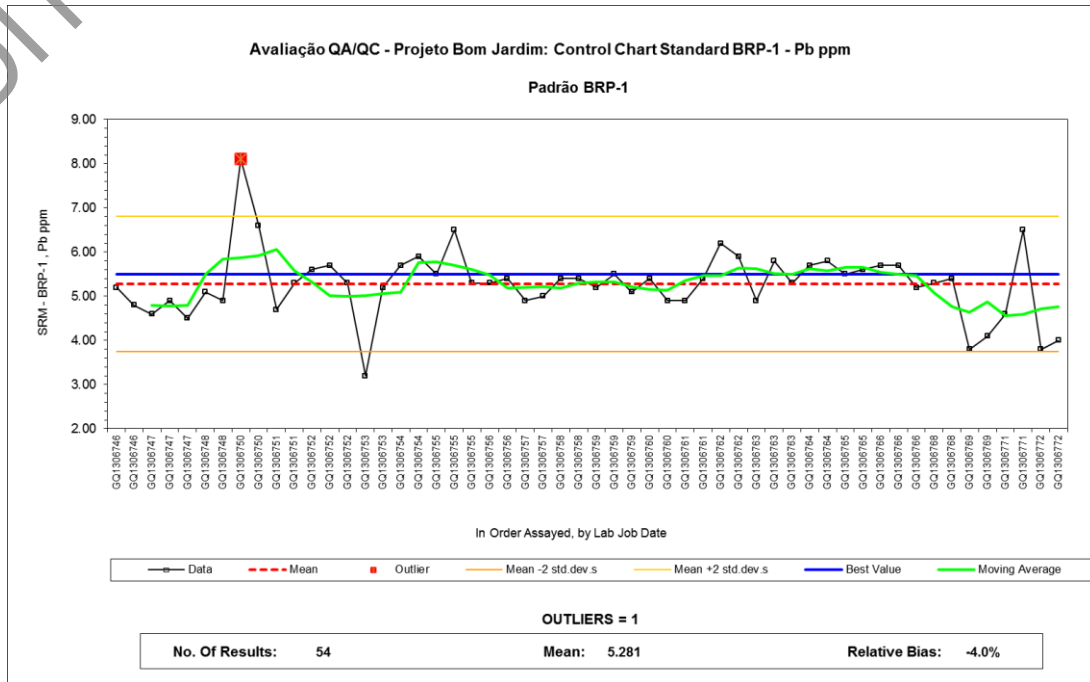
O gráfico de Zn (Figura 101) apresenta boa regularidade até aproximadamente o segundo terço das amostras. Daí em diante, o comportamento se torna mais irregular e aparecem dois outliers. Apesar de não ter tendências significativas, o valor observado ficou abaixo do esperado, em 24,4%.

Figura 101 – Gráfico de Zn indicando viés negativo e dois outliers.



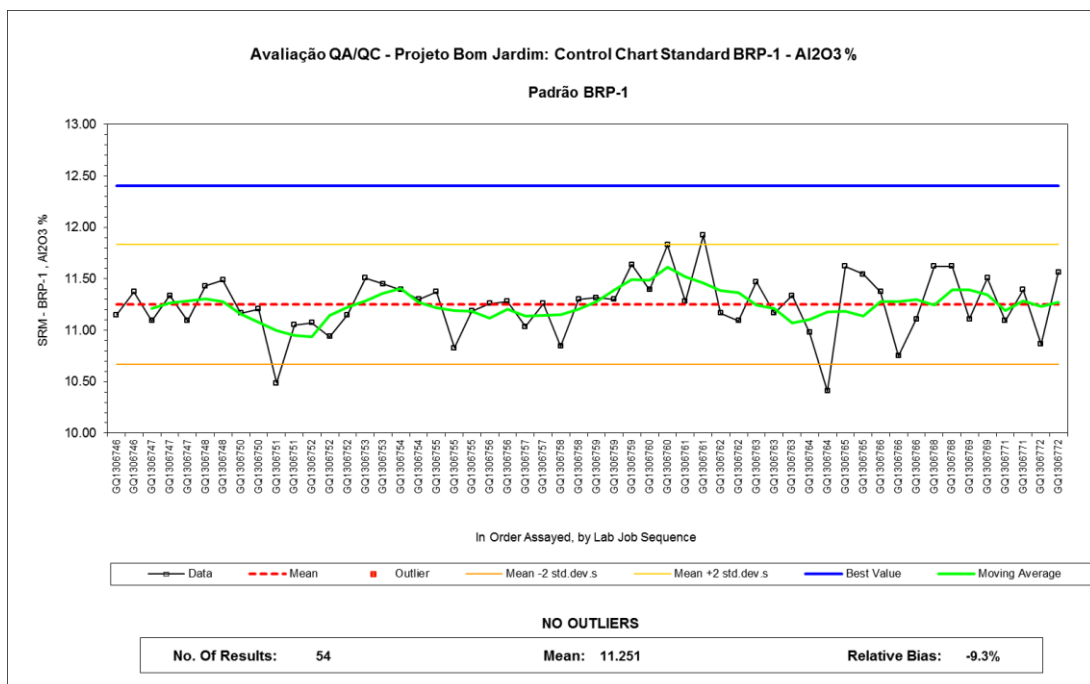
O Pb apresentou gráfico (Figura 102) relativamente regular, com alguns espúrios. O viés é baixo, -4,0%, ficando dentro dos 5% de variação em relação ao valor certificado, e apresenta um outlier.

Figura 102 – Gráfico dos teores de Pb com viés dentro do limite aceitável.



Em contrapartida, as análises de Al₂O₃ (Figura 103) apresentaram viés de -9.3%, o que significa ponto de questionamento a respeito da acurácia das análises realizadas por SGS Geosol.

Figura 103 – Gráfico de Al₂O₃ indicando viés negativo.



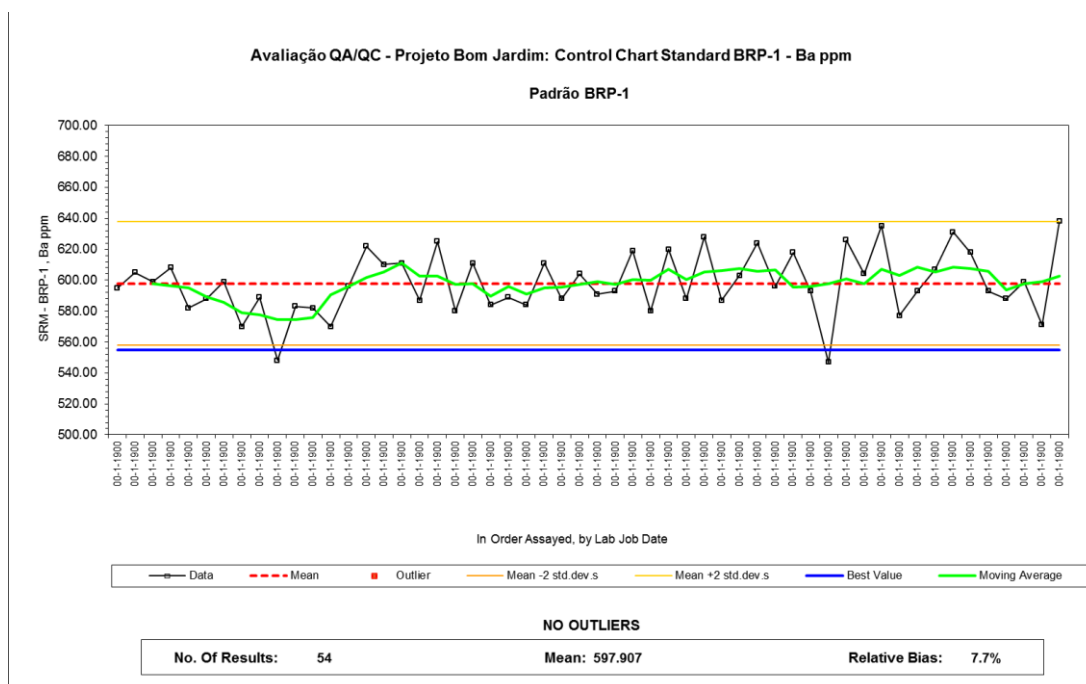
Uma avaliação anterior (Projeto Miriri) com esse mesmo padrão identificou viés nos teores de Al_2O_3 igual a -1,34%, o que está dentro do aceitável. Porém, nesse caso, as análises foram efetuadas por fluorescência de raios X em discos fundidos das amostras, procedimento semelhante ao majoritário utilizado na certificação do BRP-1.

Os elementos Ba, Ce e La apresentam alto viés positivo – 7,7%, 29,9% e 35,8% –, respectivamente (Figuras 104 a 106). Esses resultados podem indicar:

- Contaminação em algum ponto do processo.
- Problemas de calibração do equipamento utilizado.
- Restrições nos limites de resolução do equipamento, uma vez que tais elementos têm massa atômica muito próxima.

Como os teores desses elementos nas amostras de rotina estão, em aproximadamente 95% dos casos, abaixo do teor de referência dos padrões, a hipótese de contaminação por arrasto não é plausível.

Figura 104 – Gráfico de análise de Ba para o padrão BRP-1.



O gráfico de Ce (Figura 105) apresenta forte tendência negativa até o segundo terço das amostras e, depois, inflete para uma tendência positiva. Considerando que os outros gráficos não apresentam tal tendência, é provável que o comportamento esteja relacionado à calibração do equipamento para esse elemento.

Figura 105 – Gráfico de Ce indicando alto viés positivo e dois outliers que caem sobre a reta do valor certificado.

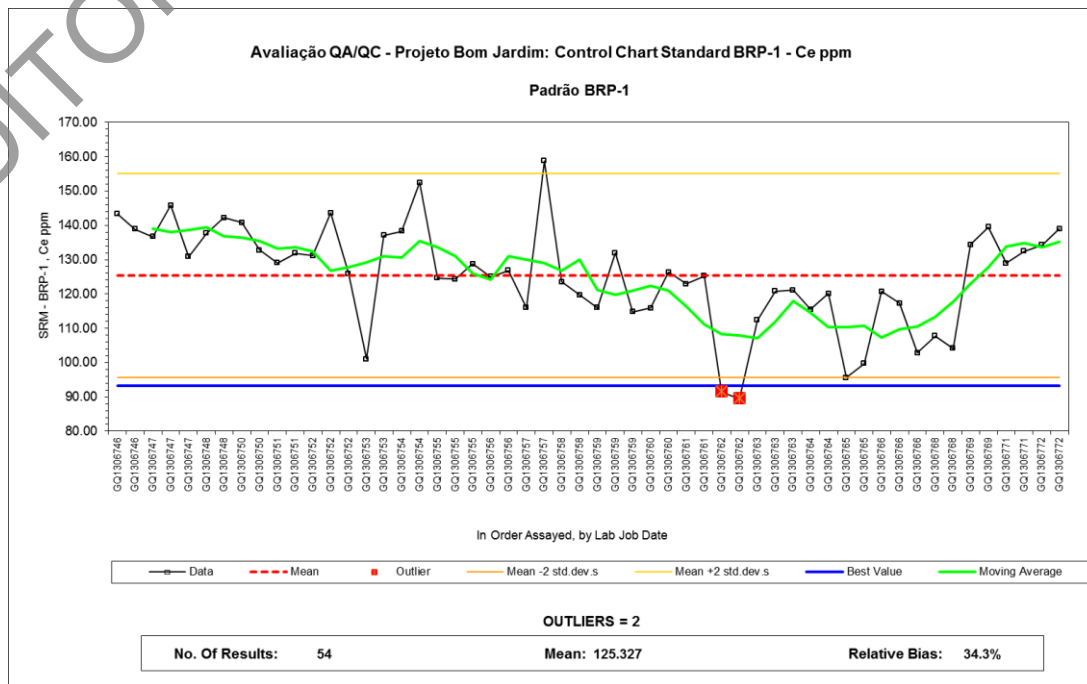
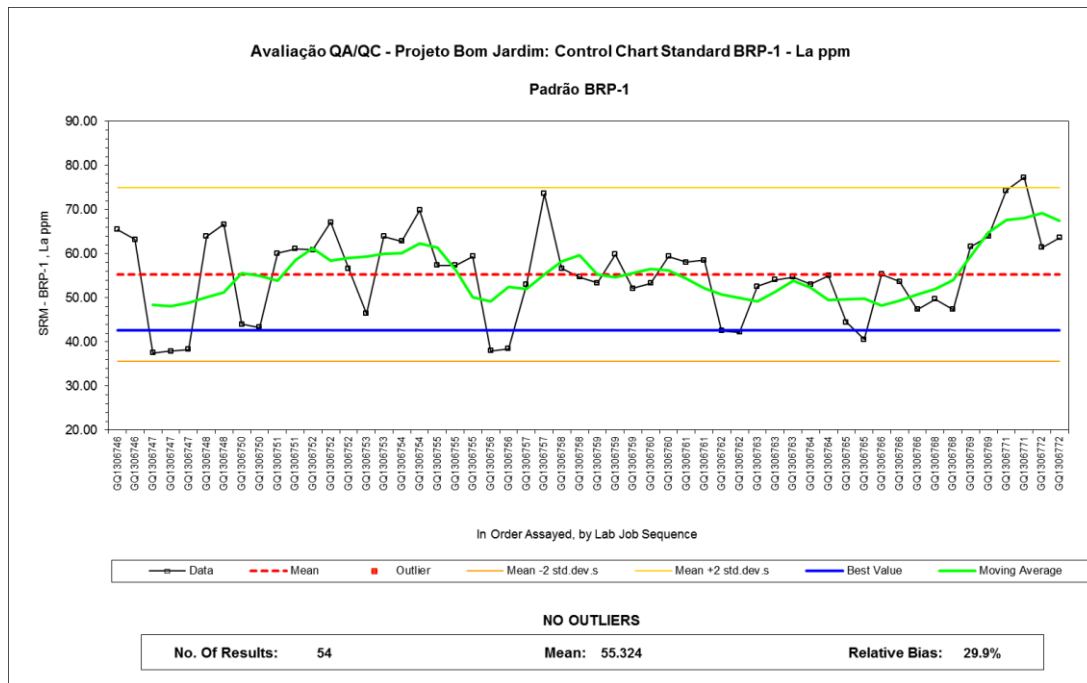
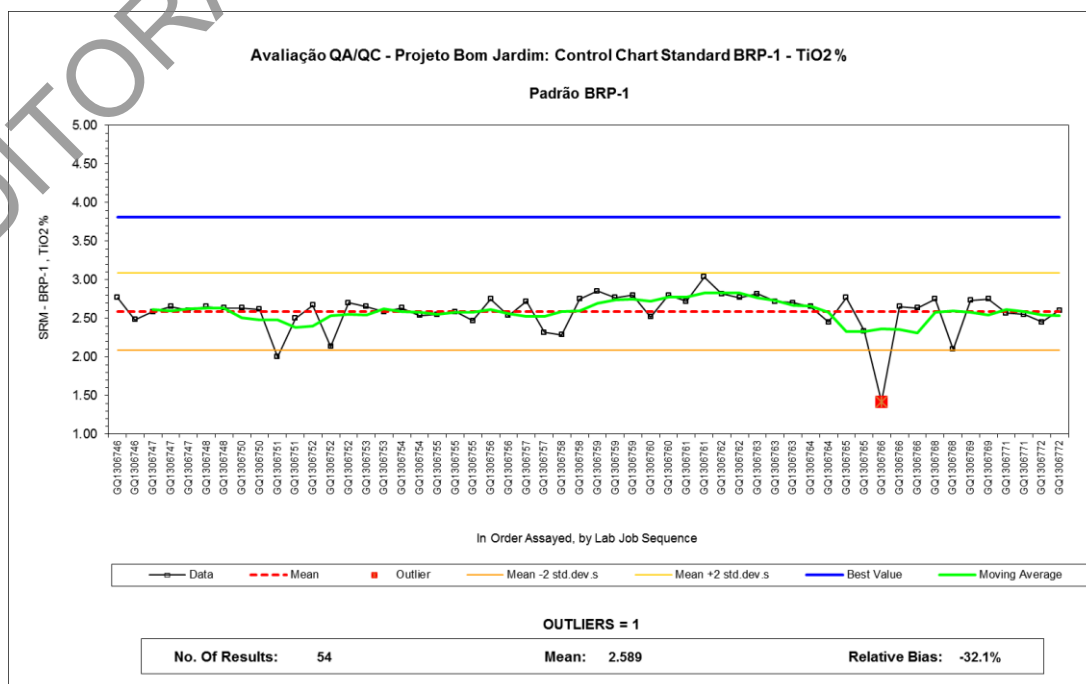


Figura 106 – Gráfico de La indicando alto viés positivo.



O fato de a matriz do padrão ter em sua composição minerais resistatos, tais como ilmenita e magnetita, pode sugerir digestão parcial do material a ser analisado, causando viés negativo de 32,1% nos teores de TiO₂ (Figura 107).

Figura 107 – Gráfico de TiO_2 indicando forte viés negativo.

Não é conclusiva qualquer especulação a respeito da causa de espúrios e vieses positivos; porém, a indicação da digestão parcial das amostras pode ser considerada fator de grande influência nos vieses negativos observados para alguns elementos.

12.2.4 Duplicatas de polpa

Durante a preparação dos lotes que foram enviados para check assay, alíquotas de amostras selecionadas foram quarteadas para formação de um conjunto de duplicatas, como parte das amostras de controle.

No total, 54 amostras duplicatas foram analisadas e, juntamente com seus pares originais, foram avaliadas com uso de gráficos e técnicas estatísticas. Os elementos maiores apresentaram comportamento satisfatório, enquanto Pb, Cu e Zn tiveram mais de 20% de outliers, o que pode ser considerado ponto de atenção. Para os elementos menores e traço, as duplicatas tiveram comportamento anômalo, com mais de 10% dos pares fora dos limites de aceitação. Dentre as prováveis causas dessas anomalias, citam-se:

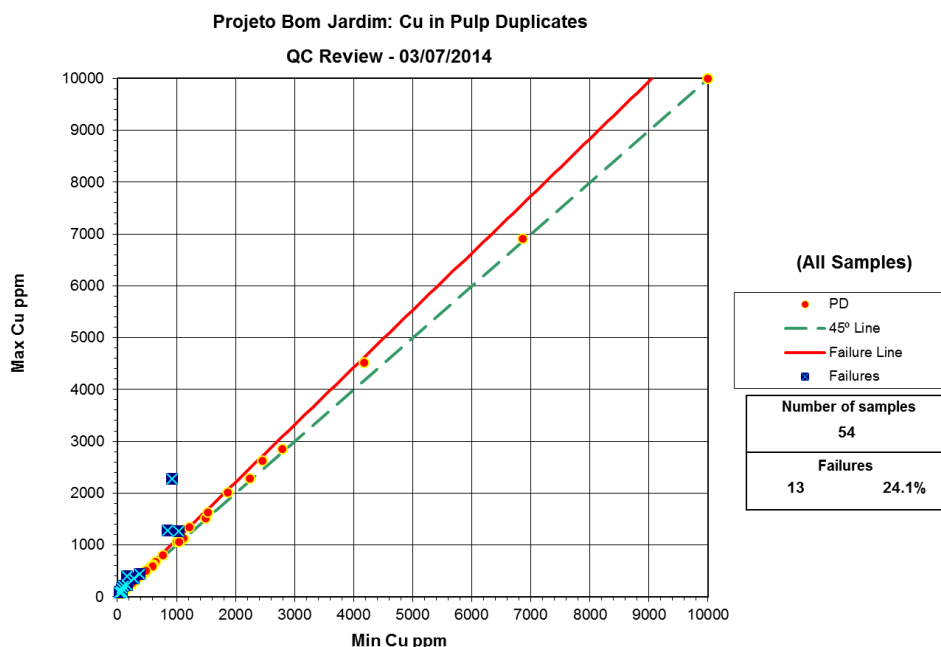
- Amostra (testemunho) com massa abaixo do recomendado, em relação à granulometria.
- Amostragem seletiva.
- Controle deficitário na cominuição da amostra.
- Heterogeneidade das frações durante a preparação.
- Quarteamento inadequado.
- Digestão parcial das amostras.
- Contaminação.

Os elementos menores e traço têm baixos teores e estão mais suscetíveis à contaminação. Assim, é sugerida investigação mais aprimorada.

Dadas as dificuldades encontradas em recuperar material primário (testemunhos) das amostras analisadas, assim como o baixo volume de alíquotas armazenadas, uma avaliação completa das causas desses problemas pode ficar comprometida.

O gráfico para Cu (Figura 108) apresenta 24,1% de falhas quando comparado aos teores dos pares de duplicatas. Pelo menos um desses pares ruins pode ser considerado como resultado de erro grosseiro durante o processo entre a coleta e a análise, uma vez que o erro relativo entre as amostras é de 83%. Tal erro pode ser devido à troca de amostras, conforme explicitado no comparativo entre laboratórios. Um maior número de duplicatas pode contribuir com a avaliação, trazendo maior consistência ao conjunto de dados analisados.

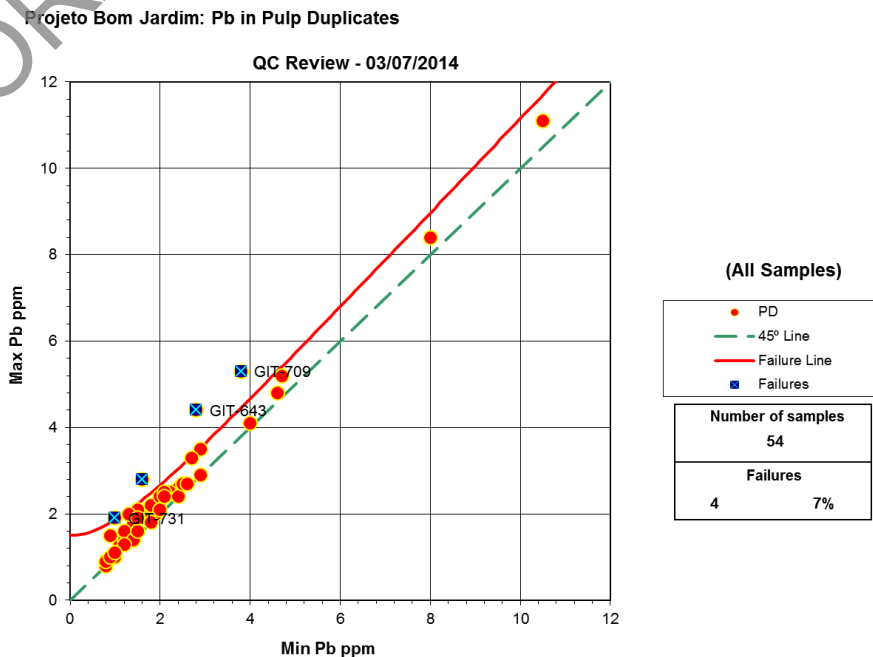
Figura 108 – Gráfico comparativo entre análises de Cu realizadas por LAMIN e SGS Geosol.



Os pares com baixo teor apresentaram maiores casos de outliers, que podem ter sido causados por contaminação de baixo grau durante a preparação ou análise, devido a amostras de alto teor de Cu no projeto. Outra possibilidade é a baixa qualidade do processo de cominuição da amostra, gerando heterogeneidade no material analisado.

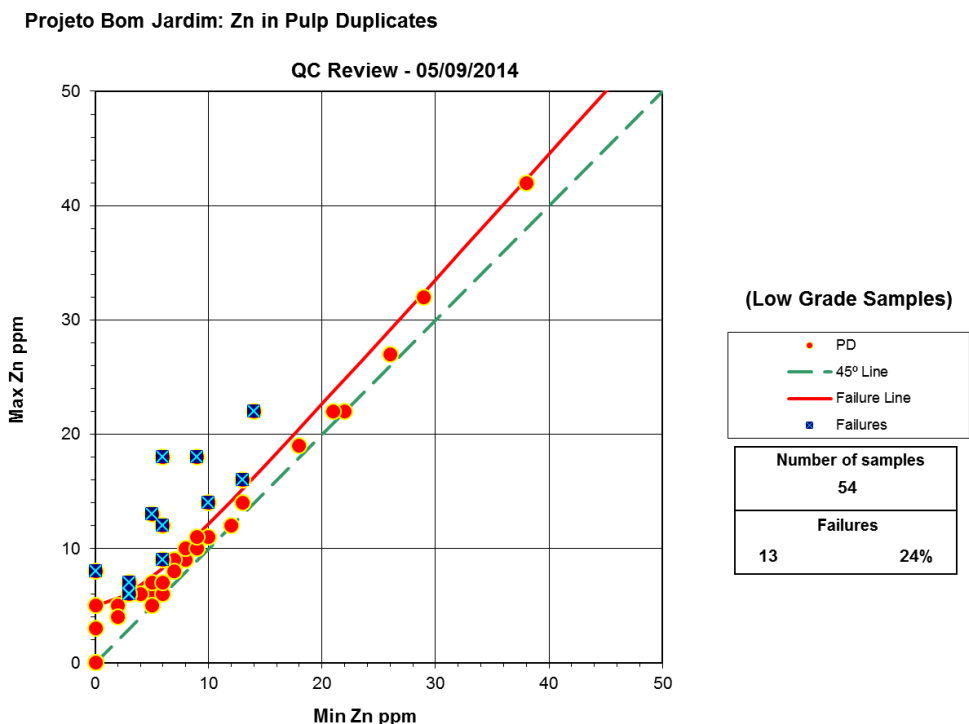
No caso de Pb (Figura 109), o teste de duplicata de polpa se mostrou muito mais confiável em relação a Cu, apresentando falhas em 7% das amostras, montante considerado aceitável, porém fora do intervalo ótimo. Apesar de os baixos teores, o que normalmente gera expectativa de resultados ruins, o comparativo mostra que tanto SGS Geosol quanto os pares de amostras viabilizam boa repetibilidade para Pb.

Figura 109 – Gráfico comparativo para Pb.



Para Zn (Figura 110), são observados problemas em 24% dos pares, cujos erros relativos estão acima do nível aceitável. Assim como Zn, outros elementos como Co, La, Sr e Mo também apresentaram altos níveis de falhas dos pares analisados, chegando a 54% no caso de La.

Figura 110 – Gráfico comparativo para Zn.



12.3 RESULTADOS

Procedeu-se a avaliação da qualidade das análises do Projeto Bom Jardim em condições restritivas, pois nem todos os dados estavam disponíveis e a quantidade e tipos de amostras de controle não permitem afirmar seguramente as causas dos desvios encontrados. Entretanto, é possível aprimorar a investigação em alguns pontos, o que traria maior confiabilidade aos resultados obtidos nos laboratórios.

Há de ser ressaltada a ausência de critérios de qualidade quando da execução dos trabalhos de exploração no projeto em questão. Não está clara a metodologia empregada na coleta de amostras, tendo sido observados, em fotografia, diversos fragmentos de testemunho com diâmetro preservado. Ou seja, há indícios de que os testemunhos não foram serrados para amostragem.

Aproximadamente 8% das amostras apresentam intervalo abaixo de 0,5 m (com mínimo de 0,1 m), sendo que a maior parte das amostras (66,67%) apresenta comprimento igual ou superior a 2,0 m.

Os registros de métodos de preparação de amostras não estão acessíveis e não há registro de controle de qualidade nesse processo (teste de peneira, tipo de quarteador, fração britada/pulverizada etc.).

Uma avaliação granulométrica do minério é altamente recomendada, para verificar se a fração granulométrica das alíquotas pulverizadas é adequada. Tal relação afeta diretamente a repetibilidade do processo, gerando teores anômalos de duplicatas. A dispersão de pares avaliados pode ser consequência da incompatibilidade dos dois parâmetros.

Foi enviada para reanálise apenas a fração pulverizada, o que pode trazer desvios de preparação de amostra, não identificáveis apenas com padrões e duplicatas de polpa.

Os testes de check assay apresentaram resultados aceitáveis, com alguns pontos de preocupação:

- Teores de Pb sem correlação.
- Dispersão de teores em relação ao valor esperado.
- Indícios de troca de amostras.

Os resultados dos padrões retornaram pontos de questionamento junto à SGS Geosol, que não foram justificados até a data de fechamento deste relatório. Vieses da ordem de 20% ou maiores foram identificados para os elementos Ce, La e Zn, o que indica calibração deficitária dos equipamentos de análise. TiO₂ apresentou viés negativo maior que 30%, o que pode ter sido causado por ineficiência da digestão de minerais resistatos no padrão, sabidamente com ilmenita em sua composição. Ba e Al₂O₃ apresentaram vieses próximos de 10%, mas estão dentro dos limites aceitáveis. Para os elementos Cu e Pb, os vieses estão com variações normais.

As duplicatas de polpa apresentaram pares relativamente anômalos, o que pode ter sido causado por problemas de preparação e consequente prejuízo na homogeneidade das alíquotas. A avaliação ficou comprometida pelo baixo número de pares (54), podendo ser incrementado se houver interesse investigativo maior e dependendo da disponibilidade de alíquotas.

13 MODELAGEM GEOLÓGICA

De posse dos dados resgatados dos relatórios finais de pesquisa protocolados em 1979 e 1980 no DNPM, procedeu-se à reinterpretação e reavaliação do modelo geológico do depósito de Bom Jardim. Apesar de os problemas relatados nos capítulos anteriores, como falta de algumas coordenadas tiradas com GPS geodésico e de informações de recuperação e de desvio dos furos inclinados (Survey), o estudo foi realizado buscando-se seguir as melhores práticas possíveis para se obter resultado coerente.

13.1 METODOLOGIA

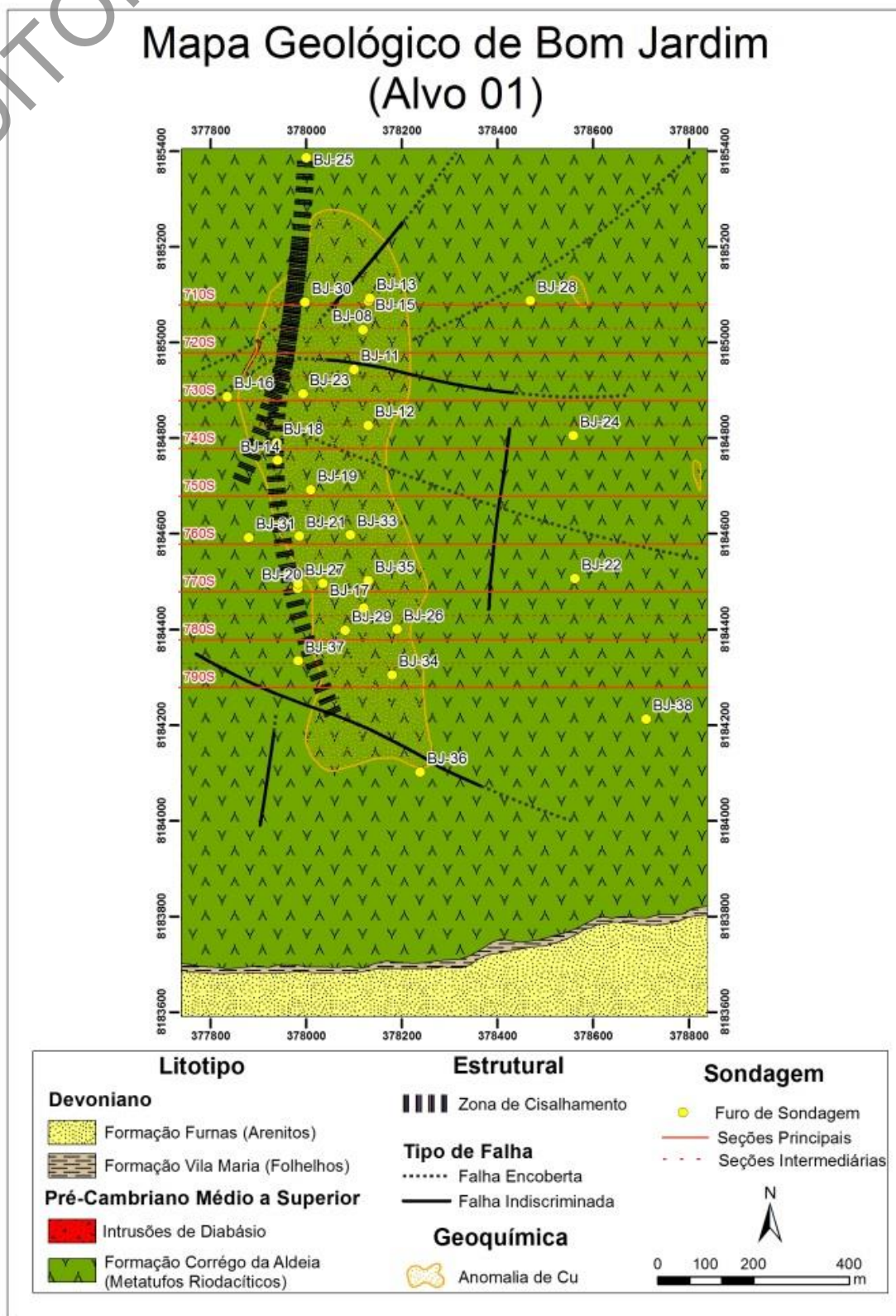
Subsequentemente à validação dos dados de Collar, Survey, Litology e Assay, iniciou-se a etapa da nova modelagem geológica 3D do depósito de Bom Jardim, que foi totalmente desenvolvida no software CAE Mining Studio3 versão 3.21.9646. As tabelas foram organizadas da seguinte forma:

- Collar: Armazena os dados de posição espacial de cada furo de sondagem, bem como a cota da boca do furo.
- Survey: Armazena os dados de azimute e mergulho de cada furo.
- Geology: Armazena os dados de litologia e demais características descritivas dos intervalos litológicos de cada furo.
- Assay: Armazena os dados analíticos provenientes das análises químicas dos intervalos amostrados de cada furo.
- Densidade: Armazena os dados de densidade dos intervalos amostrados de cada furo.

A reavaliação utilizou apenas os 29 furos históricos da década de 1970, totalizando 6.725,40 m de sondagem. Somente foi reavaliado o Alvo 01, que se insere na área DNPM 812.488/74.

As seções geológicas verticais foram as mesmas utilizadas no trabalho realizado na década de 1970, as quais eram E-W e espaçadas de 100 em 100 m. Optou-se, em alguns casos, quando havia furos entre as seções originais, acrescentar seções intermediárias, de forma a detalhar a continuidade do corpo (Figura 111).

Figura 111 – Mapa geológico do alvo 01 do projeto Bom Jardim, com locação de furos e seções verticais.



Fonte: Modificado de CPRM, 1979.

A interpretação dos perfis foi realizada com clipping de 50 m, aplicando-se a regra da meia-distância entre os furos. Entretanto, devido à má distribuição da malha de sondagem, muitas seções foram interpretadas com apenas um furo. Assim, a extensão da lente foi inferida de acordo com a espessura do intervalo mineralizado e a sua inclinação seguiu o mergulho dos veios descritos nos logs dos furos. Como especificado nos capítulos anteriores, não foi encontrada relação entre a descrição litológica e o teor de cobre; portanto, procedeu-se à interpretação dos corpos com base em zonas com teor de cobre acima de 0,04% de Cu. Esse teor diminuto de cobre foi adotado como caráter anômalo, de forma a facilitar a identificação das regiões com algum traço de cobre, para depois delimitar as porções mineralizadas mais ricas, acima de 0,2% de Cu. Esse depósito não foi modelado para Au, devido aos teores irrelevantes encontrados nos furos (Figuras 112 a 116).

Figura 112 – Seção geológica 710S.

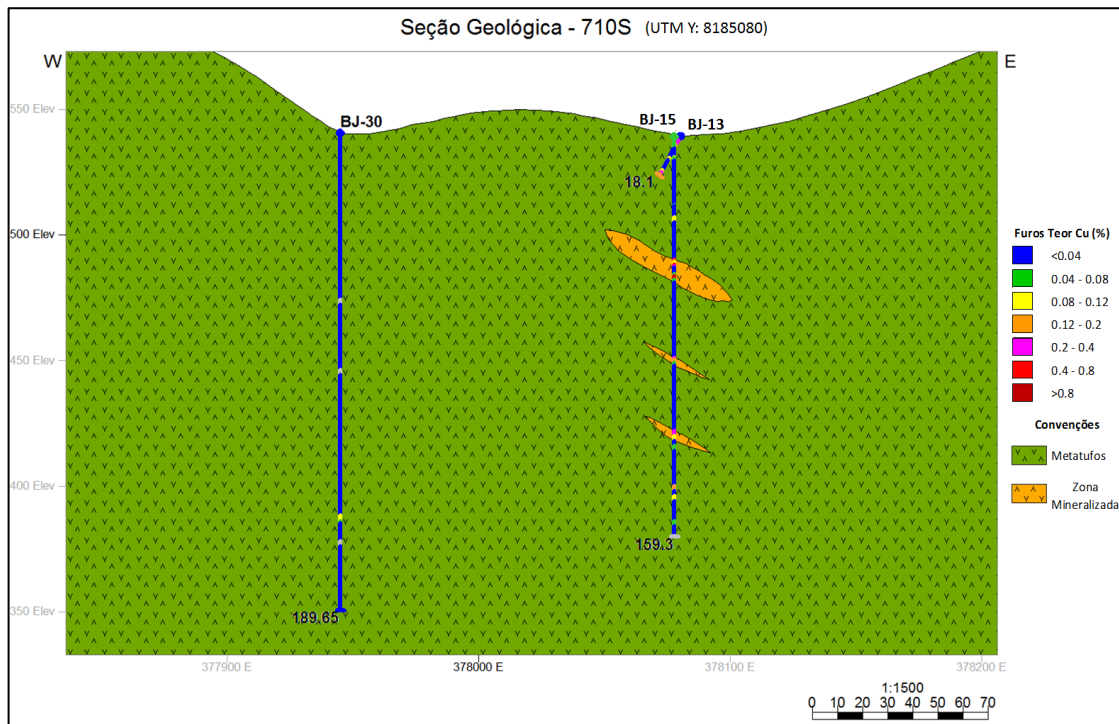
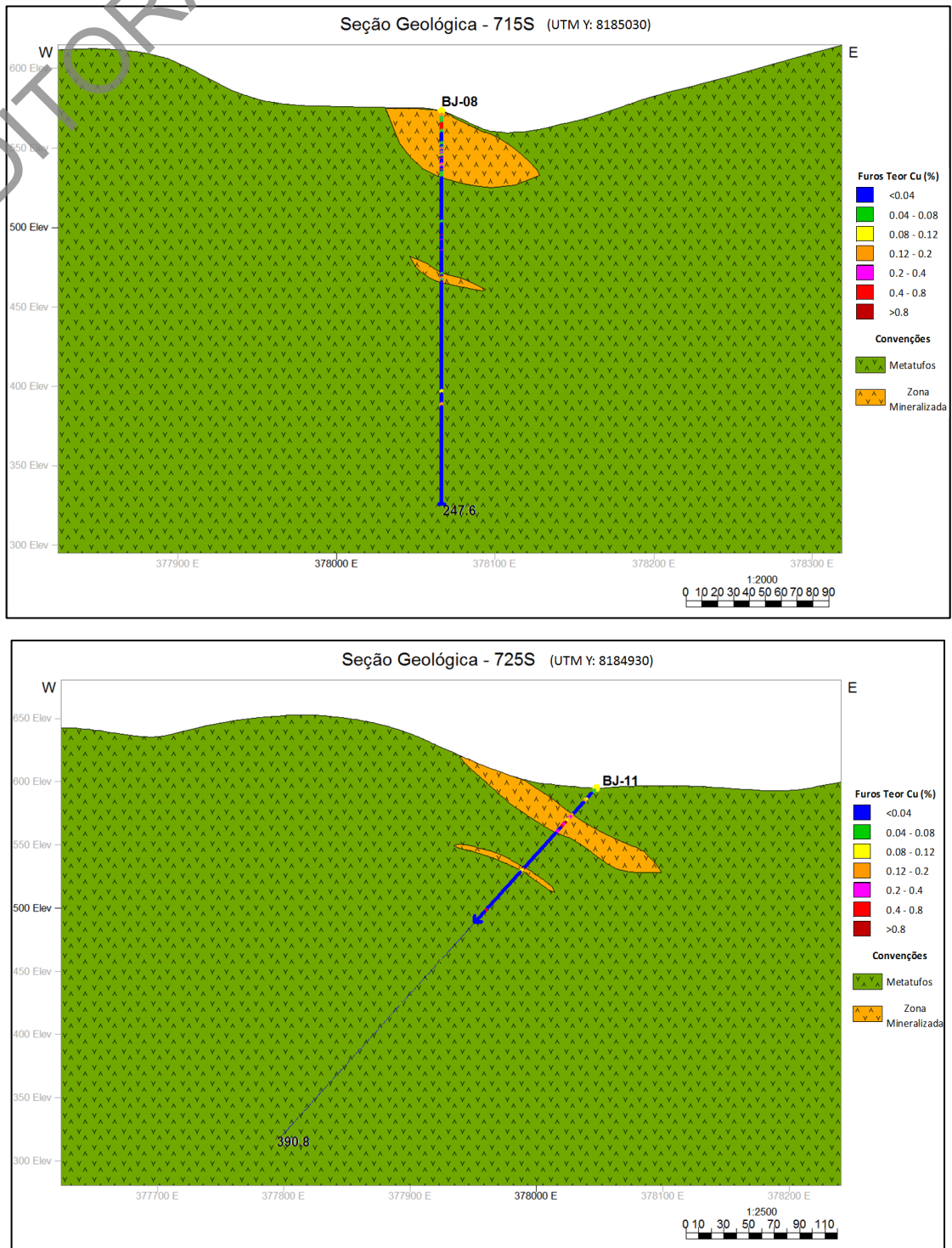
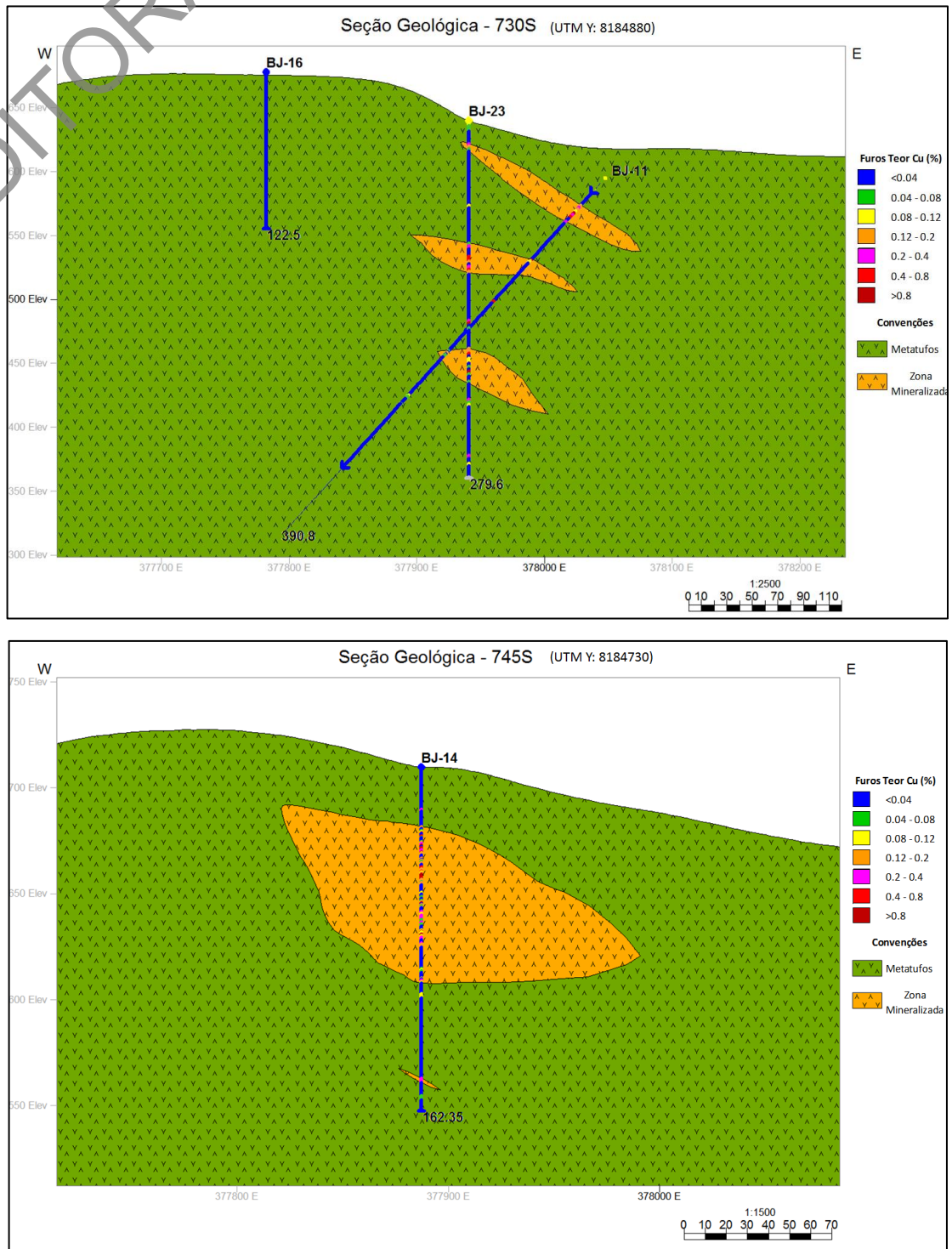


Figura 113 – Seções geológicas 715S e 725S*.



(*) O furo BJ-11 não está completamente inserido na seção; a linha mais fina indica as porções fora das seções.

Figura 114 – Seções geológicas 730S e 745S*.



(*) O furo BJ-11 não está completamente inserido na seção; a linha mais fina indica as porções fora das seções.

Figura 115 – Seções geológicas 750S e 760S.

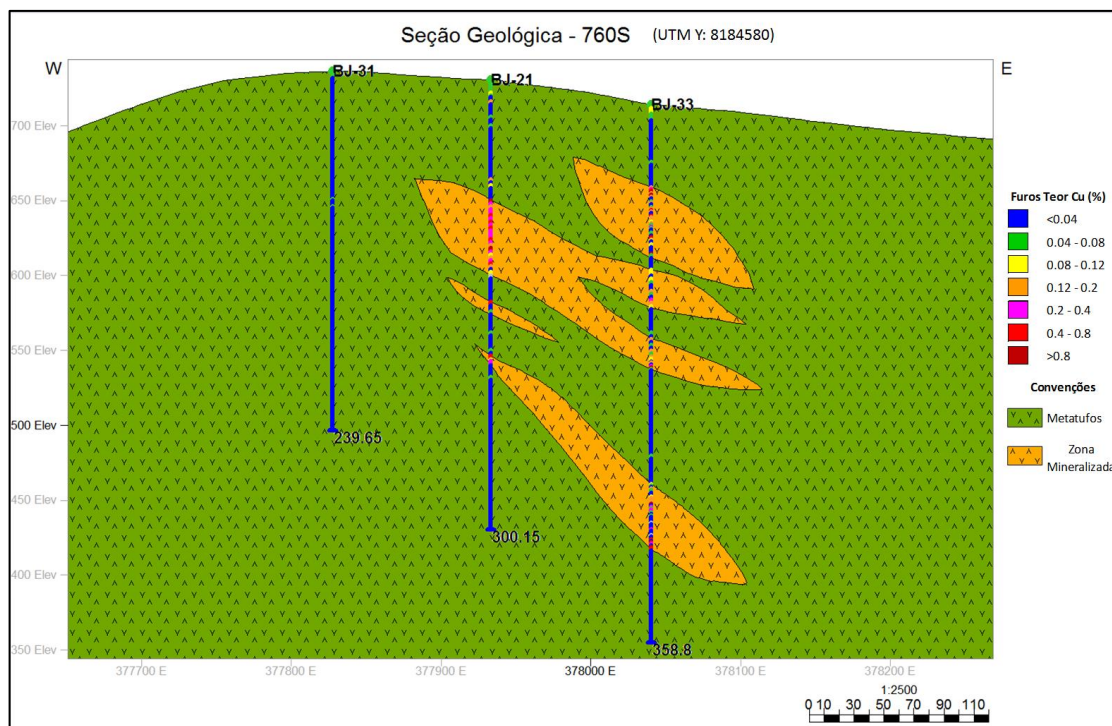
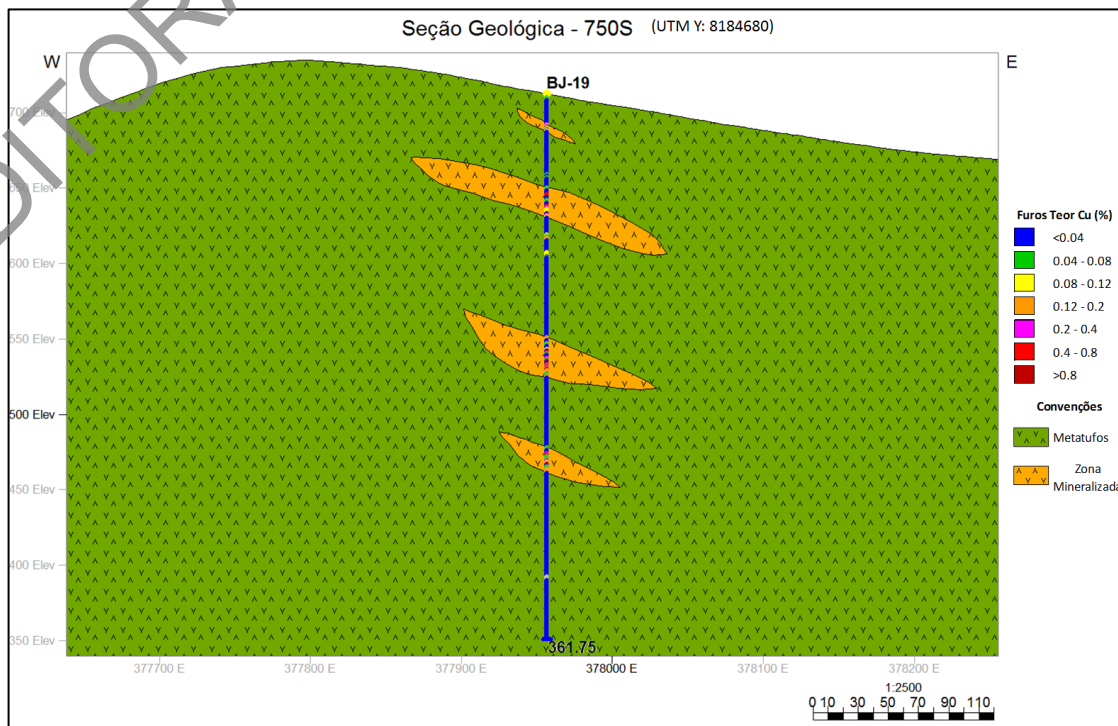
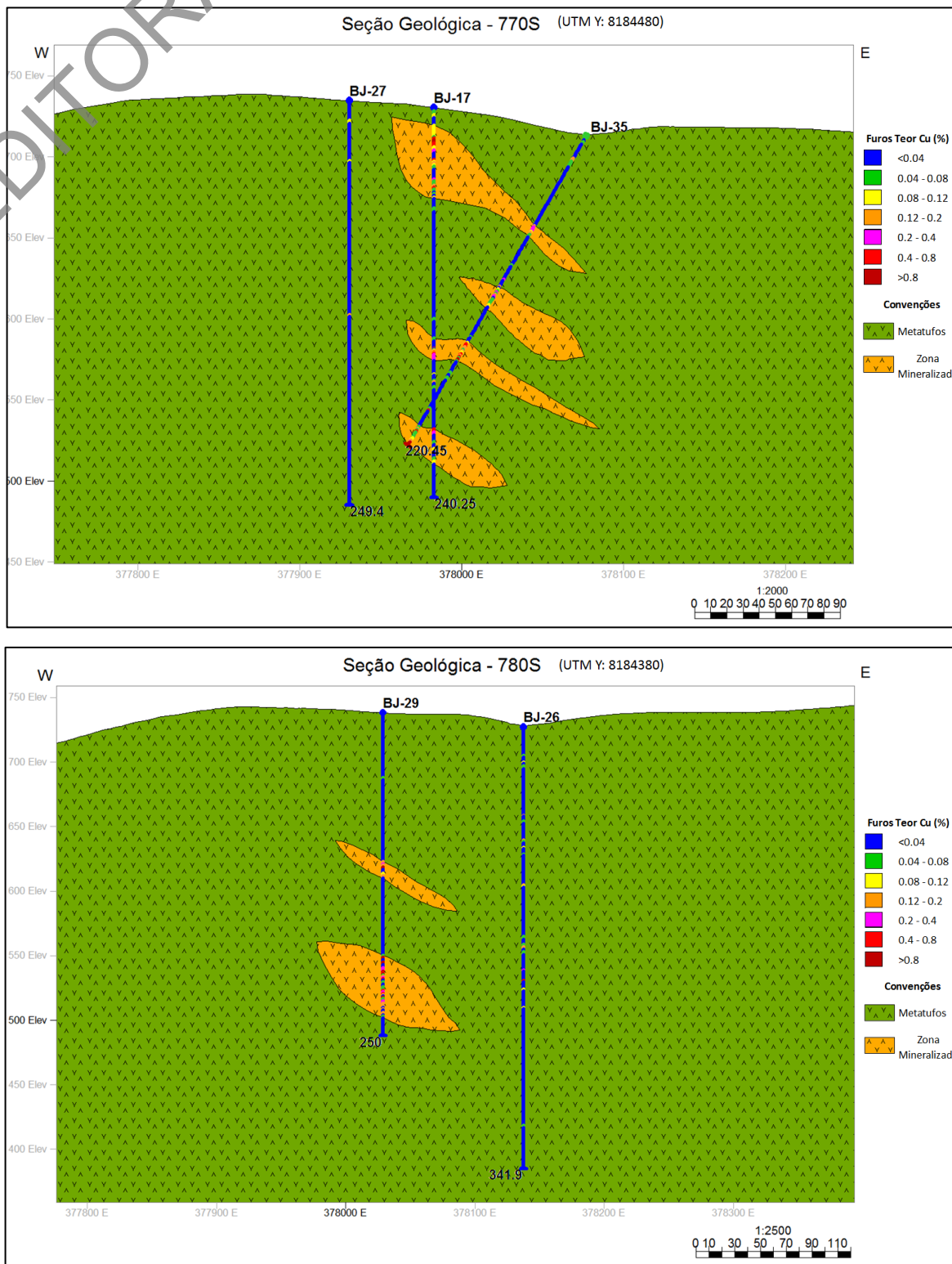


Figura 116 – Seções geológicas 770S e 780S.



Neste projeto, dos 29 furos estudados, apenas 15 apresentam intervalos mineralizados com teor de cobre acima de 0,2% (Quadro 17).

Quadro 17 – Intervalos mineralizados nos furos de sonda do alvo 01

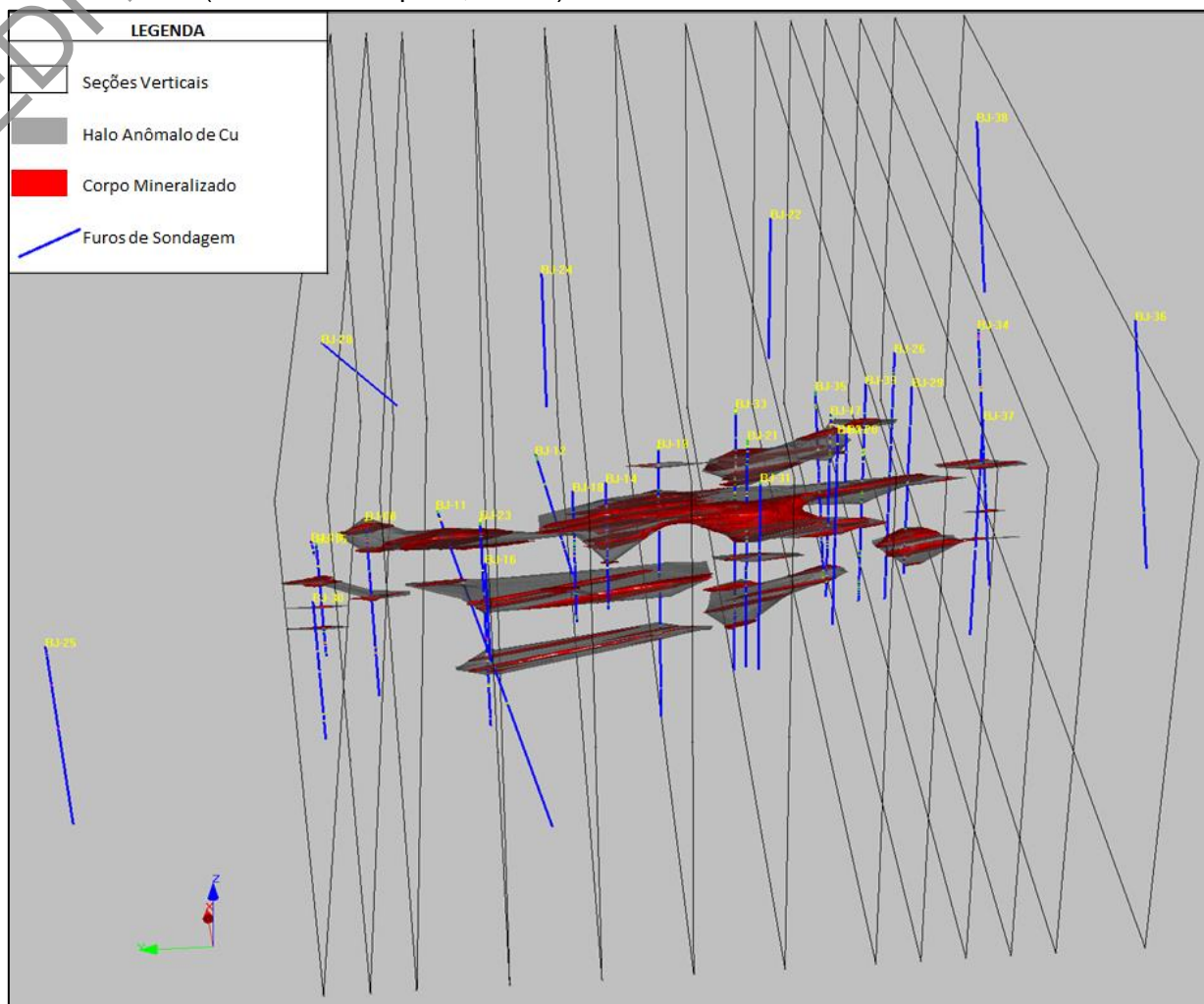
Furo	Intervalo		Média	
	De	Até	Cu (%)	Densidade (g/cm ³)
BJ-05	6	14	0,29	2,50
BJ-11	29,55	34	0,27	-
	36	44	0,54	-
	48	50,35	0,29	-
	87,9	90,8	0,32	-
	200	202	0,38	-
BJ-14	35,5	45	0,28	2,49
	46,5	55,5	0,86	2,72
	69	72	0,23	2,72
	75	82,1	0,30	2,78
	100,5	102	0,26	2,59
BJ-15	145	149	0,21	-
	54,5	60	0,23	2,57
BJ-17	88	90	0,20	-
	18	26	1,29	2,38
	48	50	0,38	2,58
	150	156	0,27	-
BJ-18	198	202	0,53	2,72
	35	43	0,51	2,60
BJ-19	66	70	0,27	2,35
	74	76	0,32	-
	175	185	0,41	2,38
	238	241	0,33	2,42
BJ-21	80	118	0,46	-
	120	124	0,42	-
	148	150	0,74	-
	184	189	0,34	-
BJ-23	18	20	0,22	2,38
	106	112	0,46	-
	114	118	0,35	-
	180	184	0,32	2,51
	194	200	0,98	-
BJ-29	116	122	0,65	-
	189,15	208	0,49	-
	214	226	0,33	-
BJ-33	56	63	0,51	2,53
	69	72	0,32	2,61
	87	91	0,41	2,61
	98	102	0,26	3,01
	130	132	0,27	2,60
	174	176	0,93	2,44
	264	268	0,28	2,54
290	296	0,62	2,65	
BJ-34	212	214	0,26	-
BJ-35	64	67	0,23	2,35
	146	151	0,27	-
	154	161	0,34	-
BJ-37	217	220,45	0,78	2,42
	58	62	0,35	2,65
BJ-39	152,1	155	0,20	-
	47	52	1,08	2,53
	130	135	0,25	3,27
	137	142	0,25	2,58
	183	189	0,68	2,73

Os sólidos tridimensionais dos corpos mineralizados foram construídos por meio de triangulações, interligando as strings interpretadas nas seções geológicas verticais com fechamento do corpo até a meia-distância das seções anterior e posterior aos polígonos inicial e final. O processo de triangulação gera dois arquivos distintos para cada superfície (*wireframe*), um de pontos e outro de triângulos, representados pelas letras finais dos nomes dos arquivos: .pt para pontos e .tr para triângulos. Esses sólidos foram revisados por ferramentas de validação do próprio software, que checam triângulos duplicados, arestas duplicadas, faces vazias e abertas, interseções entre triângulos, entre outros.

Concluída a modelagem dos halos anômalos de Cu (Cu >0,04%), criou-se um modelo de blocos a partir dessas *wireframes* e, em seguida, procedeu-se a uma estimativa preliminar. A partir desse modelo de blocos estimado, criaram-se *wireframes* somente em volta dos blocos

com teor maior que 0,2% de cobre. Esses sólidos também passaram pela mesma validação que os sólidos dos halos anômalos (Figura 117).

Figura 117 – Imagem com vista para leste evidenciando as seções verticais e os halos anômalos de Cu (teor maior do que 0,04% Cu) e os corpos mineralizados (teor maior do que 0,2% Cu).



O corpo mineralizado apresenta direção média N-S, mergulho aproximado de 30° para leste e leve caimento para norte (Figuras 118 e 119). A mineralização compreende as zonas onde se concentram os veios e a alteração hidrotermal, que se manifestam como corpos lenticulares assimétricos, inconstantes e descontínuos. Essa característica irregular desse depósito é retratada pela grande quantidade de lentes, mais de 60, que variam de 1,5 a 38 m, sendo 5,5 m a espessura média. Apesar de esse aspecto errático da mineralização, há concentração dessas zonas de minério na porção centro-sul do corpo interpretado, entre os furos BJ-18 e BJ-29. Nesse setor, as espessuras das lentes são maiores, assim como a sua continuidade. No geral, o minério apresenta-se entre as profundidades de 6 e 80 m e as cotas de 490 a 70 m.

Figura 118 – Imagem tridimensional dos sólidos do corpo mineralizado final (vista para norte).

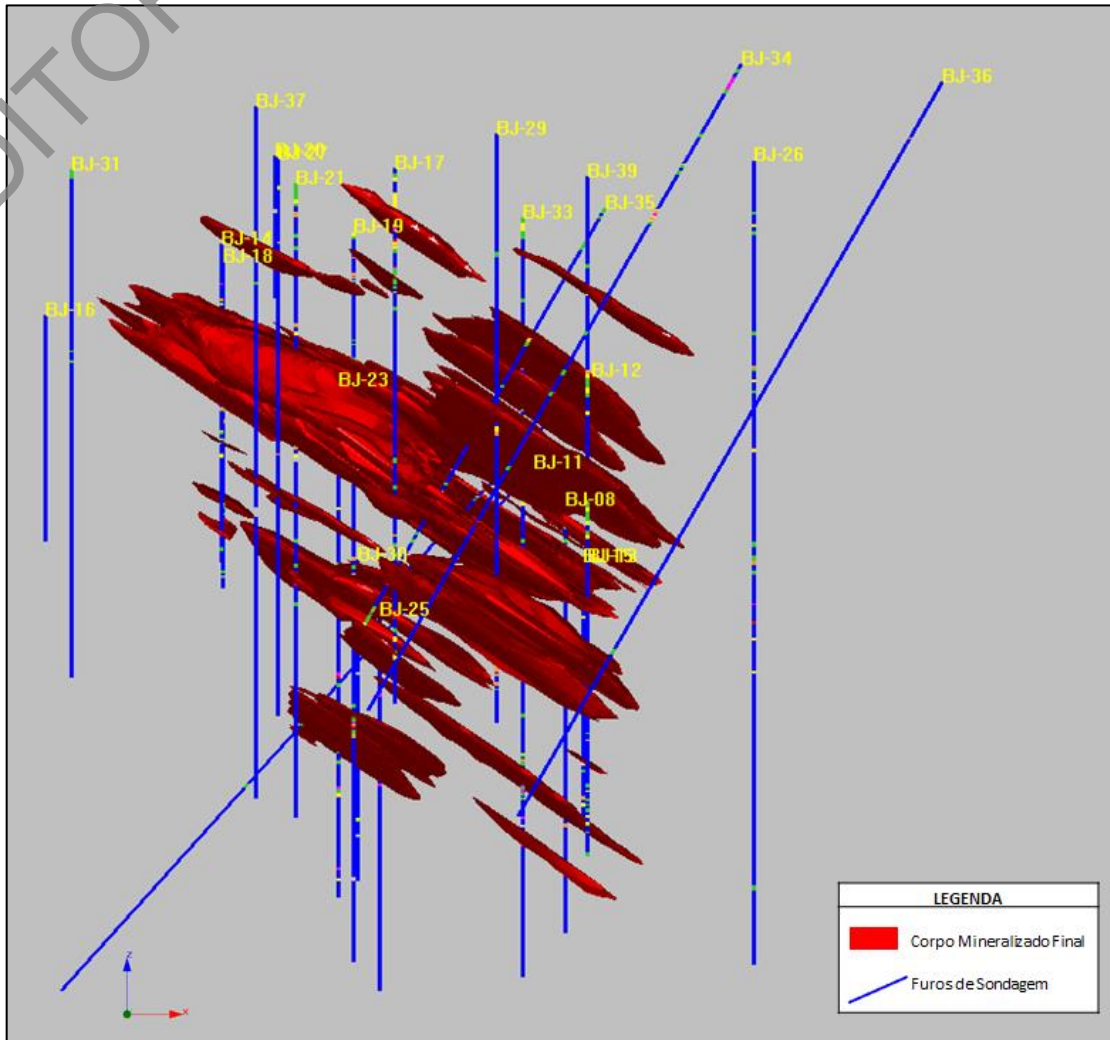
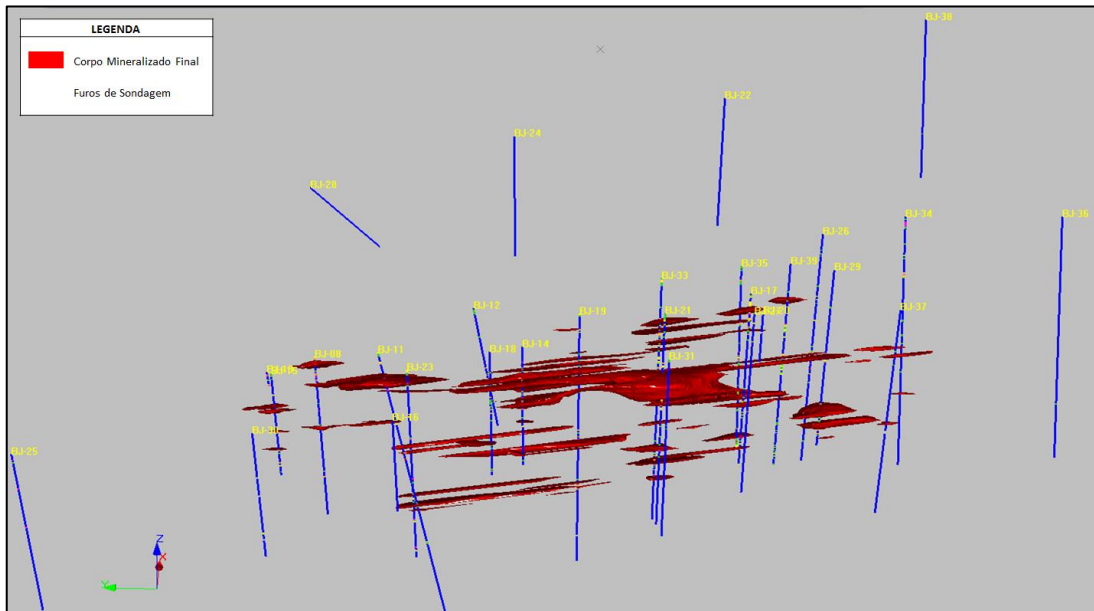


Figura 119 – Imagem tridimensional dos sólidos do corpo mineralizado final (vista para leste).



14 ESTIMATIVA DE RECURSOS

14.1 DEFINIÇÃO DE MODELO DE BLOCOS

Para estabelecimento dos recursos do depósito de Bom Jardim, foi criado um modelo de blocos para todas as lentes de minério (Quadro 18). Neste estudo, o tamanho do bloco nas direções X e Y foi definido como um quarto (1/4) da distribuição média da malha de sondagem (suporte amostral), que é, no geral, aproximadamente 100 m em ambas as direções. O comprimento no eixo Z foi estipulado como valor mínimo para tamanho de bancada, de acordo com os padrões de lavra. A rotação do modelo de blocos foi determinada por meio de uma ferramenta do Studio 3, que calcula as rotações que melhor se adequam aos wireframes a serem preenchidos.

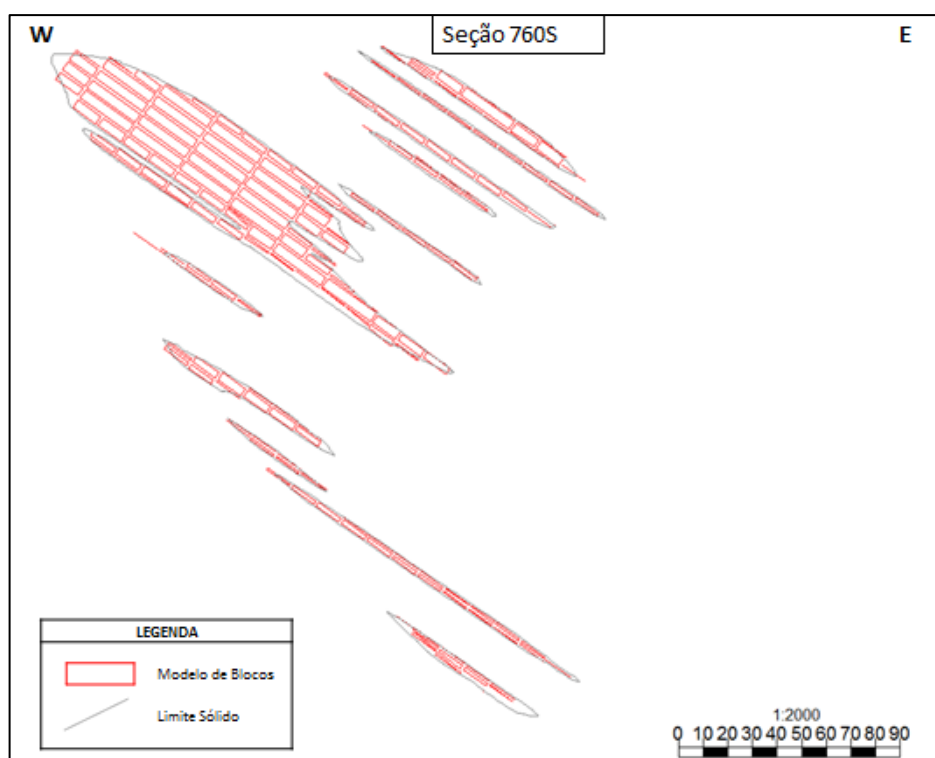
Ressalta-se que foram utilizados os mesmos parâmetros e validações no modelo preliminar e no modelo final; porém, nesta seção serão apresentados somente os resultados finais.

Quadro 18 – Parâmetros utilizados no modelo de blocos

Modelo de Blocos					
Eixos	Tamanho do Bloco	Origem UTM	Número de Blocos	Eixos	Rotação
X	25	377806.375	22	Z	-1
Y	25	8184265.500	39	Y	-35.76
Z	5	647.265	70	X	8.24

Após o preenchimento dos sólidos, procedeu-se a validações visuais, analisando-se a aderência do modelo de blocos às wireframes (Figura 120). É possível notar, pelas seções, boa aderência entre o modelo de blocos e as seções modeladas.

Figura 120 – Seção 760S: aderência do modelo de blocos aos sólidos interpretados.



Outra validação realizada foi a comparação dos volumes calculados pelos sólidos e pelo modelo de blocos (Quadro 19).

Quadro 19 – Comparação entre volumes calculados por *wireframes* e modelo de blocos

Comparação de Volumes (m ³)	
Wireframe	1.730.528,44
Modelo de Blocos	1.712.841,16
Diferença (%)	-1.022

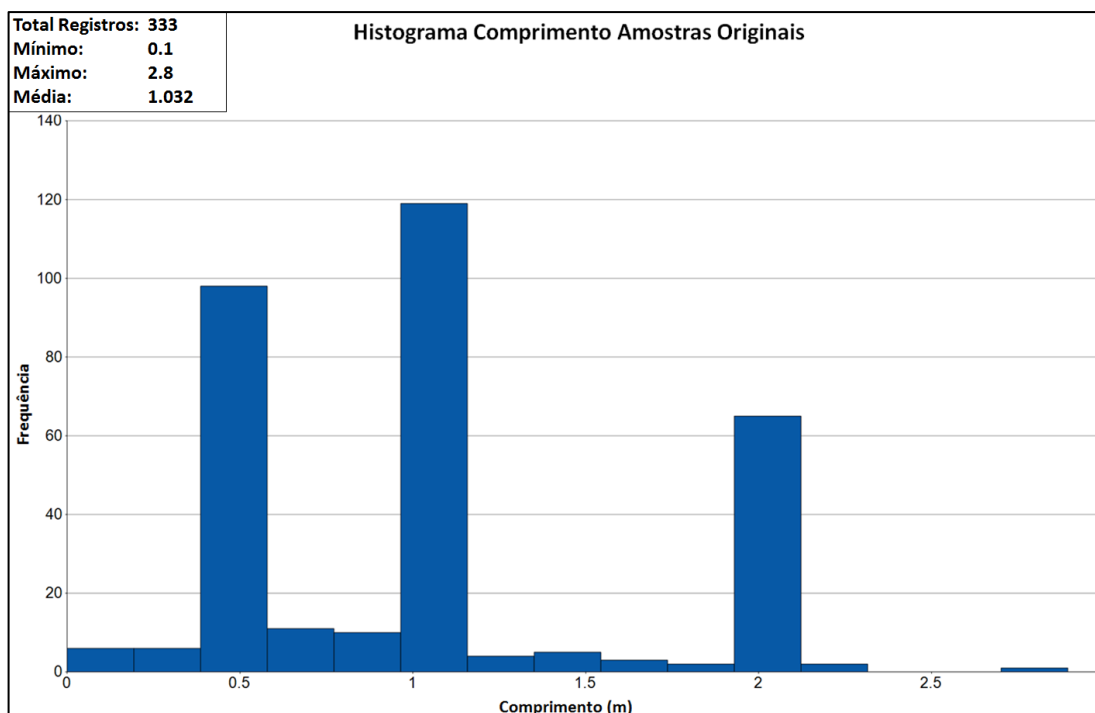
Pequenas diferenças – 1% entre os sólidos e o modelo – foram identificadas, devido à forma geométrica irregular dos corpos mineralizados e a suas espessuras variáveis e mergulho, não sendo possível o seu preenchimento na totalidade. A melhor aderência entre modelo de blocos e *wireframes* implicaria tamanhos de blocos muito reduzidos, fora dos padrões de lavra e do critério de estimativa aceitável de um quarto (1/4) do suporte amostral.

14.2 COMPOSITAGEM DAS AMOSTRAS

A compositagem consiste na regularização de todas as amostras ao mesmo comprimento, com o objetivo de se atingir uma amostragem uniforme, reduzindo o impacto da variabilidade aleatória e minimizando o efeito de média amostral. A compositagem ideal é aquela que mais se aproxima do teor médio das amostras originais e que gera o maior número de compostas possível, sem ultrapassar a quantidade de amostras originais.

As compostas para a estimativa de recursos só foram calculadas para os intervalos contidos dentro dos sólidos de minério. Portanto, do total de 4.192 amostras dos furos, somente 333 foram compositadas. O histograma apresenta a distribuição dos comprimentos dessas 333 amostras antes da compositagem, que variam de 0,1 a 2,8 m e apresentam tamanho médio de 1.032 m e teor médio de 0,417% de Cu (Figura 121). Analisando-se esse histograma, percebe-se que a amostragem realizada nos furos do Projeto Bom Jardim não seguiu qualquer sistemática, o que gerou amostras de diversos tamanhos.

Figura 121 – Distribuição do tamanho das amostras originais de minério.



Antes da compositagem foram testados diversos processos com parâmetros diferentes, para definir qual se aplicaria melhor aos dados em questão (Quadros 20 e 21). Foram, ainda, gerados gráficos de linhas (Figura 122) para cada uma das configurações, comparando-se os quatro processos em cada um deles.

A partir da análise dos gráficos, optou-se por utilizar o Processo 2 com a Configuração A, destacado em amarelo no Quadro 21. Dessa maneira, foram geradas 229 compostas, com comprimento médio de 1,5 m, mínimo de 1.175 m, máximo de 2,0 m e teor médio igual a 0.4165% de Cu. Após a geração das compostas, criou-se um novo histograma, com a distribuição dos tamanhos das compostas (Figura 123), e realizou-se uma validação visual nos arquivos, objetivando confirmar se foram respeitados os intervalos mineralizados.

Quadro 20 – Parâmetros utilizados nos testes de regularização do tamanho das amostras.

Configuração	Processo	Parâmetros		
		Intervalo (m)	Comprimento Mínimo	Ajuste Tamanho*
A	1	1.0	0.50	SIM
	2	1.5	0.75	SIM
	3	2.0	1.00	SIM
	4	6.0	3.00	SIM
B	1	1.0	0.50	NÃO
	2	1.5	0.75	NÃO
	3	2.0	1.00	NÃO
	4	6.0	3.00	NÃO
C	1	1.0	0.75	SIM
	2	1.5	1.00	SIM
	3	2.0	1.50	SIM
	4	6.0	4.50	SIM
D	1	1.0	0.75	NÃO
	2	1.5	1.00	NÃO
	3	2.0	1.50	NÃO
	4	6.0	4.50	NÃO

(*) O parâmetro Ajuste Tamanho é utilizado para forçar todas as amostras do mesmo furo a terem o mesmo comprimento.

Quadro 21 – Resultados obtidos nos testes de regularização das amostras

C O N F I G U R A Ç Õ E S	A	PROCESSO	COMPRIMENTO	MÉDIA Cu	MÉDIA DENSITY	COMPRIMENTO MÍNIMO	COMPRIMENTO MÉDIO	COMPRIMENTO MÁXIMO	INTERVALO	NÚMERO DE COMPOSTAS
		assay		0.41653285	2.57068223	0.10000000	1.03153000	2.80000000	2.70	332
		Processo 1	1 m	0.41653285	2.56881586	0.75000000	0.99565217	1.17500000	0.43	345
		Processo 2	1.5 m	0.41653285	2.56960591	1.17500000	1.50000000	2.00000000	0.83	229
		Processo 3	2 m	0.41653285	2.57675737	1.50000000	1.91899441	2.90000000	1.40	179
Processo 4	6 m	0.42152184	2.58599305	3.00000000	5.17786885	8.00000000	5.00	61		
B	assay		0.41653285	2.57068223	0.10000000	1.03153000	2.80000000	2.70	332	
	Processo 1	1 m	0.41618356	2.56979474	0.50000000	0.99173913	1.00000000	0.50	345	
	Processo 2	1.5 m	0.42041481	2.57667719	0.85000000	1.45218341	1.50000000	0.65	229	
	Processo 3	2 m	0.42006822	2.58040159	1.00000000	1.89692737	2.00000000	1.00	179	
	Processo 4	6 m	0.43287710	2.58950693	3.00000000	4.94098361	6.00000000	3.00	61	
C	assay		0.41653285	2.57068223	0.10000000	1.03153000	2.80000000	2.70	332	
	Processo 1	1 m	0.41653285	2.570681586	0.75000000	0.99565217	1.17500000	0.43	345	
	Processo 2	1.5 m	0.41653285	2.56960591	1.17500000	1.50000000	2.00000000	0.83	229	
	Processo 3	2 m	0.41653285	2.57675737	1.50000000	1.91899441	2.90000000	1.40	179	
	Processo 4	6 m	0.47109491	2.58918751	4.50000000	6.02435897	8.00000000	3.50	39	
D	assay		0.41653285	2.57068223	0.10000000	1.03153000	2.80000000	2.70	332	
	Processo 1	1 m	0.41896125	2.56979474	0.85000000	0.99897059	1.00000000	0.15	340	
	Processo 2	1.5 m	0.42182782	2.57667719	1.00000000	1.45748899	1.50000000	0.50	227	
	Processo 3	2 m	0.43082200	2.57728369	1.50000000	1.98765432	2.00000000	0.50	377	
	Processo 4	6 m	0.49824713	0.49824713	5.00000000	5.83333333	6.00000000	1.00	36	

Figura 122 – Gráficos comparativos dos resultados obtidos nos testes de regularização das amostras.

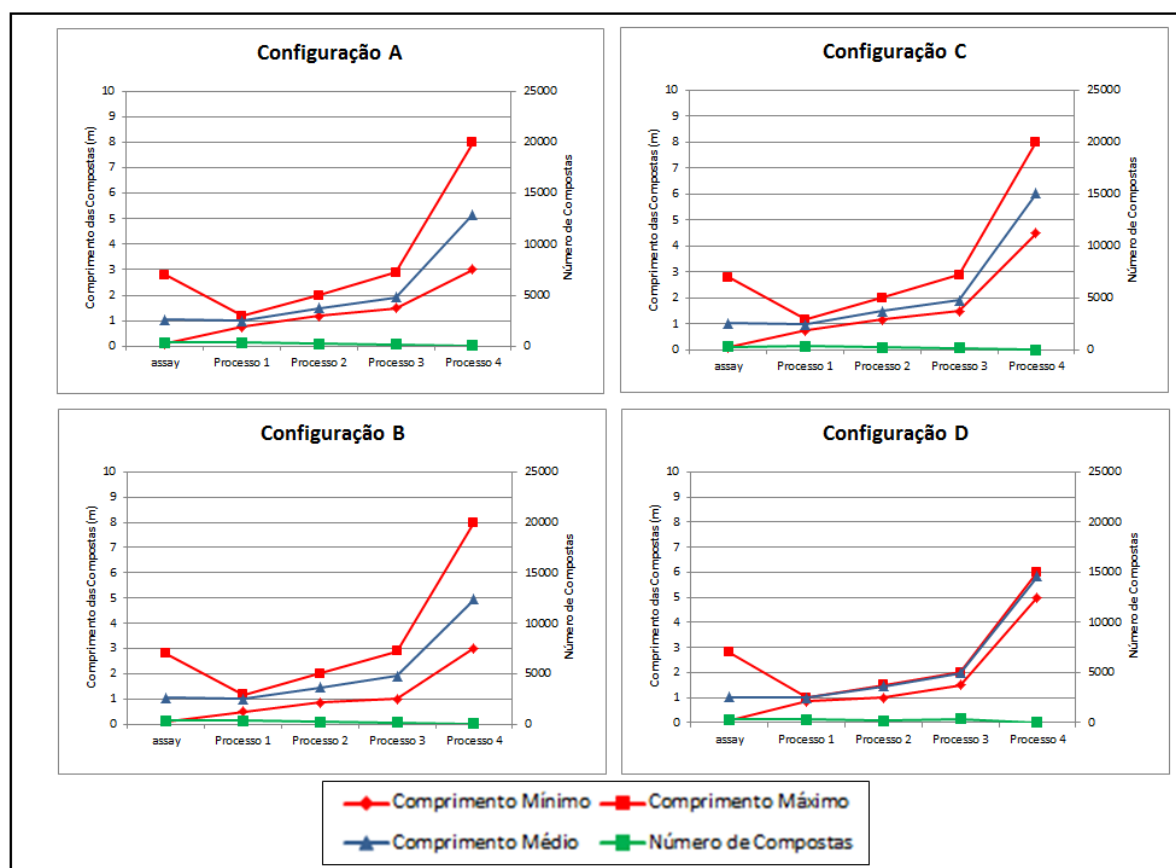
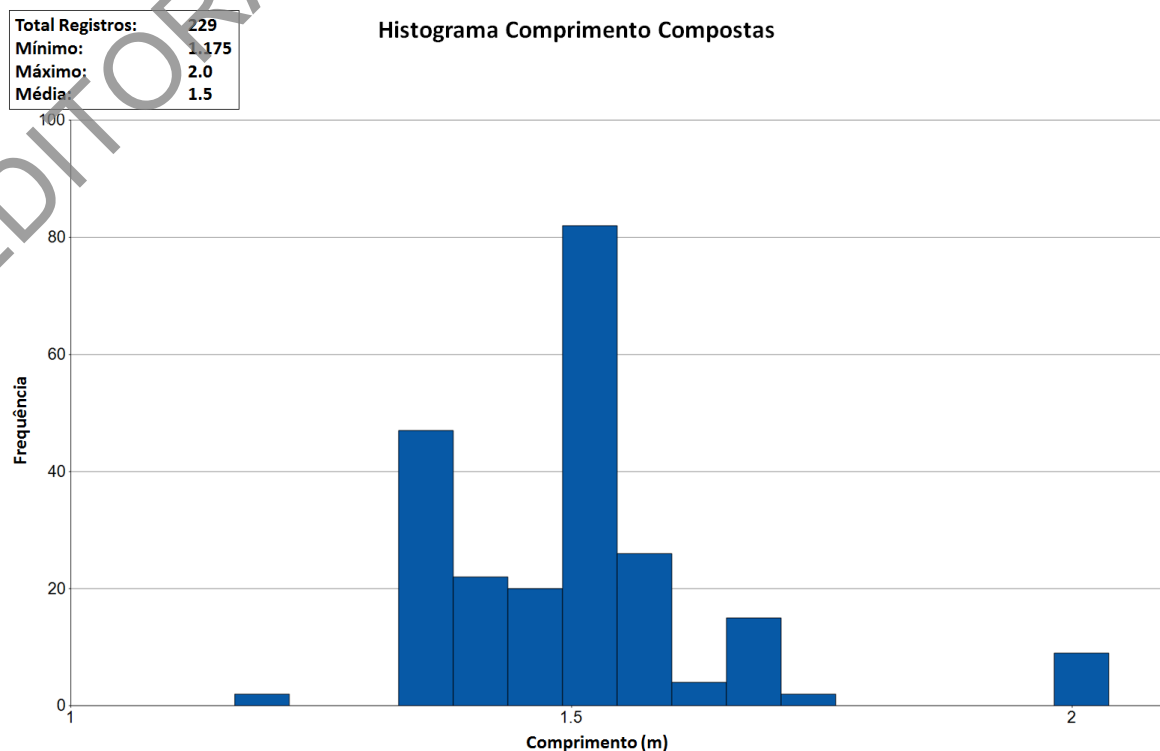


Figura 123 – Distribuição do tamanho das compostas geradas.

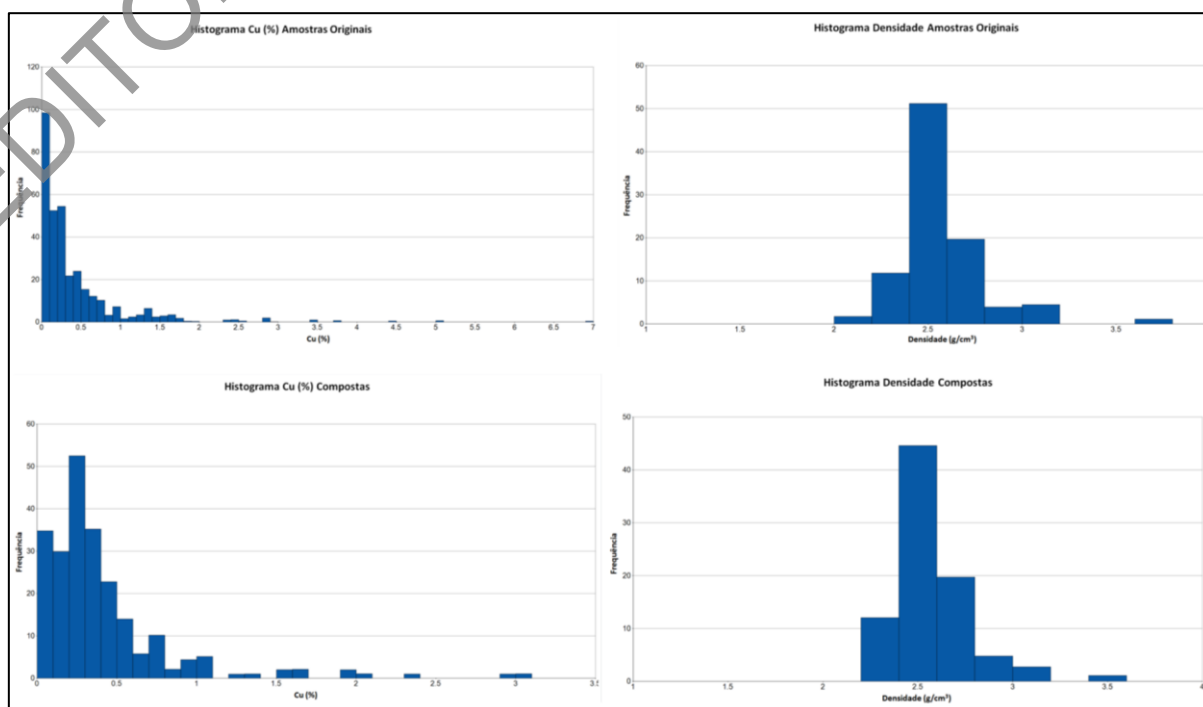
14.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As amostras foram estudadas sob o enfoque da estatística clássica, considerando as compostas geradas. Para as análises estatísticas (Tabela 5) e histográficas (Figura 124), utilizou-se o mesmo software da modelagem e estimativa CAE Mining Studio 3 versão 3.21.9646.

Tabela 5 – Resultados estatísticos obtidos a partir do tratamento dos dados de amostras originais e compostas posicionadas dentro dos sólidos mineralizados

Variáveis	Amostras Originais		Compostas	
	Cu (%)	Densidade (g/cm ³)	Cu (%)	Densidade (g/cm ³)
Total de Amostras	333	333	229	229
Total de Registros	333	94	229	85
Mínimo	0.002	2.18	0.004	2.24
Máximo	6.98	3.76	3.069	3.515
Média	0.417	2.571	0.417	2.57
Variância	0.386	0.051	0.204	0.038
Desvio-Padrão	0.621	0.225	0.452	0.196
Coefficiente de Variação	1.491	0.088	1.084	0.076
Skewness	4.166	2.25	2.948	1.857
Kurtosis	26.52	8.233	11.215	5.843
5° Percentil	0.009	2.34	0.011	2.34
10° Percentil	0.017	2.38	0.041	2.38
25° Percentil	0.075	2.46	0.161	2.44
50° Percentil	0.223	2.515	0.285	2.546
75° Percentil	0.553	2.62	0.485	2.62
90° Percentil	1.3	2.85	0.775	2.835
95° Percentil	1.75	3.04	1.25	2.97

Figura 124 – Histogramas de frequência com distribuição de Cu e densidade das amostras originais e amostras compostas posicionadas dentro dos sólidos mineralizados.



14.4 ESTIMATIVA DE RECURSOS E TEORES

O grau de confiabilidade dos recursos geológicos adotado neste trabalho classifica-se somente como recurso inferido com baixo nível de confiança. A má distribuição da malha de sondagem, a falta de perfilagem nos furos inclinados e a falta de coordenadas geodésicas tomadas em campo de alguns furos contribuíram para a baixa confiabilidade dos recursos estimados nesse depósito.

Para a estimativa final, foram definidos como amostras de minério somente as compostas com teor de Cu $\geq 0,2\%$ sem aplicar o capping. Utilizou-se a técnica de estimativa Inverso do Quadrado da Distância (IQD) com os parâmetros listados no Quadro 22 para estimar o teor de cobre e a densidade nos blocos (Figuras 125 e 126). Os raios do elipsoide de busca foram definidos a partir do espaçamento médio dos furos na malha de sondagem e pela morfologia do corpo mineralizado, que se apresenta alongado na direção Y.

Quadro 22 – Parâmetros utilizados na classificação de recursos

CRITÉRIOS	INFERIDO	
Mínimo de amostras	1	
Máximo de amostras	20	
Número mínimo de furos	1	
Dimensões X, Y e Z do elipsoide de busca (m)	100x200x2	
Rotações nos eixos do elipsoide de busca	Z	-1
	Y	-35.76
	X	8.24

Figura 125 – Imagem tridimensional dos recursos estimados classificados por faixas de teores de cobre (vista para leste).

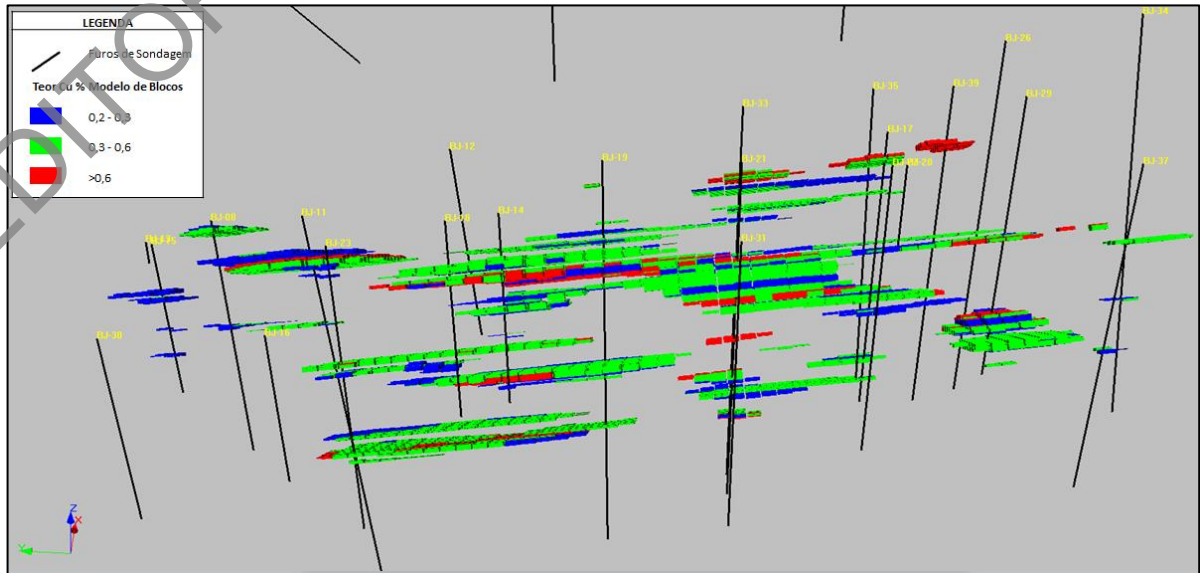
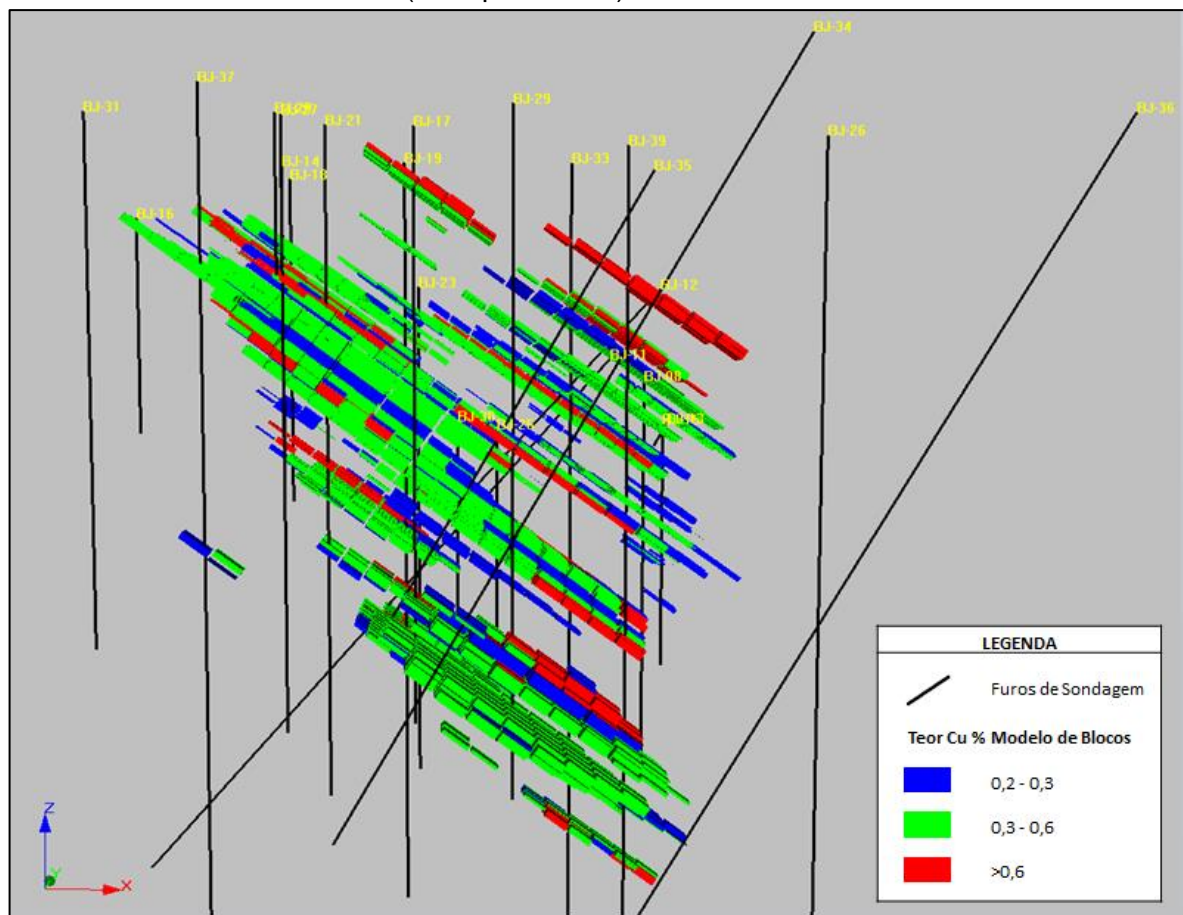


Figura 126 – Imagem tridimensional dos recursos estimados classificados por faixas de teores de cobre (vista para norte).



A fim de validar o método de estimativa utilizado no estudo, procedeu-se à comparação entre teores médios e densidades médias do modelo de blocos estimado e as compostas (Tabela 12).

O resultado garante que os teores dos blocos retratam o universo das amostras da sondagem, bem como as extrapolações realizadas nos recursos inferidos e resultados não tendenciados.

Tabela 6 – Comparação entre teores médios e densidades médias do modelo de blocos e das compostas

	Modelo de Blocos	Compostas	Diferença (%)
Cu (%)	0,43	0,42	4,17
Densidade	2,59	2,57	0,75

Considerando-se a qualidade dos dados primários (furos e amostras) utilizados nessa modelagem, a diferença entre os resultados encontrados para o modelo de blocos estimado e as compostas foi pequena – 4,17% e 0,75%, para o teor de cobre e densidade, respectivamente.

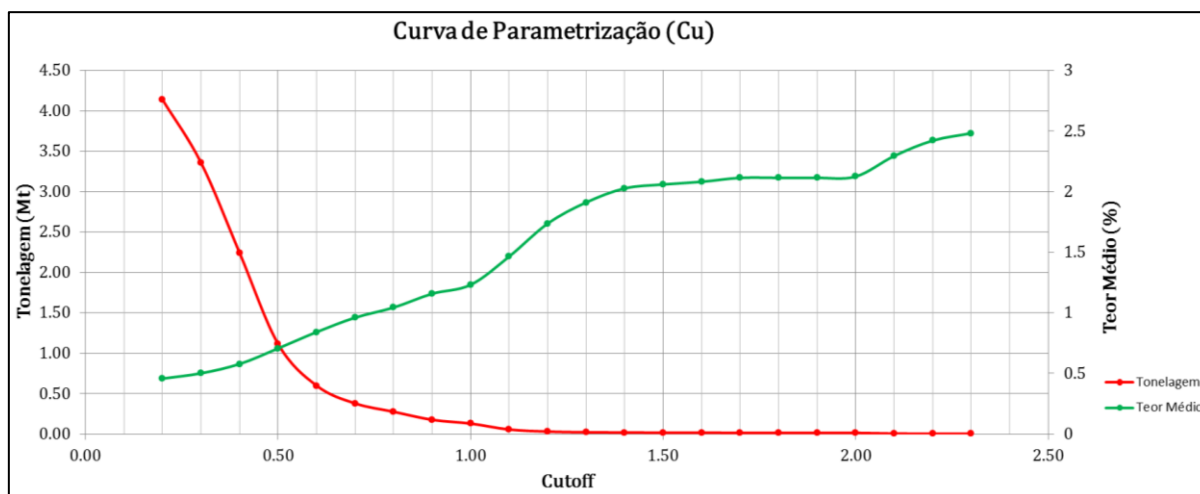
14.5 CLASSIFICAÇÃO DE RECURSOS

O modelamento geológico e as estimativas de recursos envolveram trabalhos de organização de dados de sondagem, importação de furos, interpretações das seções, elaboração de um modelo tridimensional por link da geologia da área e uma estimativa de recursos, sendo todas essas etapas devidamente apresentadas no corpo deste relatório. Como resultado, o total de recursos calculado corresponde a 4,43 milhões de toneladas de minério, com teor médio de 0,44% Cu (vide Quadro 1).

14.6 CURVA DE PARAMETRIZAÇÃO

As curvas de parametrizações de recurso total, considerando a variável Cu, são exibidas na Figura 127. A curva vermelha é lida no eixo “Tonelagem (Mt)” e a curva verde é lida no eixo “Teor médio (%)”. O eixo horizontal indica o cut-off considerado e vale para os dois eixos verticais.

Figura 127 – Parametrização de recurso total para cobre.



15 ESTUDOS DE BENEFICIAMENTO

15.1 MATERIAL UTILIZADO

15.1.1 Amostragem

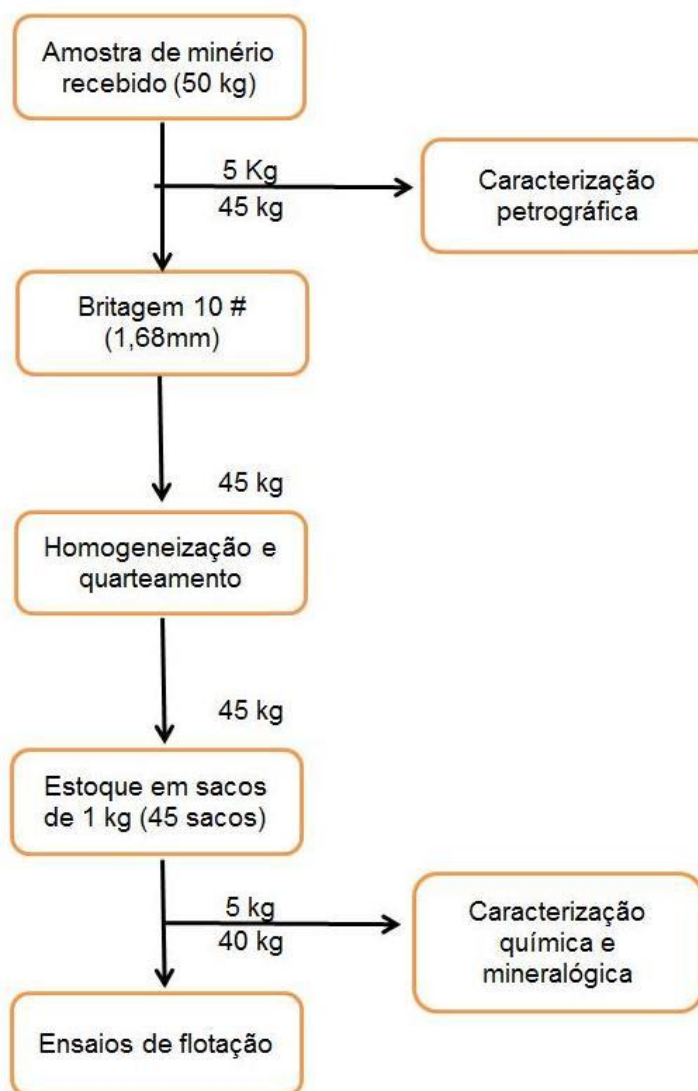
Para o estudo apresentado a seguir, foi utilizada amostra de 50 kg, estimando-se um teor de corte de 0,3% de Cu para a escolha da amostra dos furos de sondagem, buscando obter um teor médio de 0,5% de Cu na amostra global (Tabela 7).

Tabela 7 – Distribuição das amostras dos furos de sondagem

Nº Furo	Intervalo Selecionado	Espessura da Camada (m)	Teor Médio (% Cu)
BJ-11-GO	38,00-44,00	6,00	0,69
BJ-14-GO	36,00-40,50	4,50	0,48
BJ-17-GO	18,60-21,80	3,20	4,75
BJ-18-GO	34,00-42,20	8,20	0,5
BJ-21-GO	78,00-82,00	4,00	0,99
BJ-21-GO	90,00-96,00	6,00	0,59
BJ-21-GO	106,00-114,00	8,00	0,65
BJ-29-GO	117,00-121,00	4,00	0,82
BJ-29-GO	189,15-203,00	13,85	0,63

15.1.2 Preparação de amostra

Após recebimento do minério, selecionaram-se, inicialmente, algumas amostras de rochas por furos para estudos de petrografia. A partir daí, toda a amostra restante foi britada e quarteadada sequencialmente, de acordo com o fluxograma de preparação de amostra (Figura 128). Dessa forma, o minério proveniente dos seis furos de sondagem foi reunido em uma única amostra, a qual foi britada a 10 malhas (1,68 mm). O produto dessa britagem foi homogeneizado em pilhas e, posteriormente, estocado, após retomar-se alíquotas de 1 kg, destinadas aos estudos de caracterização química e mineralógica e ensaios de flotação.

Figura 128 – Fluxograma de preparação de amostra.

15.2 CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO

15.2.1 Caracterização petrográfica

Foram confeccionadas lâminas delgadas das diferentes amostras de rochas, as quais foram examinadas em microscópio. As amostras estudadas são do tipo cataclasito, de composições mineralógicas semelhantes às de diorito e quartzodiorito. Apresentam predominância de feldspatos (plagiocásios), quartzo, clorita, carbonato (calcita), opacos (sulfetos), apatita, biotita e sericita, titanita, zircão e epidoto secundário.

Os minerais opacos foram estudados em seção polida e identificados como pirita e calcopirita. Os sulfetos estão associados a feldspatos, quartzo, clorita e carbonato, os quais ocorrem preenchendo veios de aspectos irregulares.

15.2.2 Caracterização química e mineralógica

Nessa fase, ocorreram estudos de liberação, composição e associação mineralógica e composição química. A amostra média do minério (head sample) apresentou a seguinte composição química:

- Cu total: 0,48%
- Cu oxidado: 0,01%
- Cu (sulfeto): 0,47%

Na caracterização mineralógica, além da distribuição de cobre nas diversas frações granulométricas e grau de liberação, analisaram-se o tempo de moagem e a determinação do peso específico do minério. A partir desses resultados, procedeu-se ao estudo da composição modal, após moagem do minério a uma granulometria de liberação adequada para a separação das espécies minerais.

15.2.2.1 Distribuição de cobre nas diversas frações granulométricas

Procedeu-se à análise granulométrica com amostra de minério britado a 10 malhas e, a seguir, análise química de cada uma das frações (Tabela 8). Observa-se que as frações finas são mais ricas em cobre (Figuras 129 e 130).

Tabela 8 – Distribuição da porcentagem de Cu total nas frações granulométricas

Malha**(#)	Peso (%)		Cu Total (%)	Distribuição Cu (%)	
	Parcial	Retido		Parcial	Acumulado
10	0,70	0,70	0,18	0,27	0,27
14	13,87	14,57	0,18	5,13	5,40
20	26,94	41,51	0,26	14,37	19,77
28	16,78	58,29	0,44	15,15	34,92
35	12,06	70,35	0,43	10,66	45,58
48	5,93	76,28	0,61	7,43	53,01
65	5,63	81,91	0,67	7,74	60,75
100	4,42	86,33	0,83	7,53	68,28
150	2,41	88,74	0,94	4,66	72,94
200	2,11	90,85	1,04	4,50	77,44
270	1,31	92,15	1,19	3,20	80,64
325	1,01	93,17	1,43	2,96	83,60
-325	6,83	100,00	1,17	16,40	100,00
Alimentação	100,00		0,48*	100,00	

(*) Valor calculado. (**) Série de Tyler.

Figura 129 – Histograma de distribuição de Cu nas faixas granulométricas.

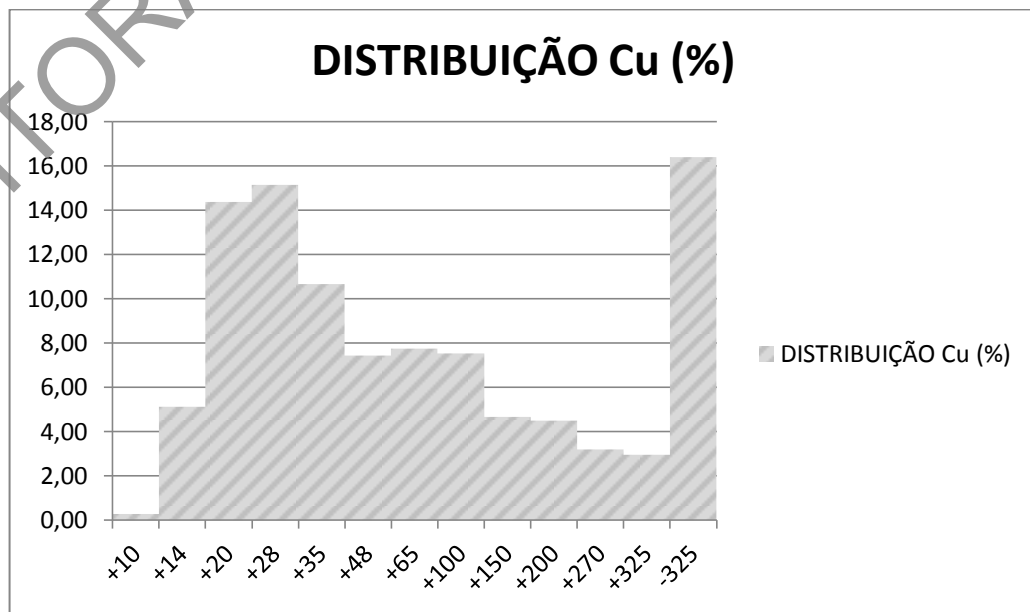
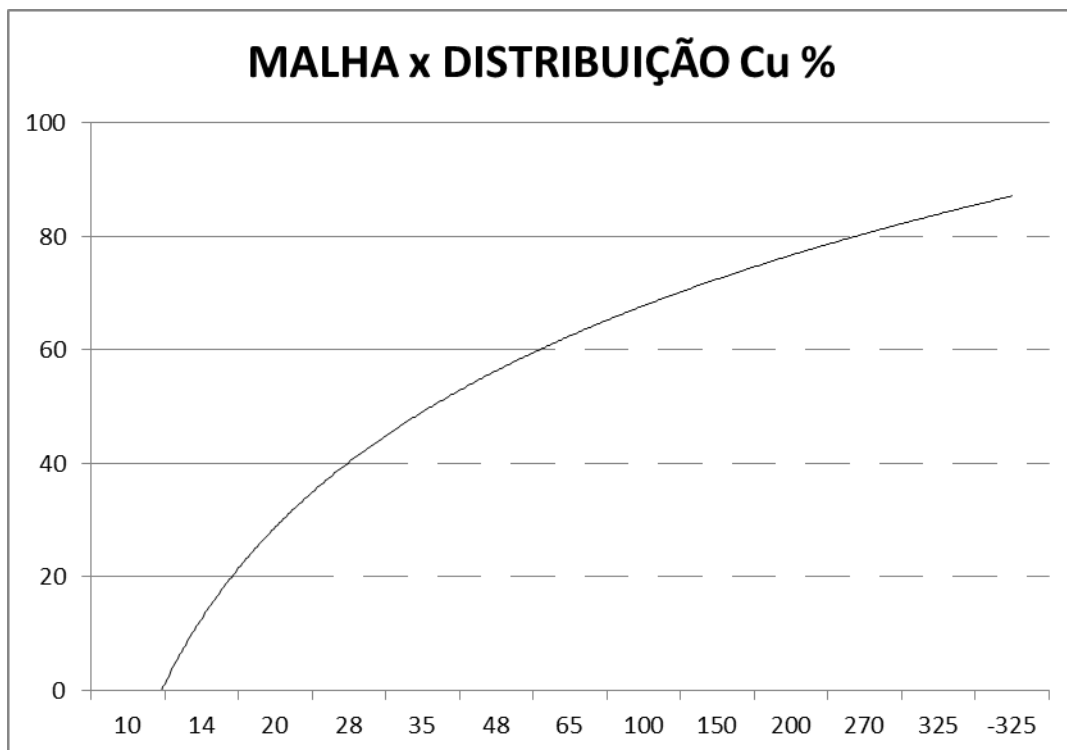


Figura 130 – Distribuição acumulativa de cobre.



15.2.2.2 Estudo de liberação

Para determinar a granulometria de liberação do cobre, foi utilizada amostra de 1,5 kg, após britagem a 28#. Após deslamagem em peneira de 325# e peneiramento (série Tyler) a seco da fração maior do que 325#, subsequentemente, cada fração granulométrica foi submetida à separação densimétrica em bromofórmio e iodeto de metileno (Quadro 23).

Quadro 23 – Ensaio densimétrico nas frações granulométricas

Malha (#)**	Peso (%)	Densidade	Peso (%)	Cu Total (%)	% Cu Total Distribuição
*35	29,78	< 2,8	92,20	0,06	20,70
		2,8-3,3	1,70	1,70	10,81
		> 3,3	6,10	3,00	68,49
			100,00	0,27*	100,00
*48	12,88	< 2,8	91,34	0,04	11,49
		2,8-3,3	2,36	1,24	9,22
		> 3,3	6,30	4,00	79,29
			100,00	0,32*	100,00
*65	10,86	< 2,8	87,97	0,04	7,96
		2,8-3,3	3,70	1,10	9,20
		> 3,3	8,33	4,40	82,84
			100,00	0,44*	100,00
*100	10,36	< 2,8	86,41	0,04	7,58
		2,8-3,3	4,85	0,77	8,17
		> 3,3	8,74	4,40	84,25
			100,00	0,46*	100,00
*150	6,14	< 2,8	83,61	0,04	5,42
		2,8-3,3	4,92	0,89	7,11
		> 3,3	11,47	4,70	87,47
			100,00	0,62*	100,00
*200	5,63	< 2,8	85,45	0,03	4,06
		2,8-3,3	3,64	1,06	6,11
		> 3,3	10,91	5,20	89,83
			100,00	0,63*	100,00
*270	3,32	< 2,8	87,88	0,06	8,67
		2,8-3,3	3,03	0,33	1,64
		> 3,3	9,09	6,00	89,69
			100,00	0,61*	100,00
*325	2,62	< 2,8	84,00	0,12	11,83
		2,8-3,3	4,00	0,19	0,89
		> 3,3	12,00	6,20	87,28
			100,00	0,85*	100,00
-325	18,41	-	-	0,78	-
Alimentação	100,00	-	-	0,48*	100,00
Head Sample	100,00	2,75	-	0,48*	100,00

(*) Valor calculado. (**) Série de Tyler.

Observa-se que, na fração -65+100 #, tem-se 84% de cobre no produto de densidade >3,3. Os 16% restantes permanecem nos produtos de menor densidade, obviamente, por não estarem suficientemente liberados. Para as frações granulométricas -100+150 e -150+200, os produtos de densidade >3,3 contêm, respectivamente, 87,5% e 89,8% de cobre presentes na fração. Esses dados são indicação de liberação razoável para o produto moído a -100#. Observações ao microscópio confirmaram esses resultados e conclui-se que seria necessária moagem abaixo de 100# para os estudos de flotação.

Para determinação do tempo de moagem necessário para atingir a malha de liberação, executaram-se testes de moagem em diferentes tempos de 20, 25, 30, 35 e 40 minutos, seguidos de análises granulométricas dos produtos obtidos. Com base nesses testes, foi escolhido o tempo de 35 minutos para cominuir o minério para a etapa de flotação. As características do moinho e condições adotadas nos testes foram as seguintes:

- Dimensões internas do moinho: 15,50 cm x 30,60 cm
- 10 moinhos de barras: 2,50 x 29,50 cm

- Minério (carga): 1 kg
- Porcentagem de sólido na moagem: 66,7%
- Velocidade de rotação do moinho: 87 rpm

15.2.2.3 Estudo de composição mineralógica

Com a finalidade de determinar a composição mineralógica do minério, procedeu-se à moagem na granulometria de liberação, utilizando-se 1 kg de amostra de minério. Após a moagem, fez-se deslamagem em 20 μ , com base na lei de Stokes; a fração maior que 20 μ foi submetida à separação densimétrica em bromofórmio e iodeto de metileno, e a menor que 20 μ foi enviada para análise química.

A fração maior que 20 μ foi separada por densidade (<2,8, 2,8-3,3, >3,3) para determinação quantitativa ao microscópio, por meio de contagem de pontos em lâminas de grãos e seção polida de briquete (Quadro 24).

Quadro 24 – Composição mineralógica do minério de cobre

Composição do Minério de Cobre	Peso (%)
Feldspatos	81,00
Sulfetos	8,00
Quartzo	6,00
Clorita	2,00
Calcita	1,00
Outros (apatita, biotita, titanita etc.)	2,00

O exame de produto de densidade >3,3 em luz refletida, isoladamente, revelou a composição dos sulfetos (Quadro 25).

Quadro 25 – Composição dos sulfetos

Sulfetos	Peso (%) Aproximado
Pirita	70,00
Calcopirita	30,00

Com relação à fração -20 μ , a análise química realizada apresentou teor de 0,59% Cu total. Esse resultado, comparado ao teor de amostra média do minério (0,48% Cu total), praticamente não difere da composição do minério. Fez-se o descarte da fração do minério -20 μ para o estudo mineralógico apenas para facilitar os exames ao microscópio. Entretanto, verificada a ausência de partículas argilosas, não foi preciso deslamar as amostras para os ensaios de flotação.

Constatou-se que a ganga é constituída, predominantemente, de feldspatos e o sulfeto de cobre é, essencialmente, calcopirita. Supõe-se, ainda, existirem partículas mistas de feldspatos mais calcopirita, cujas densidades variam entre 2,8 e 3,3.

Para partículas mistas de feldspatos mais calcopirita, com densidade $\leq 2,8$, a porcentagem em peso de calcopirita é $\leq 7\%$, enquanto com densidade $\leq 3,3$, a porcentagem de calcopirita passa para $\geq 40\%$. Conclui-se, então, que partículas mistas de feldspatos mais calcopirita com densidade ≥ 3 possuem valor $\geq 20\%$ em peso de calcopirita. Consequentemente, poderão se adsorvidas e flotadas.

15.3 ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

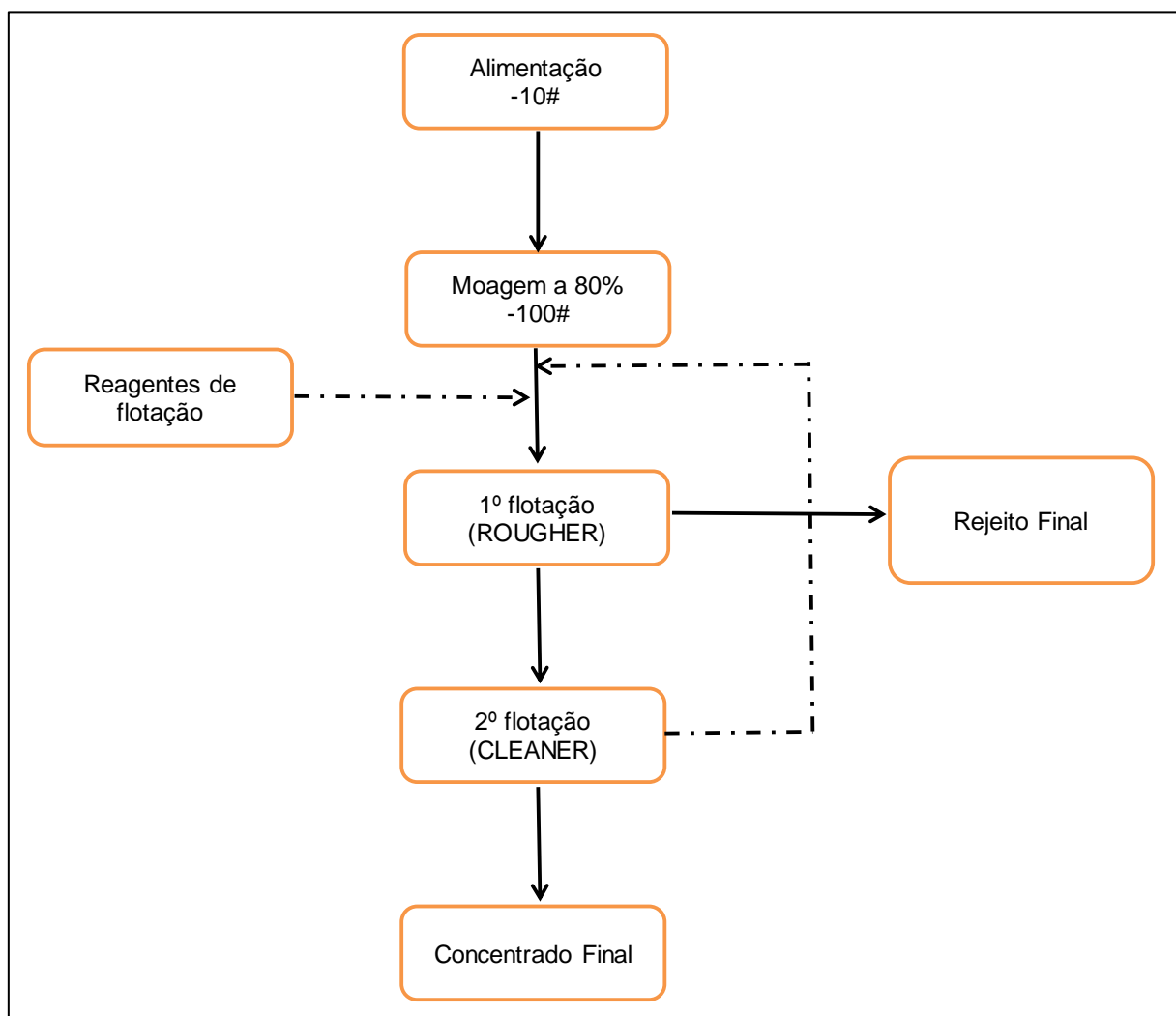
15.3.1 Metodologia

Para os ensaios de flotação, uma carga de 1.000 g do minério (-10#) foi moída em moinho de barras, 80% abaixo de 100#, trabalhando-se com uma porcentagem de sólidos de 66%. Após a moagem, o produto foi levado a uma célula de flotação, tipo Galigher, modelo LA-500, e diluído a uma densidade de polpa adequada para o teste.

Nos ensaios efetuados preliminarmente, foram estudados o pH da polpa, os diferentes tipos de coletores e a concentração de espumante. Sob esse detalhamento básico estabelecido, verificou-se, inicialmente, que era desnecessária a inclusão de uma operação de deslamagem anterior à flotação. Na Figura 131 apresenta-se um fluxograma das operações envolvidas, nas quais foram pesquisadas as seguintes variáveis:

- pH de polpa: 10-12.
- Coletores: Isopropil xantato de sódio; Minerec e Z-200, todos a 120g/t.
- Espumante: Dow Froth 250, 100-300 g/t.

Figura 131 – Fluxograma de flotação do cobre em dois estágios.



Em todos os ensaios, foram mantidos constantes os seguintes parâmetros:

- Granulometria da alimentação: 80% <100#.
- Tempo de condicionamento: 8 minutos.
- Tempo de flotação Rougher: 2,5 minutos.
- Tempo de flotação Cleaner: 1 minuto.
- Porcentagem de sólido na flotação Rougher: 25%.

Visando a determinar o tempo ótimo de flotação, foram efetuados dois ensaios de flotação sequencial, utilizando-se os seguintes reagentes: Z-200, 120 g/t; Minerec, 120 g/t; Dow Froth 250, 300 g/t; CaO (pH), 10.

Observa-se que, para distintos coletores, os tempos de flotação são diferentes. Para o coletor Z-200, no tempo de flotação de 2,5 minutos (melhor tempo), obteve-se um concentrado com teor de 4,28% Cu e recuperação de 89,2%. Quanto ao coletor Minerec, no tempo de flotação de 1,5 minutos (melhor tempo), obteve-se um concentrado com teor de apenas 2,5% Cu, porém com recuperação de 94,5%. Atribuem-se esses baixos teores ao nível de pH = 10 (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de flotação sequencial em intervalos de tempo de 0,5, 1,5, 2,5 e 3,5 minutos, utilizando o coletor Z-200

Produtos	Tempo de Flotação (min)	Peso (%)	Peso Acumulado (%)	% Cu Concentrado		% Rejeito Acumulado		Recuperação (%)
				Parcial	Acumulado	Peso	Teor Cu	
Concentrado 1	0,5	5,62	5,62	6,40	6,40	94,38	0,14*	73,24
Concentrado 2	1,5	4,73	10,35	1,34	4,09	89,65	0,08*	86,15
Concentrado 3	2,5	4,70	15,05	0,32	2,91	84,95	0,06*	89,21
Concentrado 4	3,5	1,98	17,03	0,16	2,59	82,97	0,06	89,86
Rejeito Final	-	82,97	100,00	0,06	-	-	-	-
Alimentação	-	100,00	-	0,49*	-	-	-	100,00

(*) Valor calculado.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de flotação sequencial em intervalos de tempo de 0,5, 1,0, 1,5 e 2 minutos, utilizando o coletor Minerec

Produtos	Tempo de Flotação (min)	Peso (%)	Peso Acumulado (%)	% Cu Concentrado		% Rejeito Acumulado		Recuperação (%)
				Parcial	Acumulado	Peso	Teor Cu	
Concentrado 1	0,5	13,66	13,66	3,19	3,19	86,34	0,07*	87,79
Concentrado 2	1,0	2,93	16,59	0,89	2,78	83,41	0,04*	93,05
Concentrado 3	1,5	2,15	18,74	0,33	2,50	81,26	0,03*	94,48
Concentrado 4	2,0	1,87	20,61	0,19	2,29	79,39	0,03	95,21
Rejeito Final	-	79,39	100,00	0,03	-	-	-	-
Alimentação	-	100,00	-	0,49*	-	-	-	100,00

(*) Valor calculado.

15.3.2 Resultados obtidos em dois estágios

Os resultados dos ensaios realizados em dois estágios de flotação, bem como as condições em que os referidos ensaios foram realizados, são apresentados nos Quadros 26 a 28. Das variáveis mencionadas anteriormente, apenas a concentração de espumante foi mantida constante, ou seja, Dow Froth 250, 300 g/t.

Quadro 26 – Ensaio de flotação utilizando coletor Z-200

Teste N°	Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Distribuição Cu (%)	pH
1	Concentrado Cleaner	4,46	8,98	82,36	10,00
	Rejeito Cleaner	6,78	0,48	6,68	
	Rejeito Rougher	88,76	0,06	10,96	
	Alimentação Rougher	100,00	0,49*	100,00	
2	Concentrado Cleaner	4,01	10,40	80,44	11,00
	Rejeito Cleaner	8,75	0,46	7,77	
	Rejeito Rougher	87,24	0,07	11,79	
	Alimentação Rougher	100,00	0,52*	100,00	
3	Concentrado Cleaner	3,64	11,07	80,10	11,50
	Rejeito Cleaner	8,14	0,47	7,61	
	Rejeito Rougher	88,22	0,07	12,29	
	Alimentação Rougher	100,00	0,52*	100,00	
4	Concentrado Cleaner	4,17	9,70	86,95	12,00
	Rejeito Cleaner	8,87	0,39	7,44	
	Rejeito Rougher	86,96	0,03	5,61	
	Alimentação Rougher	100,00	0,47*	100,00	

(*) Valor calculado.

Quadro 27 – Ensaio de flotação utilizando coletor Isopropil Xantato (Z-11)

Teste N°	Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Distribuição Cu (%)	pH
5	Concentrado Cleaner	9,01	4,68	90,86	10,00
	Rejeito Cleaner	10,98	0,24	5,69	
	Rejeito Rougher	80,01	0,02	3,45	
	Alimentação Rougher	100,00	0,46*	100,00	
6	Concentrado Cleaner	10,27	5,00	92,24	11,00
	Rejeito Cleaner	7,39	0,25	3,32	
	Rejeito Rougher	82,34	0,03	4,44	
	Alimentação Rougher	100,00	0,56*	100,00	
7	Concentrado Cleaner	6,39	6,30	89,43	12,00
	Rejeito Cleaner	11,51	0,20	5,11	
	Rejeito Rougher	82,10	0,30	5,46	
	Alimentação Rougher	100,00	0,45*	100,00	

(*) Valor calculado.

Quadro 28 – Ensaio de flotação utilizando coletor Minerec

Teste N°	Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Distribuição Cu (%)	pH
8	Concentrado Cleaner	10,41	3,80	91,87	10,00
	Rejeito Cleaner	14,22	0,14	4,62	
	Rejeito Rougher	75,37	0,02	3,51	
	Alimentação Rougher	100,00	0,43*	100,00	
9	Concentrado Cleaner	6,56	5,90	88,60	11,00
	Rejeito Cleaner	12,46	0,27	7,69	
	Rejeito Rougher	80,98	0,02	3,71	
	Alimentação Rougher	100,00	0,44*	100,00	
10	Concentrado Cleaner	5,76	7,18	86,06	12,00
	Rejeito Cleaner	11,06	0,38	8,74	
	Rejeito Rougher	83,18	0,03	5,20	
	Alimentação Rougher	100,00	0,48*	100,00	

(*) Valor calculado.

Os resultados dos ensaios de flotação, em dois estágios considerados de maior eficiência, baseados em interpretações de ensaios anteriores, são apresentados nos Quadros 29 a 31. Nas condições em que foram realizados, destacam-se o nível de pH = 12, considerado melhor pH, e a concentração de espumante com 100 g/t (Dow Froth 250).

Quadro 29 – Balanço metalúrgico do teste nº 11

Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Recuperação (%)		Reagentes g/t		pH
			Parcial	Total	Z-200	Dow Froth 250	
Concentrado Rougher	8,05	5,00*	87,95	-	-	-	-
Rejeito Rougher	91,95	0,06	-	-	-	-	-
Alimentação Rougher	100,00	0,46*	-	-	120,00	100,00	12,00
	-	-	-	70,64	-	-	-
Concentrado Cleaner	2,58	12,51	80,31	-	-	-	-
Rejeito Cleaner	5,47	1,45	-	-	-	-	-
Alimentação Cleaner	8,05	5,00*	-	-	-	-	11,70

(*) Valor calculado.

Quadro 30 – Balanço metalúrgico do teste nº 12

Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Recuperação (%)		Reagentes g/t		pH
			Parcial	Total	Isopropil Xantato	Dow Froth 250	
Concentrado Rougher	9,12	4,76*	87,23	-	-	-	-
Rejeito Rougher	90,88	0,07	-	-	-	-	-
Alimentação Rougher	100,00	0,50*	-	-	120,00	100,00	12,00
	-	-	-	75,74	-	-	-
Concentrado Cleaner	3,16	11,94	86,83	-	-	-	-
Rejeito Cleaner	5,96	0,96	-	-	-	-	-
Alimentação Cleaner	9,12	4,76*	-	-	-	-	11,50

(*) Valor calculado.

Quadro 31 – Balanço metalúrgico do teste nº 13

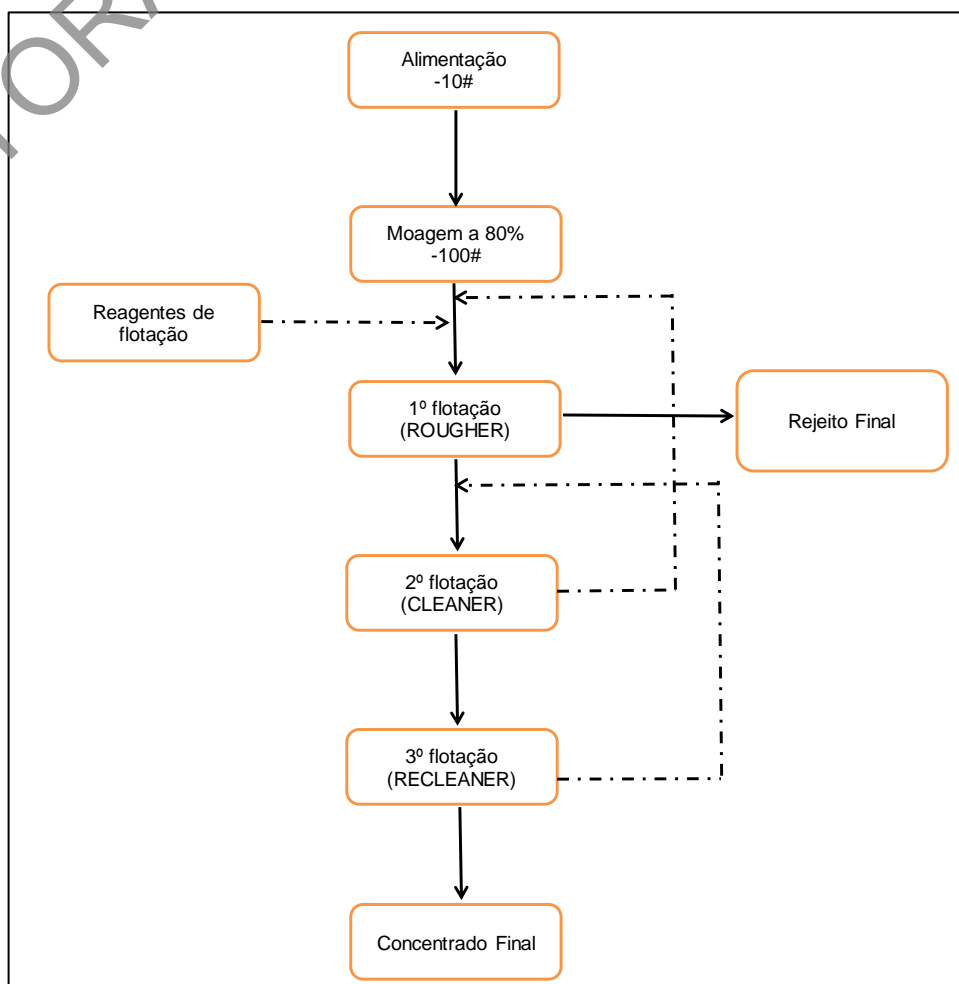
Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Recuperação (%)		Reagentes g/t		pH
			Parcial	Total	Isopropil Xantato	Dow Froth 250	
Concentrado Rougher	6,98	6,21*	90,19	-	-	-	-
Rejeito Rougher	93,11	0,05	-	-	-	-	-
Alimentação Rougher	100,00	0,47*	-	-	120,00	100,00	12,00
	-	-	-	81,24	-	-	-
Concentrado Cleaner	3,35	11,51	90,08	-	-	-	-
Rejeito Cleaner	3,54	1,20	-	-	-	-	-
Alimentação Cleaner	6,89	6,21*	-	-	-	-	11,70

(*) Valor calculado.

15.3.3 Resultados obtidos em três estágios

Nas mesmas condições retromencionadas, com os parâmetros mantidos constantes, procedeu-se ao ensaio de flotação em três estágios (Rougher, Cleaner e Recleaner) (Figura 132). Utilizaram-se Minerex (melhor coletor) e Dow Froth 250 nas concentrações de 120 g/t e 100g/t, respectivamente, para um nível de pH 12 (Quadro 32).

Figura 132 – Fluxograma de flotação de cobre em três estágios.



Quadro 32 – Resultados dos ensaios de flotação em três estágios

Produto	Peso (%)	Teor Cu (%)	Recuperação Cu (%)	
			Parcial	Total
Concentrado Rougher	3,73	11,03*	81,04	81,04
Rejeito Rougher	96,27	0,10	-	-
Alimentação Rougher	100,00	0,51*	-	-
Concentrado Cleaner	1,42	22,82*	78,74	63,81
Rejeito Cleaner	2,31	3,79	-	-
Alimentação Cleaner	3,73	11,03*	-	-
Concentrado Recleaner	1,16	26,92	96,36	61,49
Rejeito Recleaner	0,26	4,53	-	-
Alimentação Recleaner	1,42	22,82*	-	-

(*) Valor calculado.

Analisando-se o Quadro 32, observa-se que, utilizando uma operação de recleaner, foi possível a obtenção de concentrado com 27% de Cu e recuperação de 62%. Considerando-se, porém, a recirculação de mistos, de acordo com o fluxograma da Figura 132, um cálculo aproximado indica que a recuperação poderia atingir 81% para um concentrado para aquele teor.

Para efeito de apreciação dos teores obtidos, deve-se levar em consideração que, dada a composição do minério estudado, o teor máximo teórico possível de se obter seria de 35% de Cu. Embora o teor do minério estudado seja relativamente baixo, sua composição mineralógica mostrou-se bastante favorável ao processo de flotação.

Diante do exposto, os resultados obtidos referentes ao teor e à recuperação podem ser considerados satisfatórios no que concerne à viabilidade técnica do tratamento do minério utilizando-se a flotação.

16 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

16.1 ASPECTOS MERCADOLÓGICOS DO COBRE NO MUNDO

16.1.1 Reservas

As reservas mundiais de minério de cobre registraram em 2016, de acordo com o USGS (2017), 720 milhões de toneladas em metal contido, o que representa um aumento de 30 mil toneladas em relação ao ano de 2013 (Tabela 11). Já as reservas lavráveis brasileiras de cobre, em 2014, conforme o Sumário Mineral 2015 (DNPM, 2016a), somaram 10,8 milhões toneladas de Cu contido, apresentando uma diminuição de 2,7%, comparando-se com o ano de 2013. O país não figura entre os que detêm as maiores reservas desse metal, contando com apenas 1,55% das reservas mundiais, considerando-se o ano de 2014.

Tabela 11 – Reservas e produção mundial de cobre contido

Discriminação	Reservas (10 ³ toneladas)			
	2013	2014	2015	2016
Países				
Brasil*	11.145	10.844	-	-
EUA	39.000	35.000	33.000	35.000
Austrália	87.000	93.000	88.000	89.000
Canadá	10.000	11.000	11.000	11.000
Chile	190.000	209.000	210.000	210.000
China	30.000	30.000	30.000	28.000
Congo	20.000	20.000	20.000	20.000
México	38.000	38.000	46.000	46.000
Peru	70.000	68.000	82.000	81.000
Rússia	30.000	30.000	30.000	30.000
Zâmbia	20.000	20.000	20.000	20.000
Outros Países	144.855	135.156	150.000	150.000
Total Mundo	690.000	700.000	720.000	720.000

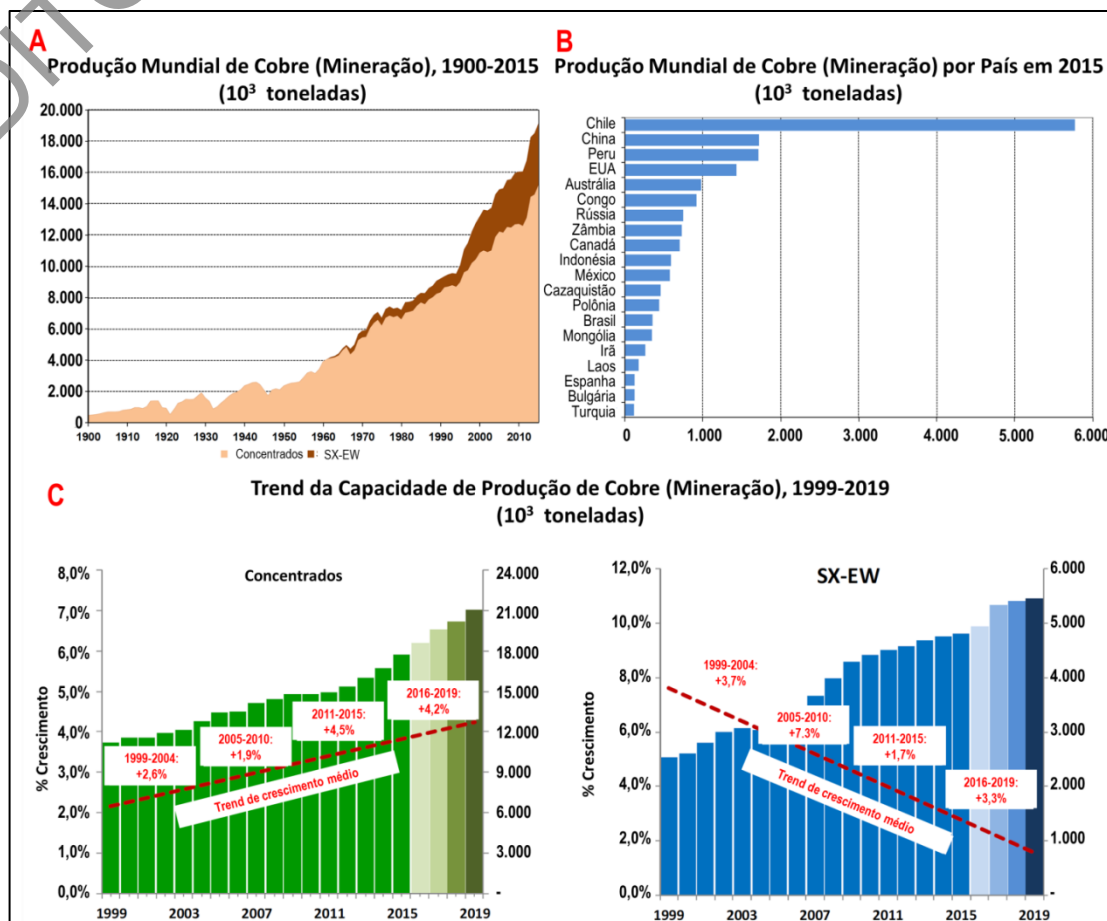
Fonte: Modificado de USGS, 2014, 2015, 2016, 2017.

(*) Os dados sobre as reservas brasileiras foram extraídos de DNPM, 2014, 2016a.

16.1.2 Produção

Desde 1900, a produção mundial de cobre (mineração) cresceu cerca de 3,2% por ano, até atingir, aproximadamente, 19,1 milhões de toneladas em 2015 (ICSG, 2016) (Figura 133A). O maior produtor foi o Chile, com quase 5,76 t, o que corresponde a cerca de um terço da produção mundial (Figura 133B). A produção brasileira de cobre a partir da mineração foi a décima quarta maior do mundo no ano de 2015. Estima-se que a capacidade de mineração de cobre atinja 26,5 milhões de toneladas em 2019 (Figura 133C).

Figura 133 – A) Evolução da produção mundial de cobre (mineração) de 1900 a 2015. B) Distribuição da produção mundial (2015) de cobre (mineração) por país. C) Trends da capacidade de mineração de cobre (concentrados e SX-EW) de 1999 até 2019.



Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

O Chile possui oito das 20 maiores minas de cobre em capacidade. Apesar de o Brasil ser o décimo quarto maior minerador de cobre mundial, nenhuma de suas minas figura entre as 20 maiores em capacidade no mundo (Quadro 33).

Segundo o ICSG (2016), em 2015 a produção mundial de cobre por fundição atingiu 18,6 milhões de toneladas (Figura 134A). A fundição primária utiliza os concentrados da mineração como principal fonte. Já a fundição secundária reutiliza sucatas de cobre. O Brasil, em 2015, foi o décimo nono maior produtor mundial de cobre a partir de processos pirometalúrgicos (Figura 134B). Porém, nenhuma indústria brasileira encontra-se entre as 20 maiores produtoras de cobre pirometalúrgico no mundo (Quadro 34).

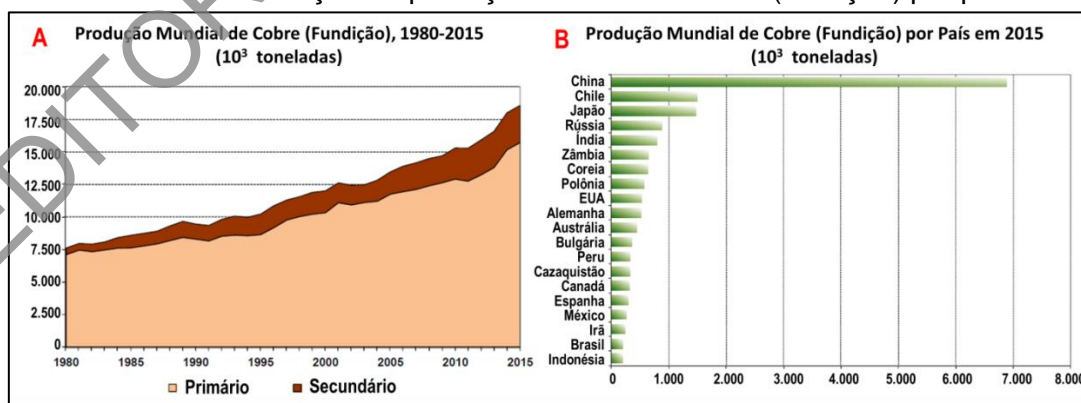
Com o aparecimento da tecnologia de extração por SX-EW (Solvent Extraction-Electrowinning), a produção de cobre refinado a partir da lixiviação de minérios cresceu de 1% no final dos anos de 1960 para 17% da produção mundial em 2015 (ICSG, 2016) (Figura 135A). O Brasil ocupa a décima nona posição na produção mundial de cobre refinado (Figura 135B); porém, nenhuma refinaria brasileira figura entre as 20 maiores em capacidade de produção no mundo (Quadro 35).

Quadro 33 – Vinte maiores minas de cobre em capacidade no mundo

Top 20 Minas de Cobre em Capacidade (Ano 2016)					
	Mina	País	Companhias Proprietárias	Fonte	Capacidade (10³ t)
1	Escondida	Chile	BHP Billinton (57,5%), Rio Tinto Corp. (30%), Japan Escondida (12,5%)	Concentrados e SX-EW	1200
2	Grasberg	Indonésia	P.T. Freeport Indonesia Co., (PT-FI), Rio Tinto	Concentrados	780
3	Morenci	EUA	Freeport-McMoRan Inc 72%, 28% afiliados Sumitomo Corporation	Concentrados e SX-EW	520
4	Buena Vista del Cobre	México	Grupo Mexico	Concentrados e SX-EW	510
5	Collahuasi	Chile	Anglo American (44%), Glencore plc (44%), Mitsui (8,4%), JX Holdings (3,6%)	Concentrados e SX-EW	500
6	El Teniente	Chile	Codelco	Concentrados e SX-EW	452
7	Antamina	Peru	BHP Billinton (33,75%), Teck (22,5%), Glencore plc (33,75%), Mitsubishi Corp. (10%)	Concentrados	450
8	Los Bronces	Chile	Anglo American (50,1%), Mitsubishi Corp. (20,4%), Codelco (20%), Mitsui (9,5%)	Concentrados e SX-EW	435
9	Polar Division	Rússia	Norilsk Nickel	Concentrados	430
10	Los Pelambres	Chile	Antofagasta Plc (60%), Nippon Mining (25%), Mitsubishi Materials (15%)	Concentrados	420
11	Radomiro Tomic	Chile	Codelco	Concentrados e SX-EW	370
12	Cerro Verde II (Sulfeto)	Peru	Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc. (54%), Compañía de Minas Buenaventura (19,58%), Sumitomo (21%)	Concentrados	340
13	Chuquibambilla	Chile	Codelco	Concentrados e SX-EW	325
14	Kansanshi	Zâmbia	First Quantum Minerals Ltd (80%), ZCCM (20%)	Concentrados e SX-EW	285
15	Bingham Canyon	EUA	Kennecott	Concentrados	280
16	Andina	Chile	Codelco	Concentrados	260
17	Batu Hijau	Indonésia	Pt Newmont Nusa Tenggara (PT Pukuafu 20%, Newmont 41,5%, Sumitomo Corp., Sumitomo Metal Mining & Mitsubishi Materials 31,5%, PT Multi Daerah Bersaing 7%)	Concentrados	250
17	Toromocho	Peru	Chinalco	Concentrados	250
19	Olympic Dam	Austrália	BHP Billinton	Concentrados e SX-EW	225
20	Cuajone	Peru	Grupo Mexico (54,1%), Marmon Corp. (15%), Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc. (13,9%)	Concentrados e SX-EW	212

Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

Figura 134 – A) Evolução da produção mundial de cobre por fundição (1980-2015). B) Distribuição da produção mundial de cobre (fundição) por país.



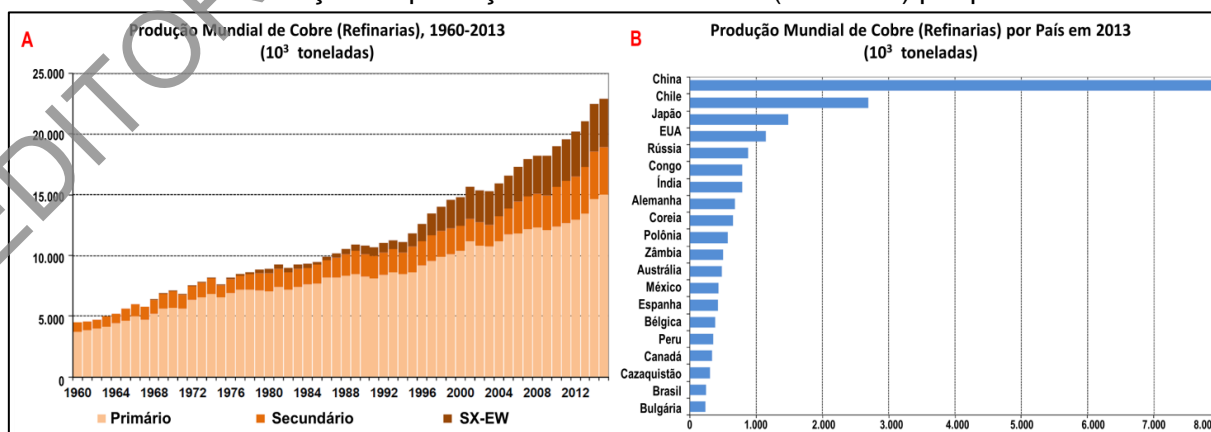
Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

Quadro 34 – Vinte maiores *smelters* de cobre em capacidade no mundo

Top 20 Smelters de Cobre em Capacidade (ano 2016)					
	Smelter	País	Companhias Proprietárias	Processo	Capacidade (10 ³ t)
1	Guixi (smelter)	China	Jiangxi Copper Corp.	Outokumpu Flash	900
2	Birla Copper (Dahej)	Índia	Birla Group	Outokumpu Flash, Ausmelt, Mitsubishi	500
3	Hamburg	Alemanha	Aurubis	Outokumpu, Contimelt, Eletric	450
3	Besshi/Ehime (Toyo)	Japão	Sumitomo Metal Mining Co. Ltd.	Outokumpu Flash	450
3	Saganoseki/Oita (smelter)	Japão	Pan Pacific Copper Co. Ltd.	Outokumpu Flash	450
6	El Teniente (Caletones)	Chile	Codelco Chile	Reverberatory/Teniente Conv.	400
6	Jinchuan (smelter)	China	Jinchuan Non-Ferrous Metal Co.	Reverberatory/Kaldo Conv.	400
6	Jinchuan (Fangchenggang)	China	Jinchuan Non-Ferrous Metal Co.	Flash Smelter	400
6	Jinguan (smelter)	China	Tongling Nonferrous Metals	Flash Smelter	400
6	Xiangguang Copper	China	Yanggu Xiangguang Copper Co.	Outokumpu Flash	400
6	Sterlite Smelter (Tuticorin)	Índia	Vedanta	Isasmelt Process	400
6	Norilsk (Nikelevy, Medny)	Rússia	Norilsk Nickel	Reverb, Eletric, Vanyukov	400
13	Codelco Norte (smelter)	Chile	Codelco	Outokumpu/Teniente Converter	380
14	Pirdop (smelter)	Bulgária	Aurubis (99,77%)	Outokumpu Flash	360
14	Ilo Smelter	Peru	Southern Copper Corp. (Grupo Mexico 75,1%)	Isasmelt Process	360
16	Onahama/Fukushima	Japão	Mitsubishi Materials Corp. (49,29%), Dowa Metals & Mining Co. Ltd. (31,15%), Furukawa Metals & Resources Co. Ltd. (12,67%)	Mitsubishi/Reverb.	354
17	Jinlong (Tongdu)	China	Tongling Nonferrous Metals Corp. (57,4%), Sumitomo (35%), Pingguo Aluminium	Flash Smelter	350
17	Yunnan	China	Yunnan Copper Industry Group (Governo Local)	Isasmelt Process	350
19	Naoshima/Kagawa	Japão	Mitsubishi Materials Corp.	Mitsubishi Continuous	342
20	Isabel/Leyte (PASAR)	Filipinas	Glencore plc 78,2%, investidores locais 21,8%	Outokumpu Flash	330

Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

Figura 135 – A) Evolução da produção mundial de cobre por refinarias (1960-2013). B) Distribuição da produção mundial de cobre (refinarias) por país.



Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

Quadro 35 – Vinte maiores refinarias de cobre em capacidade no mundo

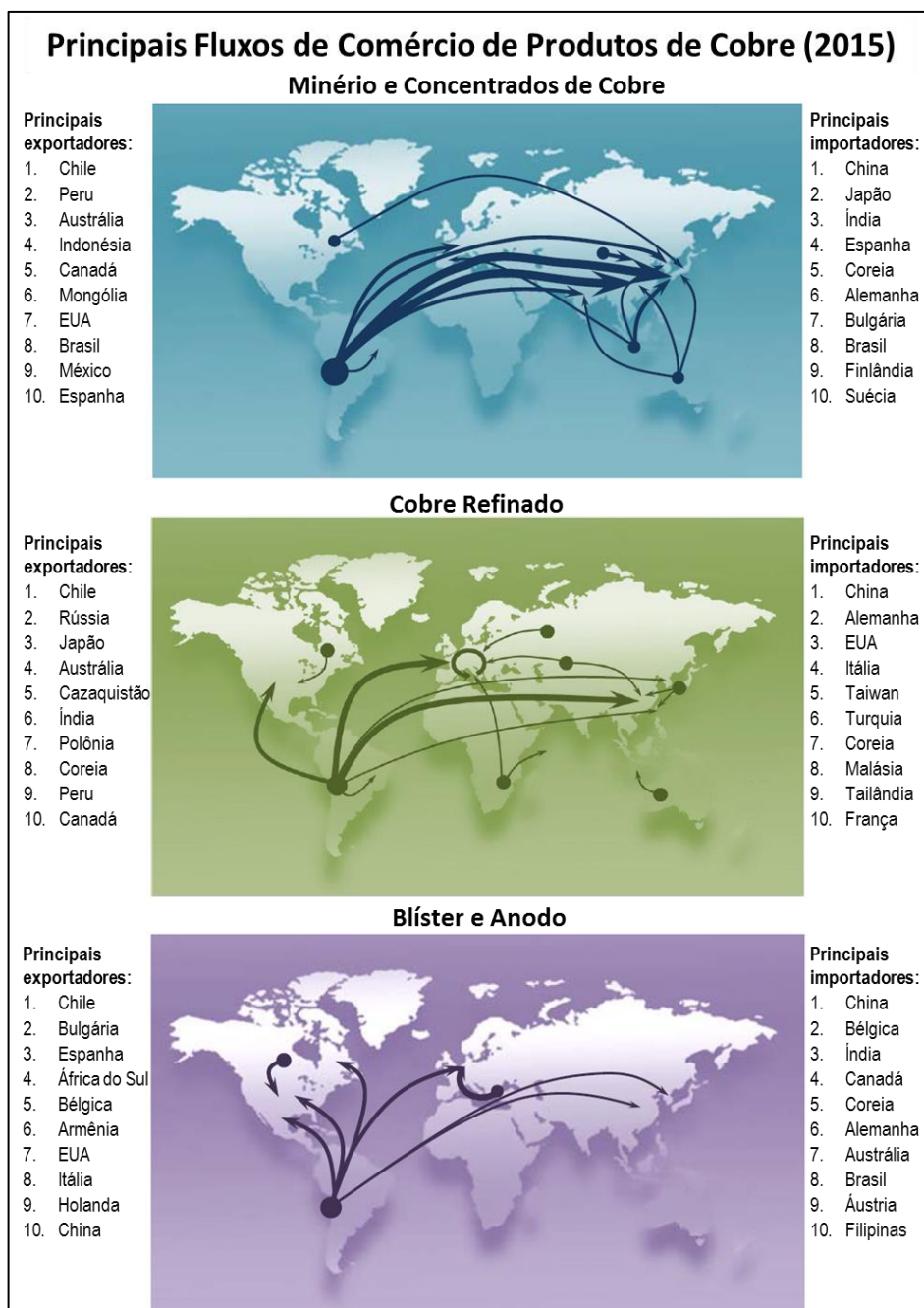
Top 20 Refinarias de Cobre em Capacidade (Ano 2016)					
	Refinaria	País	Companhias Proprietárias	Processo	Capacidade (10 ³ t)
1	Guixi	China	Jiangxi Copper Corp.	Eletrolítico	900
2	Jinchuan	China	Jinchuan Non-Ferrous Co.	Eletrolítico	650
3	Chuquicamata Refinery	Chile	Codelco	Eletrolítico	600
3	Daye/Hubei (refinery)	China	Daye Non-Ferrous Metals Co.	Eletrolítico	600
5	Yunnan Copper	China	Yunnan Copper Industry Group (64,8%)	Eletrolítico	500
5	Birla	Índia	Birla Group Hidalco	Eletrolítico	500
7	Pyshma Refinery	Rússia	UMMC (Urals Mining & Metallurgical Co.)	Eletrolítico	460
8	Toyo/Nihama (Besshi)	Japão	Sumitomo Metal Mining Co. Ltd.	Eletrolítico	450
8	Amarillo	EUA	Grupo Mexico	Eletrolítico	450
10	Onsan Refinery I	Coreia	LS-Nikko Co. (LS, Nippon Mining)	Eletrolítico	440
11	Hamburg (refinery)	Alemanha	Aurubis	Eletrolítico	416
12	El Paso (refinery)	EUA	Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc.	Eletrolítico	415
13	Las Ventanas	Chile	Codelco	Eletrolítico	410
14	Jinchuan (Fangchenggang refinery)	China	Jinchuan Non-Ferrous Metal Co.	Eletrolítico	400
14	Jinlong (Tongdu) (refinery)	China	Tongling Non-Ferrous Metal Corp. (52%), Sharpline International (13%), Sumitomo Corp. (7,5%), Itochu Corp. (7,5%)	Eletrolítico	400
14	Jinguan (refinery)	China	Tongling Non-Ferrous Metals Group	Eletrolítico	400
14	Shandong Fangyuan (refinery)	China	Dongying, Shandong	Eletrolítico	400
14	Xiangguang Copper (refinery)	China	Yanggu Xiangguang Copper Co.	Eletrolítico	400
14	Sterlite Refinery	Índia	Vedanta	Eletrolítico	400
20	CCR Refinery (Montreal)	Canadá	Glencore plc	Eletrolítico	370

Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

16.1.3 Balança comercial

Segundo dados do ICSG (2016), o maior exportador mundial de concentrados e minério de cobre em 2015 foi o Chile e os principais compradores desse produto foram China, Japão e Índia. O Brasil foi o oitavo maior exportador e importador nesse mesmo ano. Com relação à balança comercial do cobre refinado, o Brasil não figura entre os 10 maiores exportadores ou importadores, enquanto o Chile e a China são o maior exportador e maior importador, respectivamente, desse tipo de produto. Também no ramo do comércio de blísteres e anodos, o Brasil não figura entre os 10 maiores exportadores ou importadores (Figura 136).

Figura 136 – Principais fluxos de comércio internacional de produtos de cobre.*

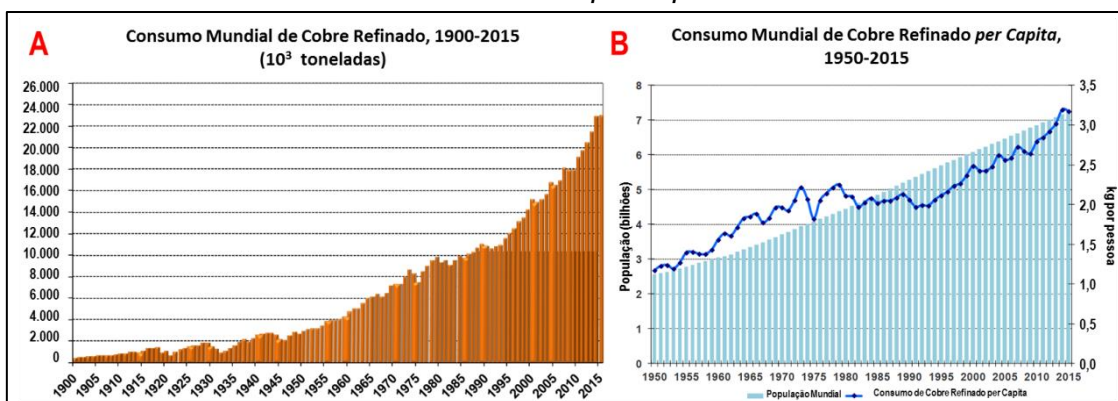


Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

(*) Minério de concentrados de cobre, cobre refinado, blíster e anodo.

Desde 1900, o consumo aparente de cobre refinado cresceu a uma taxa de 3,4% ao ano, passando de 500 mil t nesse ano para 23 milhões de toneladas em 2015 (ICSG, 2016) (Figura 137A). Esse crescimento de consumo não resultou apenas do crescimento da população, porque o consumo por pessoa ao longo desses anos também aumentou (Figura 137B). A Ásia, principalmente em virtude da China, lidera o consumo de cobre por região com 63% (Figura 138). Os setores de Equipamentos e Construção corresponderam a mais da metade do consumo de cobre em 2015.

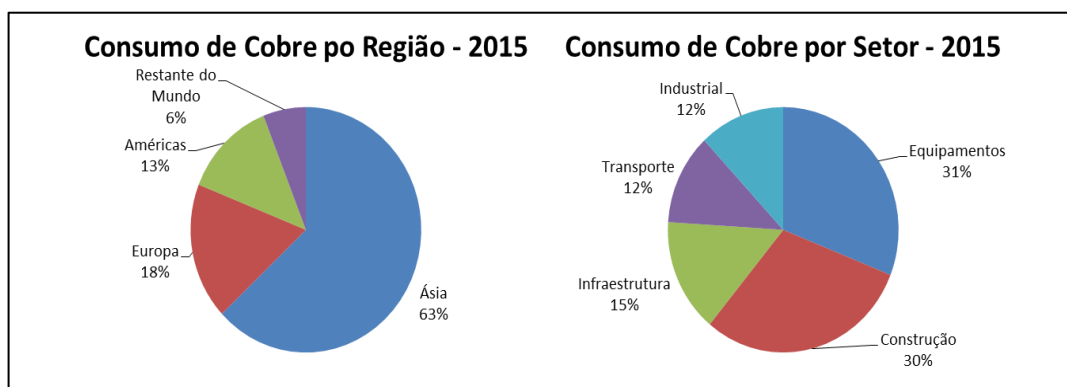
Figura 137 – A) Evolução do consumo mundial de cobre refinado (1900-2013). B) Evolução do consumo mundial de cobre *per capita* de 1950 a 2015*.



Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

Nota: (*) Esse consumo se refere à quantidade de cobre utilizado pela indústria dividido pela população mundial.

Figura 138 – Distribuição do consumo de cobre por região e por setor (2015).



Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

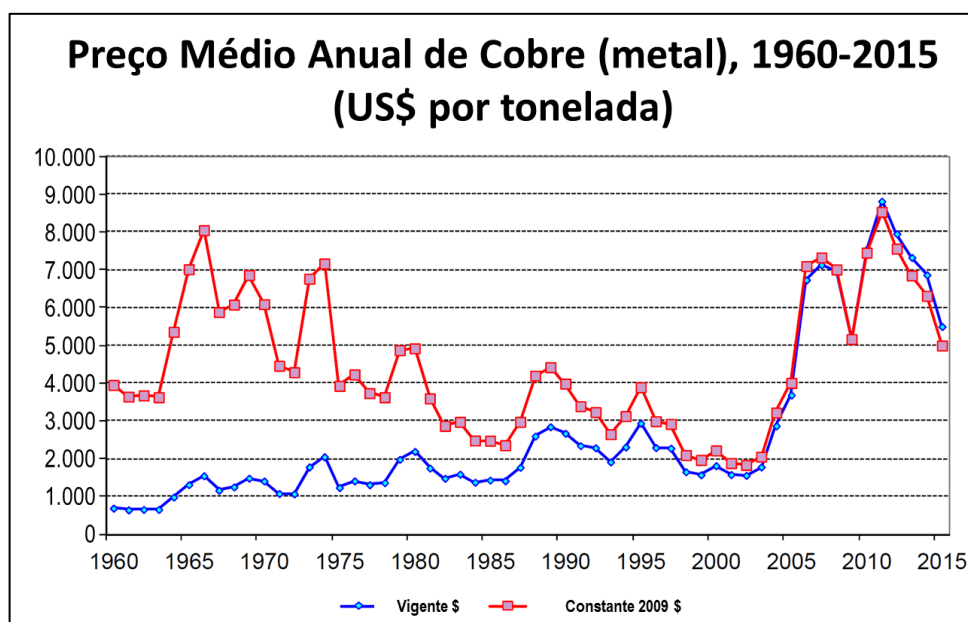
16.1.4 Preços

Conforme ICSG (2016), o ano de 2011 apresentou o pico do preço de cobre – US\$ 8811/t (LME) – no período analisado (Figura 139). Desde então, o preço dessa commodity apresenta-se em declínio, atingindo pouco mais de US\$ 5.000/t (LME) em 2015. Apesar de a demanda por cobre só aumentar com o passar dos anos, o seu preço, desde 2012, não acompanha esse crescimento. Isso pode ser explicado pelo excesso de oferta desse metal, que é resultado da diminuição do crescimento da demanda chinesa. Além da queda em seu preço, outras restrições operacionais e financeiras podem influenciar a produção mundial desse metal:

- Declínio no teor dos minérios
- Financiamento de projetos: volatilidade prolongada da economia e dos preços

- Regimes de taxaço e investimentos
- Outras questões de custo
- Fornecimento de água: questão crítica em regiões mineradoras secas
- Energia
- Questões ambientais: leis ambientais mais rigorosas e, em certas regiões, problemas com áreas indígenas, como no Peru e nas Filipinas.
- Alta do preço do ácido sulfúrico, dentre outras restri es.

Figura 139 – Varia o anual do preço médio de cobre (metal) no período de 1960-2015.



Fonte: Modificado de ICSG, 2016.

16.2 PANORAMA NACIONAL

16.2.1 Reservas

A reserva lavrável brasileira foi de 10,8 milhões de toneladas em 2014 (DNPM, 2016a), distribuída, principalmente, nos estados de Pará, Goiás, Bahia e Alagoas (IBRAM, 2012) (Quadro 36).

Quadro 36 – Distribu o de reservas lavráveis brasileiras de cobre por estado da federa o

Estado	Reservas Brasileiras (%)
Alagoas	2,95
Bahia	3,79
Goiás	7,92
Minas Gerais	0,02
Mato Grosso	0,05
Pará	84,99
Rio Grande do Sul	0,19
São Paulo	0,10

Fonte: Modificado de IBRAM, 2012.

16.2.2 Balança comercial

De acordo com o Sumário Mineral 2015 (DNPM, 2016a), a produção brasileira em 2014, de concentrado de cobre, em metal contido, aumentou 11,2% em relação ao ano anterior, alcançando o total de 301.197 t. Os principais estados produtores foram: Pará (69,3%), Goiás (22,2%) e Bahia (8,5%), tendo como produtores as empresas Vale, Salobo Metais, Mineração Maracá, Mineração Caraíba, Votorantim Metais Níquel e Serabi. Em 2014, a produção nacional de cobre primário apresentou queda de 9,7%, comparada à do ano de 2013, atingindo o total de 213.085 t (Quadro 37).

O Brasil, no ano de 2014, importou 496.331 t de bens primários de minério e/ou concentrado de cobre, equivalentes a 148.403 t em metal contido, ao custo de US\$ FOB 976,82 milhões (Quadro 37), procedentes do Chile, com 78% do valor total, e Peru, com 15% (DNPM, 2016a). Foram exportadas, em 2014, pelo Brasil, 855.527 t de bens primários de cobre, equivalentes a 239.548 t de cobre contido, no valor de US\$ FOB 1,8 bilhão, dirigidos para Alemanha, com 26% do valor total, Índia, com 17%, e China, com 15% (DNPM, 2016a).

No Brasil, o consumo aparente de cobre alcançou, em 2014, o total 210.052 t de metal contido, o que representa um crescimento de 16,4% no consumo em relação ao ano de 2013 (Quadro 37). Porém, com relação ao cobre metálico, em 2014 o consumo aparente interno atingiu 390.412 t, registrando um decréscimo de 7,9% em relação a 2013. O consumo per capita brasileiro apresentou, em 2014, um índice de 2,1 kg/hab., similar ao de anos anteriores (DNPM, 2016a).

Quadro 37 – Principais estatísticas de consumo interno de cobre no Brasil

Discriminação		Unidade	2012 ^(r)	2013 ^(r)	2014 ^(p)
Produção	Concentrado ⁽¹⁾	t	223.141	270.979	301.197
	Metal Primário	t	186.000	236.050	213.085
	Metal Secundário	t	24.700	25.900	23.600
Importação	Concentrado ⁽¹⁾	t	76.072	152.292	148.403
		10 ³ US\$ FOB	561.922	1.061.837	976.817
	Metal ⁽²⁾	t	298.100	280.600	246.437
		10 ³ US\$ FOB	2.369.597	2.055.676	1.711.258
Exportação	Concentrado ⁽¹⁾	t	157.650	242.750	239.548
		10 ³ US\$ FOB	1.510.644	1.825.968	1.805.255
	Metal ⁽²⁾	t	72.500	118.700	92.710
		10 ³ US\$ FOB	576.302	869.596	643.778
Consumo Aparente	Concentrado ⁽¹⁾	t	141.563	180.521	210.052
	Metal ⁽²⁾	t	436.300	423.850	390.412
Preço	Concentrado ⁽⁴⁾	US\$/t	2.530	2.245	2.105
	Metal – LME ⁽⁵⁾	US\$/t	7.949	7.326	6.944

Fonte: Modificado de DNPM, 2016a.

Notas: (1) Metal contido. (2) Metal primário + secundário. (3) produção + importação - exportação. (4) Vale; Mineração Maracá; Mineração Caraíba. (5) London Metal Exchange. (r) revisado. (p) preliminar.

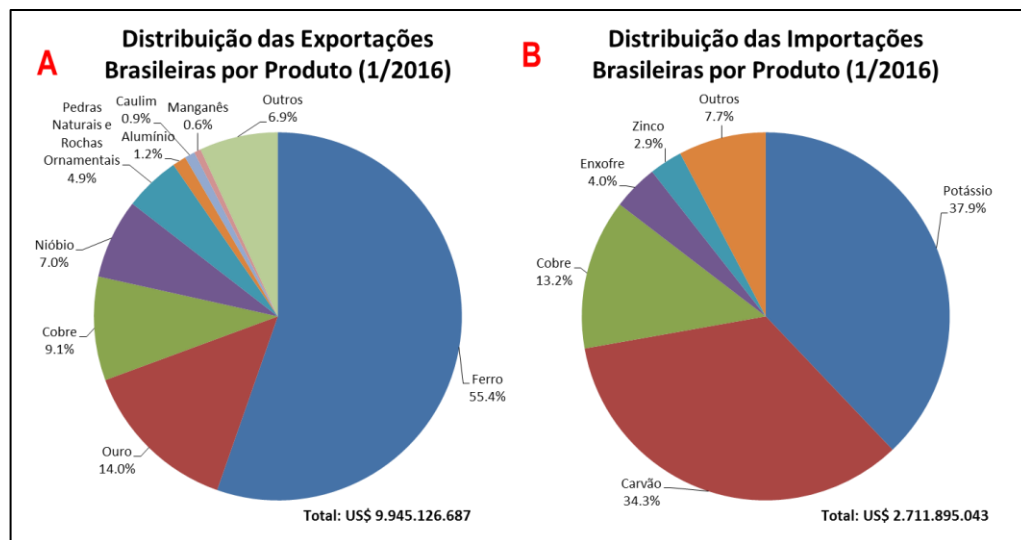
16.2.3 Arrecadação

O minério de cobre figura entre as 10 principais commodities no setor mineral brasileiro. De acordo com o Informe Mineral do primeiro semestre de 2016 (DNPM, 2016b), o comércio exterior da indústria extrativa mineral nesse período sofreu a continuidade da deterioração das contas externas, com queda no valor das exportações e do saldo comercial. Comparando-se o primeiro semestre dos anos de 2016 e 2015, constata-se queda de 17,4% do valor exportado, enquanto o saldo comercial teve diminuição de 13,2%. As importações, por sua vez, sofreram expressiva queda de 26,8%. Essa diferença entre a variação do valor exportado e do saldo

comercial, mesmo contrabalanceada pelo decréscimo mais intenso das importações, é explicada pela maior magnitude do valor das exportações em relação às importações da indústria extrativa mineral. Tal diferença faz com que os valores exportados tenham impactos muito mais elevados sobre o saldo comercial do que mudanças nos valores importados.

A participação do cobre nas exportações brasileiras aumentou, passando de 8,2% em 2015 (DNPM, 2015) para 9,1% em 2016 (DNPM, 2016b). Contudo, as importações diminuíram, saindo de 15,3% para 13,2% em 2016 (Figura 140).

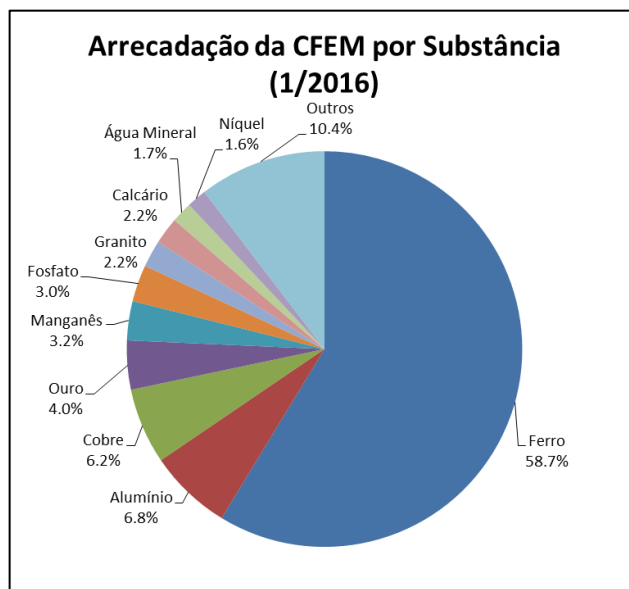
Figura 140 – Distribuição de exportações/importações brasileiras por produto do setor mineral extrativista.



Fonte: Modificado de DNPM, 2016b.

O valor nominal da arrecadação de CFEM no primeiro semestre de 2016 foi de R\$ 1.018,3 milhões. O minério de cobre foi a terceira substância mineral em participação no total das receitas, com 6,2%. A primeira substância foi minério de ferro, com 58,7% das receitas (DNPM, 2016b) (Figura 141).

Figura 141 – Participação na arrecadação de CFEM das principais substâncias no primeiro semestre de 2016.



Fonte: Modificado de DNPM, 2016b.

16.3 INVESTIMENTOS E PROJETOS EM ANDAMENTO E/OU PREVISTOS

Os projetos de mineração de cobre em andamento no Brasil, de acordo com Sumário Mineral 2015 (DNPM, 2016a), são os seguintes:

- Sossego (Vale), Canaã dos Carajás, PA: mineração e concentração de 140 mil t/ano de Cu contido de concentrado.
- Salobo Metais (Vale), Marabá, PA: mineração e concentração de cobre, atingindo capacidade de 200 mil t de cobre contido em 2015.
- Caraíba/Surubim/Angico (Mineração Caraíba), Jaguarari/Curaçá, BA: integração de minas, beneficiamentos e metalurgia de minério oxidado, podendo atingir até 90 mil t/ano de cobre contido de concentrado em 2016.
- Chapada (Mineração Maracá/Yamana), Alto Horizonte, GO: mineradora e concentradora, operando com capacidade de 65 mil t/ano de Cu contido de concentrado.
- Paranapanema (Caraíba Metais), Dias d'Ávila, BA: ampliação e modernização da capacidade de produção de cobre da usina, passando para 280 mil t/ano, podendo chegar a 300 mil t/ano em 2018. Os produtos semielaborados de cobre ficam a cargo da empresa Eluma, com unidades em Utinga e Capuava (São Paulo) e em Serra (Espírito Santo).
- Votorantim Metais Níquel, São Miguel Paulista, SP: instalação de uma planta de SX-EW, com o objetivo de separar o cobre do matte de níquel.

Os projetos de mineração de cobre previstos no Brasil, de acordo com Sumário Mineral 2015 (DNPM, 2016a), são os seguintes:

- Corpo 118 (Vale), Carajás, PA: mineração e refino de cobre por SX-EW; produção programada de 38 mil t/ano de catodo de cobre em 2015.
- Cristalino (Vale), Carajás, PA: produção de 100 mil t/ano de Cu contido de concentrado, com operação em 2016.
- Alemão (Vale), Parauapebas, PA: produção de 80 mil t/ano de Cu contido de concentrado, com operação em 2016.
- Boa Esperança (Mineração Caraíba), Tucumã, PA: operação de 30 mil t/ano de Cu contido de concentrado, para 2015.
- Vermelhos (Mineração Caraíba), Juazeiro, BA: capacidade de produção de 30 mil t/ano de Cu contido de concentrado, para 2016.
- Serrote da Laje (Vale Verde/Aura Minerais), Craíbas/Arapiraca, AL: mineração e concentração de cobre, com previsão para 2016, com produção de 40 mil t/ano de Cu contido.

17 DIAGNOSTICO SOCIOAMBIENTAL

O objetivo desta análise é retratar, a partir de levantamento preliminar, a situação socioambiental da região onde se insere a propriedade mineral DNPM nº 812.488/74, situada no município de Bom Jardim de Goiás, região oeste do estado de Goiás, na bacia do rio Araguaia. Os trabalhos tiveram como foco a identificação de características do patrimônio socioambiental que possam gerar restrições ou impedimentos para a atividade de exploração do recurso mineral.

17.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE

As normas legais ambientais que balizam a atividade de exploração mineral no Brasil estão contidas nos seguintes documentos:

- Lei nº 6.938, de 31.08.1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
- Lei nº 9.314, de 14.11.1996 – Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).
- Lei nº 9.433, de 08.01.1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Lei nº 9.605, de 12.02.1998 – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (“Lei de crimes ambientais”).
- Lei nº 9.985, de 18.07.2000 – Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.
- Lei nº 11.428, de 22.12.2006 – Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica.
- Lei nº 12.727, de 17.10.2012 – Atualiza o Código Florestal Brasileiro.
- Resolução CONAMA nº 001, de 23.01.1986 – Dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.
- Resolução CONAMA nº 237, de 19.12.1997 – Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.
- Resolução CONAMA nº 357, de 17.03.2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- Resolução nº 16, de 08.05.2001 – Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.
- ABNT NBR 13028, de 09.2006 – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração.
- ABNT NBR 13029, de 09.2006 – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração.

17.2 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EXPEDITO

17.2.1 Metodologia

A elaboração do presente relatório foi conduzida com o objetivo de abordar o levantamento expedito da situação socioambiental da região onde se insere o depósito de cobre, de modo a balizar as tomadas de decisões sobre a exploração de seus recursos minerais. Portanto, a

metodologia adotada para esse diagnóstico ambiental é distinta das metodologias estabelecidas para os estudos ambientais que visam à obtenção de licenças ambientais.

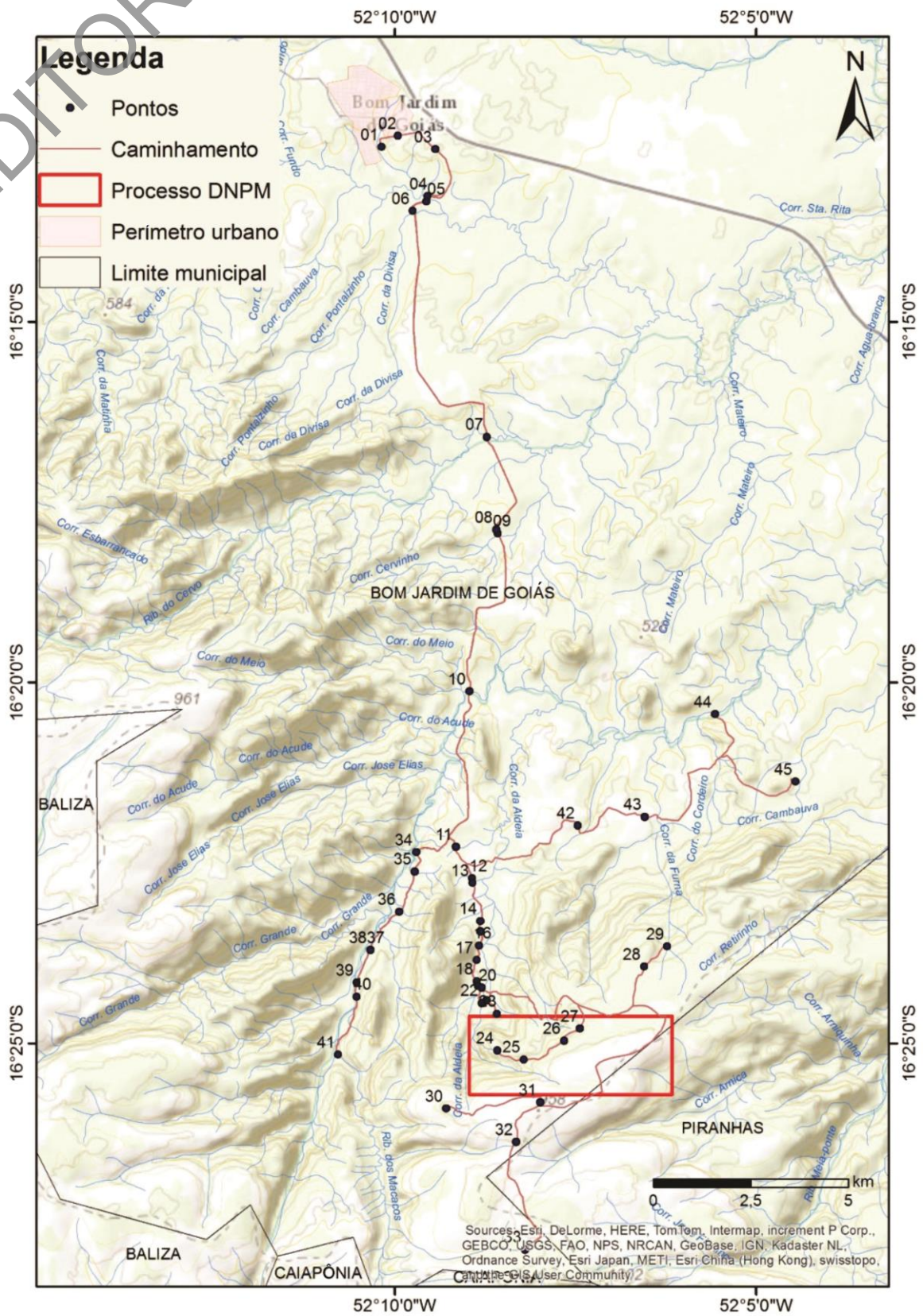
A etapa inicial do trabalho consistiu no levantamento de dados bibliográficos, tais como informações sobre as características do depósito-alvo (relatórios da CPRM), mineração de cobre no Brasil, características ambientais da região e áreas protegidas próximas (unidades de conservação, áreas indígenas, áreas tombadas). Além disso, foram construídos mapas preliminares de apoio para o levantamento de campo, incluindo a delimitação da área do alvará e o limite do município de Bom Jardim de Goiás, com base em imagens de satélite (Google Earth: imagem CNES/SPOT- 2014).

Na segunda etapa, procedeu-se ao reconhecimento de campo na área do alvará de pesquisa e em seu entorno (Figura 142). Além do reconhecimento das características físicas e bióticas, efetuou-se levantamento de uso e ocupação do solo na área e de dados socioeconômicos junto à Prefeitura Municipal de Bom Jardim de Goiás e por meio de entrevistas com a comunidade na área urbana e rural do município.

A terceira etapa consistiu em novos levantamentos de dados junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) sobre assentamentos rurais e junto à Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) sobre licenciamentos ambientais. Em ambos os órgãos, pesquisaram-se documentos referentes ao município de Bom Jardim de Goiás. Todos os dados obtidos nas etapas citadas foram tratados para a composição do relatório. Para o diagnóstico ambiental expedito considerou-se a área da poligonal registrada no DNPM como de área de enfoque para aspectos ambientais dos meios físico e biótico (área de influência direta para possível empreendimento de exploração mineral). Para os aspectos socioeconômicos, a abordagem envolveu o município de Bom Jardim de Goiás. Alguns aspectos ambientais foram abordados extrapolando as áreas indicadas por ausência de dados mais próximos.

Procedeu-se à elaboração de mapas temáticos (mapas de caminhamento, de assentamentos rurais e unidades de conservação, de uso e ocupação do solo e de áreas de preservação permanente).

Figura 142 – Pontos de caminhamento na área.



17.3 ECOSISTEMAS E BIODIVERSIDADE

A área encontra-se inserida no bioma Cerrado, que recobre grande parte do território nacional, sendo o segundo maior bioma do país em área e um dos 34 hotspots mundiais para conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2004).

O Cerrado é uma das regiões de maior biodiversidade do mundo. Estima-se que esse bioma possua mais de seis mil espécies de árvores e 800 espécies de aves (BRASIL, 2002). Acredita-se que mais de 40% das espécies de plantas lenhosas e 50% das abelhas sejam endêmicas. Contudo, inúmeras espécies de plantas e animais correm risco de extinção. Estima-se que 20% das espécies nativas e endêmicas já não ocorram em áreas protegidas e que pelo menos 137 espécies de animais que ocorrem no Cerrado estão ameaçadas de extinção. Depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana (BRASIL, 2002). Com a crescente pressão para abertura de novas áreas, visando a incrementar a produção de carne e grãos para exportação, tem havido progressivo esgotamento dos recursos naturais da região. Nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pela expansão da fronteira agrícola brasileira. Além disso, o bioma Cerrado é palco de exploração extremamente predatória de seu material lenhoso para produção de carvão (<http://www.icmbio.gov.br/cecat/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html>).

Onze tipos fitofisionômicos compõem o bioma Cerrado, enquadrados em formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais são: Matas Ciliares, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão. As formações savânicas são: Cerrado (sentido estrito), Parque de Cerrado (murundu), Palmeiral e Vereda. As formações campestres são: Campo sujo, Campo limpo e Campo rupestre.

O tipo de vegetação predominante na área do depósito de Cu é o Cerrado (sentido estrito), que se desenvolve em regiões aplainadas e zona de solos arenosos. Nas áreas de relevo mais acidentado e solos mais férteis, predomina uma vegetação de cerradão (Figura 143). Faixas descontínuas, remanescentes de matas-galerias, dispõem-se ao longo dos córregos dos Macacos, da Aldeia e Furnas. Algumas cabeceiras de córregos apresentam vegetação de vereda, que é uma fitofisionomia de savana encontrada em solos hidromórficos, usualmente com a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa*, conhecida como buriti (OLIVEIRA, 2000) (Figura 144).

Figura 143 – Vegetação de cerradão em áreas declivosas e de solo mais fértil.**Figura 144** – Vereda com buritis.

17.4 SOCIOECONOMIA

O município de Bom Jardim de Goiás integra a microrregião do Oeste Goiano, localizada no vale do médio rio Araguaia, distando 316 km de Goiânia (<http://www.bomjardim.go.gov.br/>). O principal acesso a partir de Goiânia é pela rodovia estadual GO-060, no sentido oeste, até a cidade de Piranhas, seguindo pela BR-158 no sentido noroeste até Bom Jardim de Goiás.

A história do município, segundo dados do IBGE (<http://cod.ibge.gov.br/GD5V>), remete aos meados do século XIX, quando o bandeirante Manoel Perdigão descobriu ouro no local denominado “Buriti”, à margem direita do ribeirão Macacos. Em 1912, fixou-se na região a família “Felizardo”, formando a fazenda Bom Jardim, nome decorrente da beleza dos campos,

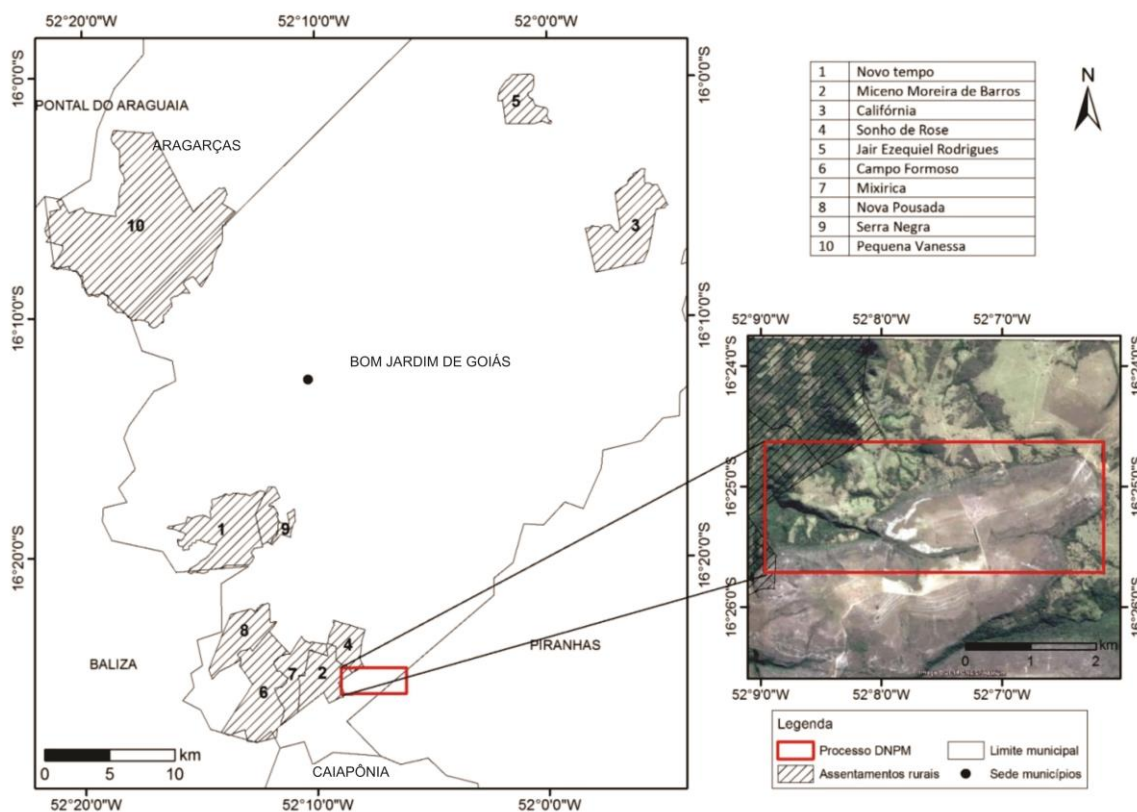
do ribeirão próximo, em cujas terras originou-se a povoação. Em 1914, a família doou parte de suas terras para o desenvolvimento do povoado de Bom Jardim. Em 1924, Bom Jardim foi elevado à categoria de distrito do município de Rio Bonito, atual Caiapônia, passando a pertencer à cidade de Baliza a partir de 1928. Sua autonomia municipal foi concedida pela Lei estadual nº A-17, de 18 de agosto de 1953, com o novo topônimo de “Bom Jardim de Goiás”.

A população estimada do município, de acordo com IBGE (2016), é de 8.862 habitantes, em uma área territorial de 1.899,506 km², sendo a densidade demográfica média de 4,43 hab./km². Existem 2.850 residências particulares no município, sendo que 95% possuem banheiros com vasos sanitários, 68% contam com rede de abastecimento de água, 72% com coleta de lixo e 75% com rede de energia elétrica (<<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>).

O índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,67 é considerado baixo, bem como a renda média mensal per capita, que, na área urbana, perfaz R\$ 404,75 e, na área rural, R\$ 400,00.

Em Bom Jardim de Goiás foram identificados 10 assentamentos rurais (Figura 145), alguns ainda em implantação, que totalizam 426 famílias de trabalhadores assentadas (<<http://incragoias.wordpress.com>>) (Quadro 38). Segundo o INCRA, esses assentamentos desempenham importante papel no espaço rural da região, reduzindo o êxodo rural e garantindo melhoria da qualidade de vida dos assentados (Figura 146).

Figura 145 – Assentamentos rurais em Bom Jardim de Goiás.



Quadro 38 – Assentamentos rurais em Bom Jardim de Goiás.

Cidade	Assentamento	Glebas/Famílias
BOM JARDIM DE GOIÁS	Novo Tempo	41
	Miceno Moreira de Barros	13
	Califórnia	80
	Sonho de Rose	13
	Jair Ezequiel Rodrigues	33
	Campo Formoso	32
	Mixirica	9
	Nova Pousada	12
	Serra Negra	16
	Pequena Vanessa II	177
	Total	426

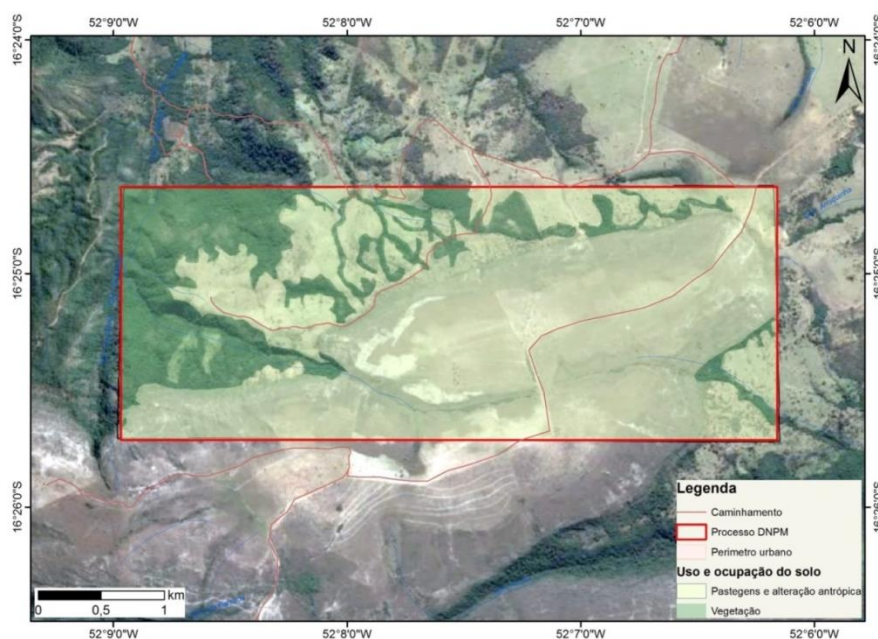
Figura 146 – Sinalização da entrada do assentamento Mixirica.

Os assentamentos mais próximos da área do depósito de cobre em análise são Sonho de Rose e Miceno Moreira de Barros, situados, respectivamente, a noroeste e a oeste da área (Figura 147). De acordo com os dados fornecidos pelo INCRA, uma pequena parte desses assentamentos adentra a área da poligonal do alvará de pesquisa.

Figura 147 – Casa de morador no assentamento Miceno Moreira de Barros.

Algo em torno de 85% dos territórios das propriedades rurais foram desmatados para implantação de agropecuária convencional, especialmente pecuária bovina extensiva (Figura 148). Dessas áreas desmatadas, constata-se que 50% foram convertidos em pastagens ou agricultura de subsistência ou de pequena escala comercial, estando submetidas a algum processo de degradação ambiental – solo, subsolo, água e ar.

A pecuária bovina, que constitui o “carro-chefe” da economia regional, apresenta plantéis de baixo padrão genético, com média de 1.000 litros de leite/ha/ano. Considerando os preços médios pagos aos produtores de leite tipo C, essa produtividade representaria uma receita bruta de R\$ 300,00/ha/ano, ou aproximadamente US\$ 120,00/ha/ano, com geração, em média, de um emprego para cada 30 ha (<<http://incragoias.wordpress.com>>).

Figura 148 – Uso e ocupação do solo na área.

17.5 ESPAÇOS TERRITORIAIS PROTEGIDOS

Não existem áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no território do médio Araguaia, segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (<http://www.semarh.goias.gov.br/site/unidades-de-conservacao>), assim como não há unidades de conservação de proteção integral ou de uso sustentável.

As áreas destinadas à conservação da biodiversidade em Bom Jardim de Goiás restringem-se às Áreas de Preservação Permanente (APP) (Figura 149), segundo o atual Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25.05.2012):

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

[...]

II - Área de Preservação Permanente – APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

[...]

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

[...]

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

[...]

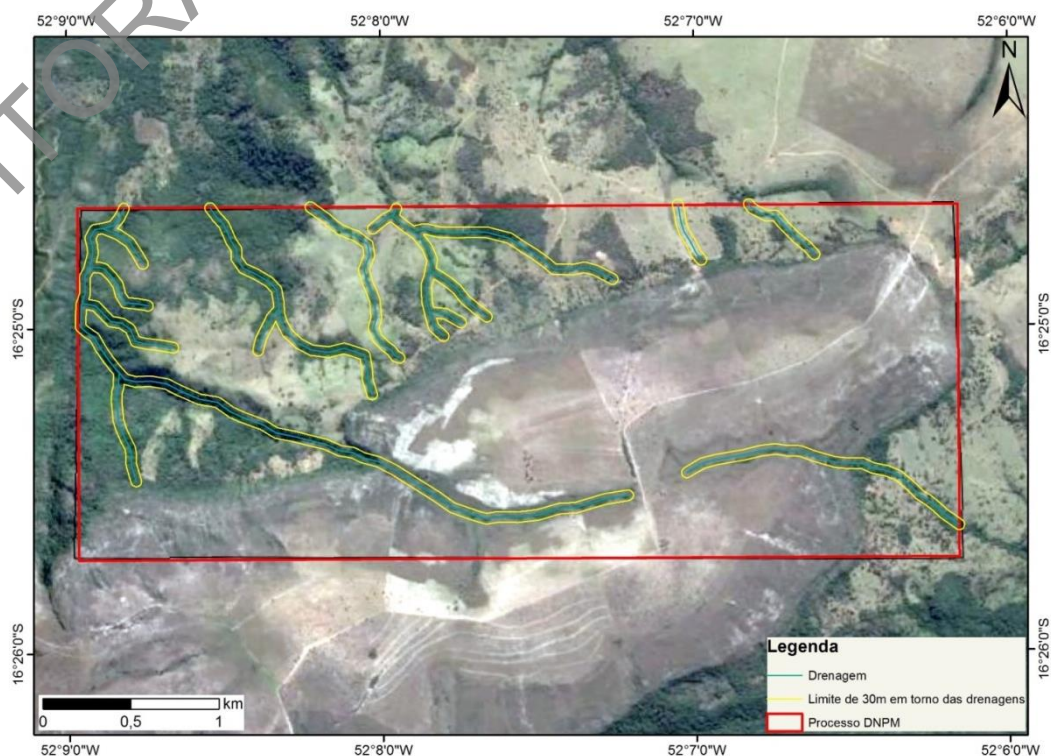
VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

[...]

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

Destaque-se nesse contexto legal que, por ser considerada de utilidade pública, a intervenção em APP pela atividade mineral é permitida nos termos do art. 3º, inciso VIII, alínea b e art. 8º do referido código.

Figura 149 – Mapa das áreas de preservação permanente dentro da área.

17.6 IMPACTOS PROVÁVEIS

A exploração de minérios sulfetados de cobre envolve a abertura de frentes de lavra a céu aberto ou subterrânea, responsáveis por impactos tais como remoção da vegetação, alteração nos ecossistemas locais, interferência nos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), geração de poeira, ruído e vibrações, e seus beneficiamentos.

Por conterem, usualmente, baixo teor do elemento metálico, seus beneficiamentos são mais complexos, requerendo etapas de concentração por flotação e/ou processos hidrometalúrgicos, o que envolve o uso de produtos químicos e a geração de efluentes líquidos. Portanto, os impactos ambientais desses empreendimentos podem ser considerados como de alto potencial poluidor, requerendo processos de licenciamento ambiental trifásicos (licença prévia, licença de instalação e licença de operação), com vistas à sua mitigação.

Grande parte dos impactos ambientais negativos citados pode ser mitigada a partir de um bom planejamento das diversas fases do empreendimento – implantação, operação e fechamento da mina – que considere o contexto ambiental na definição de parâmetros operacionais.

Nesse contexto, é considerada fundamental a implantação de alguns programas, tais como:

- Gestão e controle ambiental
- Qualidade das águas de processo e efluentes
- Controle de emissões atmosféricas
- Preservação e conservação ambiental de áreas circunvizinhas à mina
- Recuperação de áreas degradadas e mineradas
- Gestão de resíduos industriais

- Redução de consumo de água, energia e combustíveis
- Reuso de água
- Sinalização de vias

A despeito do potencial poluidor da exploração de sulfetos metálicos, a situação ambiental encontrada e apresentada no presente diagnóstico, indicando antropização da área pela atividade de pecuária extensiva de baixa produtividade, minimiza esses efeitos e pode, diante de condicionantes usualmente aplicadas nos processos de licenciamento ambiental, resultar em saldo positivo para a região. Em outras palavras, não foi identificado qualquer aspecto ambiental, relativo aos meios físico ou biótico, que se caracterize como impeditivo à exploração do depósito de Cu. Ao contrário, a exploração desse depósito pode contribuir para melhorar a qualidade ambiental da área em discussão, considerando a implantação de ações compensatórias durante o licenciamento.

Quanto aos aspectos sociais, a presença de assentamentos rurais próximos à área não se caracteriza como impedimento ou restrição legal à atividade mineral de aproveitamento econômico dos depósitos de cobre. No entanto, alguns procedimentos devem ser tomados para evitar transtornos e construir, desde o início das operações, boa convivência com a comunidade.

Sabidamente, a mineração em regiões mais interiorizadas impacta sensivelmente a dinâmica social local. A demanda por serviços e infraestrutura e o aumento do tráfego de veículos são exemplos das alterações que podem, se não bem planejadas e discutidas com a comunidade, trazer impactos negativos indesejáveis.

Por outro lado, são também esperados impactos positivos com a implantação de um empreendimento mineral, em especial a geração de empregos e renda, o pagamento de royalties (CEFEM), o aumento na arrecadação de impostos e, conseqüentemente, o incremento da economia. Entretanto, a experiência tem mostrado que esses benefícios econômicos, se mal administrados, podem resultar em melhoria aparente da economia local, sem reflexos em seu IDHM. Além disso, diante dessa geração de recursos para os municípios, é comum ver-se o enclave da economia local, tornando os municípios altamente dependentes da atividade mineral. Nesse sentido, é importante que as mineradoras concentrem esforços em programas que visem à diversificação da economia local, preparando a comunidade para o futuro fechamento da mina ou mesmo para as fases em que situações desfavoráveis de mercado levem à diminuição da produção, com repercussões negativas sobre os ganhos financeiros do município.

18 RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho de Reavaliação do Patrimônio Mineral da CPRM no Projeto Bom Jardim, por meio da integração de dados geológicos, geofísicos, geoquímicos e topográficos, permitiu esboçar um modelo geológico tridimensional para mineralização de cobre na área de estudo e quantificar seus recursos minerais. Esse modelo sugere que, nessa área, ocorre um depósito caracterizado por corpos lenticulares de direção média N-S, mergulho aproximado de 30° para leste e leve caimento para norte.

A distribuição da maioria dos elementos na superfície aqui tratados possui importante relação com as estruturas mapeadas. As mais marcantes estruturas da área de estudo são o conjunto de falhas (zonas de cisalhamento) sinistrais de direção E-W/NW-SE que predominam nas subunidades 1, 2 e 3, que são interrompidas pelo lineamento de direção N-S, separando as subunidades 2 e 3 das subunidades 4, 5 e 6. Verifica-se que Cu, Mn, Fe, Ni e, parcialmente, Zn, possuem concentrações significativas ao longo do conjunto de falhas E-W/NW-SE e diminuem bruscamente suas concentrações ao atingirem o lineamento N-S, mostrando grande controle ou, no mínimo, grande influência das estruturas regionais sobre o comportamento desses elementos. A disposição N-S dos possíveis alvos apontados para Pb e Zn nas subunidades 4, 5 e 6 pode indicar um controle estrutural por subestruturas condicionadas ao grande lineamento N-S.

A avaliação da qualidade das análises foi feita em condições restritivas, pois nem todos os dados estavam disponíveis e a quantidade e tipos de amostras de controle não permitem afirmar seguramente as causas dos desvios encontrados. Apesar disso, a investigação em alguns pontos trouxe maior confiabilidade aos resultados obtidos nos laboratórios.

A mineralização compreende as zonas onde se concentram os veios e a alteração hidrotermal, que se manifestam de forma assimétrica, inconstante e descontínua. Apesar desse aspecto errático da mineralização, há concentração dessas zonas de minério na porção centro-sul do corpo interpretado.

A cubagem do depósito de cobre resultou em recursos inferidos de 4,43 milhões de toneladas de minério, com teor médio de 0,44% Cu.

Destaca-se que o Projeto Bom Jardim se caracteriza como um empreendimento de pequeno porte, em comparação a outros projetos de cobre existentes no mundo.

Seria de grande relevância para a região de estudo a continuidade dos seguintes trabalhos de prospecção, para identificar novas possibilidades que venham a agregar recursos e tornar essa reserva atrativa para o investidor:

- Mapeamento geológico de detalhe da área a oeste do lineamento N-S, com ênfase em geologia estrutural, para melhor definir a disposição dos novos alvos propostos para Pb e Zn no levantamento geoquímico.
- Campanha de geofísica terrestre na área com maior anomalia aeromagnetométrica (centro da área), na qual a anomalia propriamente dita está cortada pela zona de cisalhamento e coincidente com uma anomalia radiométrica.
- Sondagens adicionais para confirmação do modelo geológico e avaliação do comportamento de seus teores e geometria do depósito. Os *trends* mineralizados avaliados possuem áreas potenciais para continuidade da mineralização, tanto em sua extensão quanto na profundidade.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028**: elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/144247314/NBR-13028-1993-Apresentacao-de-Projeto-de-Disposicao-de-Rejeitos-de-Beneficiamento#scribd>>. Acesso em: 10 out. 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Coletânea de normas de mineração e meio ambiente**. Rio de Janeiro, 2006. p. 2-5.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030**. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas em mineração. Jun. 1999. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAArUUAf/nbr-13030>>. Acesso em: 10 out. 2014.

AITCHISON, J. **The statistical analysis of compositional data**. London: Chapman and Hall, 1986. 416 p.

ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de estatística e geostatística**. São Leopoldo: EDUNISINOS, 2003. 165 p.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Laboratório de Transportes e Logística. **Bacia do Tocantins-Araguaia**: Plano Nacional de Integração Hidroviária. Relatório executivo. Brasília: ANTAQ/LABTRANS/UFSC, 2013.

ARAÚJO FILHO, J.O.; KUYUMIJAN, R.M. Regional distribution and regional control of gold occurrences/deposits in the Goiás massif and Brasília belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 1996, v. 25, n. 2.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 914-95**: standard test method for bulk and volume of solid refractories by wax immersion. Pensilvânia, 2004.

BARBOSA, O. Litologia, ambiente e mineralização do grupo Bom Jardim de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1979, Recife. **Resumos...**

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 28 out. de 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e

dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.** Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989 e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 10 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a medida provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Disponível em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996.** Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9314.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:federal:lei:1998-02-12;9605>>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001.** Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/8391B842/AnexoExposMotivos_PropResolVazoesMinimas1.pdf>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 2002.

BRASIL. Superintendência de Geologia e Mineração. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Levantamento aerogeofísico do estado de Goiás – SIC**. Goiânia: CPRM, 2004.

CARRANZA, E.J.M. Analysis and mapping of geochemical anomalies using logratio-transformed stream sediment data with censored values. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 110, p. 167-185, 2011.

CARRANZA, E.J.M. **Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS**. Amsterdam: Elsevier, 2009. (Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry).

CAS, R.; WRIGHT, J.V. Subaqueous pyroclastic flows and ignimbrites: an assessment. **Bulletin of Volcanology**, v. 53, p. 357-380, 1991.

CASTILHO, D. As redes de energia elétrica em Goiás e os padrões espaciais de produção, transmissão e distribuição. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ELETRIFICAÇÃO E MODERNIZAÇÃO SOCIAL, 2., 2013, São Paulo. São Paulo: USP, 2013. **Anais...**

COSTA, S.A.G. et al. 1979. **Projeto Bom Jardim**: relatório final de pesquisa para Cu-Pb-Zn no município de Bom Jardim de Goiás. CPRM: Goiânia, 1979. v. 1 e 2.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Bom Jardim**: relatório final de pesquisa – zinco. Alvará nº 4.492, de 14.06.1978. DOU de 08.08.1978. Goiânia: CPRM, 1979. v. 1.

DARDENNE, M.A. The Brasília fold belt. In: CORDANI, U.G. et al. Tectonic evolution of South America. CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 231-263.

DEINT – DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÕES EM TRANSPORTES. Ministério dos Transportes. **Mapa ferroviário do Brasil**. Jan. 2014. Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=DEINT.+Mapa+ferrovi%C3%A1rio+do+Brasil.+Jan.+2014&espv=2&biw=1440&bih=794&site=webhp&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjQsoTdpfHRAhVBfZAKHe7mDxoQsAQIGQ>>. Acesso em: 28 out. 2014.

DEINT – DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÕES EM TRANSPORTES. Ministério dos Transportes. **Mapa hidroviário do Brasil**. Abr. 2013. Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=DEINT.+Mapa+hidrovi%C3%A1rio+do+Brasil.+Abr.+2013&espv=2&biw=1440&bih=794&site=webhp&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjDhs-rpfHRAhVLEJAKHTISDVwQsAQIGQ>>. Acesso em: 28 out. 2014.

DELLA GIUSTINA, C.C. **Degradação e conservação do cerrado: uma história ambiental do estado de Goiás**. 2013. 210 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL. **Informe mineral**. 2º/2015. Brasília, DF: DNPM, 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2_2015.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL. **Informe mineral**. 1º/2016. Brasília, DF: DNPM, 2016. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe_mineral_2_2016>. Acesso em: 10 fev. 2017.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2014**. Brasília: DNPM, 2014. 141 p.: il.; 29 cm. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2015**. Brasília: DNPM, 2016. 135 p.: il.; 29 cm. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

FARIAS, J.O.G. de. **Produto 14**: minério de cobre. Relatório técnico nº 23: perfil da mineração de cobre. Projeto ESTAL. MME/SGM – Banco Mundial. Brasília: J.Mendo Consultoria, 2009. Disponível em: <http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P14_RT23_Perfil_da_Mineração_de_Cobre.pdf>. Acesso em: 10 out. 2014.

FAURE, G. **Principles and applications of geochemistry**. Englewood Cliffs: NJ: Prentice Hall, 1998.

FILZMOSER, P.; HRON, K.; REIMANN, C. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: problems and possibilities. **Science of the Total Environment**, v. 407, nº 23, p. 6100-6108, 2009.

FRAGOMENI, P.R.P.; COSTA, S.A.G. Complexo vulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás: base do grupo Cuiabá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. **Resumos**.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Hidrogeologia do estado de Goiás**. Goiânia, 2006. 232 p.: il. (Série Geologia e Mineração, n. 1).

GRUNSKY, E.C. The interpretation of geochemical survey data. **Geochemistry Exploration and Environmental Analysis**, v. 10, p. 27-74, 2010.

GUIMARÃES, S.B. **Petrologia e metalogenia do depósito de cobre de Bom Jardim de Goiás (GO)**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GUIMARÃES, S.B. **Projeto de reavaliação do depósito de cobre de Bom Jardim de Goiás**: abordagem geológica. Goiânia: CPRM, 2010.

GUIMARÃES, S.B.; MOURA, M.A.; DANTAS, E.L. Petrology and geochronology of the Bom Jardim de Goiás copper deposit (GO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 841-862, 2012.

HEDENQUIST, J.W.; ARRIBAS, A.R.; GONZALEZ-URIEN, E. Exploration for epithermal gold deposits. **SEG Reviews**, v. 13, p. 245-277, 2000.

HEDENQUIST, J.W.; LOWENSTERN, J.B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. **Nature**, v. 370, p. 519-527, 1994.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**: censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/GD5V>>. Acesso em: 10 out. 2014.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 7. ed. Brasília: IBRAM, 2012.

ICSG – INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP. **The World Copper Factbook 2016**. Portugal: ICSG, 2016. Disponível em: <<http://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/170/2202>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Assentamentos rurais**. Disponível em: <<http://incragoias.wordpress.com>>. Acesso em: 10 out. 2014.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Emprego para cada 30 há**. Disponível em: <<http://incragoias.wordpress.com>>. Acesso em: 10 out. 2014.

KRAUSKOPF, K. B.; BIRD, D.K. **Introduction to geochemistry**. Boston: WCB McGraw-Hill, 1995.

KUYUMIJAN, R.M. Magmatic arc and associated gold, copper, silver and barite deposits in the state of Goiás, central Brasil: characteristics and speculations. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 2, p. 285-288, 2000.

LAPWORTH, D.J. et al. Geochemical mapping using stream sediments in west-central Nigeria: implications for environmental studies and mineral exploration in West Africa. **Applied Geochemistry**, v. 27, p. 1035-1052, 2012.

MARQUES, V.J.; GUIMARÃES, M.T.; COSTA, S.A. de. Aplicação de estudos petroquímicos à pesquisa mineral de suítes vulcanogênicas em Bom Jardim de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais...** Florianópolis: SBG, 1980. p. 2082-2103.

MITTERMEIER, R.A. et al. **Hotspots revisited**: Earth's biologically richest and most endangered ecoregions. Mexico City: CEMEX, 2004.

OLIVEIRA, C.G. et al. The copper-gold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 25, n° 3, p. 285-299, 2004.

OLIVEIRA, I.W.B. **Cobre de Bom Jardim, estado de Goiás**. Goiânia: CPRM, 2000. (Informe de Recursos Minerais. Série Oportunidades Minerais. Exame Atualizado de Projeto, 03).

PENA, G.S. Geologia da área do projeto Goiânia II, sudoeste do Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 4, p. 37-50, 1974.

PIMENTEL, M.M. et al. U-Pb zircon chronology of Precambrian tin-bearing continental-type acid magmatism in central Brazil. **Precambrian Research**, v. 52, p. 321-335, 1991.

PIMENTEL, M.M. et al. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. Tectonic evolution of South America. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** p 195-229.

PIMENTEL, M.M. et al. The Mara Rosa arc in the Tocantins province: further evidence for Neoproterozoic accretion in central Brazil. **Precambrian Research**, v. 81, p. 299-310, 1997.

PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A. Geologia da sequência vulcanossedimentar de Arenópolis. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, nº 2, p. 217-223, 1986.

PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. **Geology**, v. 24, p. 104-111, 1992.

PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; BOTELHO, N.F. Granites and the geodynamic history of the Neoproterozoic Brasília belt, central Brazil: a review. **Lithos**, v. 46, p. 463-483, 1999.

REIMANN, C. et al. **Statistical data analysis explained**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2008.

RIBEIRO, J.A.S. Cobre. In: DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário mineral**. Brasília: DNPM, 2014. 141 p.: il.

RODRIGUES, J.B.; GIOIA, S.M.L.C.; PIMENTEL, M.M. Geocronologia e geoquímica de ortognaisses da região entre Iporá e Firminópolis: implicações para a evolução do arco magmático de Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, nº 2, p. 207-216, 1999.

SCHOBENHAUS FILHO, C. et al. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: folha Goiás (SE-22). Brasília: DNPM, 1975.

SEER, J.H. **Geologia, deformação e mineralização de cobre no complexo vulcanossedimentar de Bom Jardim de Goiás**. 1985. 181 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

SILLITOE, R.H. The influence of magmatic-hydrothermal models on exploration strategies for volcanic-plutonic arcs. In: THOMPSON, J.F.H. (Ed.). *Magmas, fluids and ore deposits*. **Association of Canada Short Course**, v. 23, p. 511-525, 1995.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2014**. Virginia: USGS, 2014. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2014/mcs2014.pdf>>.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2015**. Virginia: USGS, 2015. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2015/mcs2015.pdf>>.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2016**. Virginia: USGS, 2016. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/media/images/mineral-commodity-summaries-2016>>.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2017**. Virginia: USGS, 2017. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>>.

YARIV, S.; CROSS, H. **Geochemistry of colloid systems**: for Earth scientists. Berlin: Springer-Verlag, 1979.

Reavaliação do Patrimônio Mineral

PROJETO BOM JARDIM

Durante a segunda metade do século passado o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realizou diversos projetos de pesquisa e exploração mineral no Brasil. Atualmente a CPRM possui 376 direitos minerários ativos agrupados em 30 projetos distribuídos pelo país.

O Empreendimento Reavaliação do Patrimônio Mineral da CPRM tem como finalidade resgatar e reavaliar os dados de informações geológicas, geoquímicas, geofísicas e geometalúrgicas, validando-os e organizando-os em um banco de dados em formato digital. Esses dados são integrados e reinterpretados à luz do conhecimento geológico atual, tanto quanto possível, modelados e estimados conforme preconizado nos códigos internacionais de classificação de recursos e reservas.

A área do Projeto Cobre de Bom Jardim de Goiás localiza-se a 28 km a sul da cidade de Bom Jardim de Goiás, no extremo oeste do estado de Goiás. O processo minerário em nome da CPRM possui 1.000 hectares de área.

O depósito de cobre de Bom Jardim ocorre sob a forma de vênulas e veios hidrotermais alojados em rochas metavulcanossedimentares da Formação Córrego da Aldeia. Os recursos totais foram estimados em 4,43 milhões de toneladas de minério com teor médio de 0,44% Cu, estando a mineralização aberta em profundidade e ao longo do strike, oferecendo oportunidade de significativa expansão destes recursos.

Este acervo contém todos os dados e informações do referido depósito, o qual possa vir a ser um catalizador de novos investimentos, fomentando oportunidades e incentivando a indústria mineral do País.



Sede

Setor Bancário Norte - SBN - Quadra 02, Asa Norte
Bloco H - 5º andar - Edifício Central Brasília
Brasília – DF - CEP: 70040-904
Tel: 61 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ Cep: 22290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tel: 21 2546-0212 - 61 3223-1166

Departamento de Geologia

Tel: 91 318-21326

Departamento de Recursos Minerais

Tel: 21 2295-4992

Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

Tel: 61 2108-8418

Divisão Geologia Econômica

Tel: 21 2546-0418

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 3223-1059

Superintendência Regional de Goiás

Rua 148, 485 - Setor Marista
Goiânia - GO - CEP: 74170-110
Tel.: 62 3240-1400

Assessoria de Comunicação

Tel: 61 2108-8468
E-mail: asscomdf@cprm.gov.br

Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0372
E-mail: marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997
E-mail: seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM

SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL