

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO NA JAZIDA CARBONÍFERA
MORUNGAVA-CHICO LOMÃ, RS**

MARA LIA DIAS CAVALHEIRO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

Porto Alegre - 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO NA JAZIDA CARBONÍFERA
MORUNGAVA-CHICO LOMÃ, RS**

MARA LIA DIAS CAVALHEIRO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ana Maria Pimentel Mizusaki – Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Jairo Francisco Savian – Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Dr.^a Janaína Hugo Levandowski – Fundação de Amparo e Tecnologia ao
Meio Ambiente, Tubarão – SC

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre - 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Cavalheiro, Mara Lia Dias

Levantamento Gravimétrico na Jazida Carbonífera
Morungava-Chico Lomã, RS . / Mara Lia Dias Cavalheiro. - Porto
Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[128 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do
Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es):Wolfgang Dieter Kalkreuth

1. Carvão 2. Intrusões ígneas 3. Método gravimétrico 4. Espessura
cumulativa I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao Instituto de Geociências.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências.

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobrás (PRH-PB 215), pela bolsa de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo auxílio financeiro (PRONEX 10/0025-9).

Ao Prof. Dr. Wolfgang Dieter Kalkreuth, pela orientação nessa dissertação, um ser humano ímpar, um profissional com conhecimentos e postura a serem seguidas como modelo.

Ao Técnico de Campo Robson dos Santos Aquino, pelos trabalhos de campo e pela amizade.

À querida Prof.^a Dr.^a Maria Luiza Correa da Camara Rosa, pelo auxílio no processamento e interpretação dos dados.

À todos que fizeram parte da Equipe do Núcleo de Estudo de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo no período de março de 2013 a junho de 2015, com carinho especial às amigas confidentes Caroline de Souza Flores e Priscila dos Santos Lourenzi.

Aos meus pais Lídia Mercedes Dias Cavalheiro e Luiz Alberto de Castro Cavalheiro, pelos ensinamentos que me permitiram chegar até aqui, por estarem sempre de prontidão para todos meus dilemas e por amenizarem com muito amor e carinho a distância entre Caçapava do Sul e Porto Alegre.

À minha irmã Marina Dias Cavalheiro, por morar comigo em Porto Alegre, sem dúvida o melhor presente que meus pais poderiam ter me dado.

Aos meus avós maternos (*in memoriam*) Maria da Silva Dias e Nelson da Silva Dias.

Aos meus avós paternos Virgilina Teodora de Castro Cavalheiro e Cleri Dutra Cavalheiro.

Aos familiares, amigos e colegas.

À todos, minha gratidão!

RESUMO

A presente dissertação foi desenvolvida conforme a norma 103 do Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que prevê a submissão da dissertação de mestrado em forma de artigo, antecedido de estado da arte do tema proposto. Na região sudeste da Bacia do Paraná estão localizados depósitos de carvão economicamente importantes nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esses depósitos são frequentemente muito alterados por intrusões vulcânicas. O objetivo principal desse estudo é mapear essas intrusões ígneas que afetam o nível de alteração térmica do carvão (*rank*) da jazida carbonífera Morungava-Chico Lomã no RS. A jazida Morungava-Chico Lomã foi descoberta no século passado e nunca foi minerada. É caracterizada por rochas orgânicas do Permiano, carvão e folhelho betuminoso, na porção sul da Bacia do Paraná. A aquisição gravimétrica foi realizada na área do depósito Morungava e na área do depósito Chico-Lomã. Para ambas a escolha dos locais de aquisição foi baseada em furos de sondagem anteriormente realizados. Com os dados dos furos de sondagem foram elaborados seguintes mapas temáticos: profundidade da primeira ocorrência de carvão; espessura cumulativa do carvão; profundidade da primeira ocorrência de diabásio; espessura cumulativa do diabásio; espessura cumulativa do diabásio na Formação Irati e espessura cumulativa do diabásio na Formação Rio Bonito. Na elaboração do artigo submetido foi realizada a sobreposição das isolinhas das espessuras cumulativa do carvão e do diabásio nos mapas de anomalia Bouguer filtrados. Essas sobreposições apresentaram correlações e auxiliaram na interpretação dos dados gravimétricos. A orientação preferencial predominante das anomalias foi NE-SW e uma orientação subsidiária de direção NW-SE, o que sugeriu um controle estrutural sobre a ocorrência de diques e/ou soleiras, sob os altos gravimétricos. Em Chico Lomã a ocorrência de uma extensa anomalia Bouguer positiva formando um *trend* de orientação NE-SW foi correlacionada a unidades geológicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: altos gravimétricos caracterizaram a Barreira I e baixos gravimétricos, os Sistemas Lagunares I e II. O método gravimétrico se mostrou eficaz para a caracterização da jazida por meio da correlação de anomalias gravimétricas positivas com as ocorrências de diabásio.

Palavras-chave: carvão, intrusões ígneas, método gravimétrico, espessura cumulativa

ABSTRACT

The present dissertation was developed according to standard 103 of the Graduate Program in Geosciences of the Federal University of Rio Grande do Sul, which provides for the submission of the dissertation in the form of article, predates by state of the art proposed theme. In the southeastern region of the Paraná Basin are located economically important coal deposits in the states of Parana, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. These deposits are often much altered by volcanic intrusions. The objective of this study is to map the igneous intrusions affecting the thermal change of level of coal (rank) of the coal deposit Morungava-Chico Lomã in RS. The coal deposit Morungava-Chico Lomã was discovered in the last century and has never been mining. It is characterized by organic rocks of the Permian, coal and bituminous shale, in the southern portion of the Paraná Basin. The gravimetric acquisition was carried in área of the deposit Morungava and in the area of the deposit Chico-Lomã. For both areas the choice of acquisition locations was based on previously conducted drilling holes. With data from the holes drilling were prepared these thematic maps: depth of the first occurrence of coal; cumulative thickness of coal; depth of the first occurrence of diabase; cumulative thickness of diabase; cumulative thickness of diabase in Irati Formation and cumulative thickness of the diabase in Rio Bonito Formation. In the elaboration of article submitted the overriding of the isolines of cumulative thickness of coal and diabase in the filtered Bouguer anomaly maps was performed. These overrides presented correlations and assisted in the interpretation of gravity data. The predominant preferential orientation of the anomalies was NE-SW and a subsidiary orientation NW-SE direction, suggesting a structural control on the occurrence of dikes and/or sills, on gravimetric high. In Chico Lomã the occurrence of an extensive positive Bouguer anomaly forming a trend of NE-SW orientation was correlated with geological units of Rio Grande do Sul Coastal Plain: gravimetric characterized the high Barrier I and low gravimetric, Systems Lagunar I and II. The gravimetric method proved efficient for the characterization of the deposit through the correlation of positive gravity anomalies with occurrences of diabase.

Keywords: coal, igneous intrusions, gravimetric method, cumulative thickness

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1**..... 2
Mapa de localização da área de estudos (círculo vermelho), principais jazidas de carvão do RS e SC (hachuradas em preto), localização de municípios (quadrado verde) e no quadro à direita a litoestratigrafia da Formação Rio Bonito (modificado de Kalkreuth et al., 2003).
- Figura 2**..... 5
Os efeitos da pressão e da água sobre a fusão. a) a temperatura de fusão se eleva com o aumento da pressão. Assim uma diminuição na pressão, em rochas já quentes, pode iniciar a fusão. b) quando a água está presente, a curva da pressão muda para a esquerda porque a água atua como um agente adicional para quebrar as ligações químicas. Consequentemente, as rochas se fundem em temperaturas mais baixas se a água estiver presente (Wicander & Monroe, 2009).
- Figura 3**..... 9
Bloco diagrama ilustrando os vários tipos de plutons (Wicander & Monroe, 2009).
- Figura 4**..... 11
a) duas soleiras escuras formam-se por um magma que intruiu entre as camadas de rochas sedimentares no Parque Nacional Big Bend no Texas. b) um dique de rocha ígnea intruiu em folhelho no Parque Nacional Grand Canyon (Grotzinger & Jordan, 2013).
- Figura 5**..... 13
Mapa mostrando a carbonificação no noroeste da Alemanha do Cretáceo Inferior com a refletância da vitrinita medida em matéria orgânica dispersa; depósitos de interesse econômico de petróleo e gás estão relacionados com fases de carbonificação (modificado de (Bartenstein, Teichmüller & Teichmüller, 1974).
- Figura 6**..... 14
Variação da refletância da vitrinita adjacente a soleira Whin, onde os baixos valores representam a formação de grafite (modificado de Bartenstein & Teichmüller, 1974).
- Figura 7**..... 23
Foto da aquisição gravimétrica no local furo de sondagem realizado pelo NCRGP em Morungava. Gravímetro, DGPS e placa no solo indicando local do furo.
- Figura 8**..... 25
a) correção de ar livre para uma observação numa altura h acima do datum; b) correção Bouguer. A região sombreada corresponde a uma placa de rocha de espessura h estendendo-se ao infinito em ambas as direções horizontais; c) a correção terreno (Kearey, Brooks & Hill, 2009).
- Figura 9**..... 29
Mapa geológico da Bacia do Paraná (modificado de Milani, 1997).
- Figura 10**..... 30
Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (modificado de Milani et al., 2007).

Figura 11	35
<i>Mapa com resultados dos valores médios da refletância da vitrinita em carvão Permiano da Formação Rio Bonito na área das jazidas de Morungava (MO), Chico Lomã (CL) e Santa Terezinha (ST). Em preto resultados da refletância da vitrinita no carvão e em vermelho resultados da refletância da vitrinita onde há alteração térmica no carvão (modificado de Kern, 2002).</i>	
Figura 12	35
<i>Perfil da refletância versus profundidade. Amostras com características petrográficas de coque losangos vermelhos, com refletância alterada pelo contato com o diabásio e losangos azuis amostras com valores normais de refletância (Levandowski, 2013).</i>	
Figura 13	36
<i>Organograma com as etapas da metodologia empregada no estudo.</i>	
Figura 14	38
<i>Aquisição gravimétrica e furos de sondagem.</i>	
Figura 15	44
<i>Mapa anomalia Bouguer – Morungava.</i>	
Figura 16	46
<i>Mapa Gaussiano – Morungava.</i>	
Figura 17	49
<i>Mapa 1ª Derivada – Morungava.</i>	
Figura 18	52
<i>Mapa anomalia Bouguer – Chico Lomã.</i>	
Figura 19	54
<i>Mapa Gaussiano – Chico Lomã.</i>	
Figura 20	57
<i>Mapa 1ª Derivada – Chico Lomã.</i>	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	19
<i>Densidade de rochas ígneas e metamórficas.</i>	
Tabela 2	20
<i>Densidade de sedimentos e rochas sedimentares (Luiz & Silva, 1995).</i>	
Tabela 3	21
<i>Densidade de minerais (Luiz & Silva, 1995).</i>	
Tabela 4	45
<i>Descrição das anomalias do mapa Bouguer.</i>	
Tabela 5	13
<i>Descrição das anomalias do mapa Gaussiano</i>	
Tabela 6	14
<i>Descrição das anomalias do mapa 1ª Derivada.</i>	
Tabela 7	23
<i>Descrição das anomalias do mapa Bouguer.</i>	
Tabela 8	25
<i>Descrição das anomalias do mapa Gaussiano.</i>	
Tabela 9	29
<i>Descrição mapa 1ª Derivada.</i>	

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	15
<i>Métodos geofísicos (Kearey, Brooks & Hill, 2009).</i>	
Quadro 2	15
<i>Aplicação de levantamentos geofísicos (Kearey, Brooks & Hill, 2009).</i>	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Estrutura da Dissertação	2
1.2. Objetivo	3
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. Rochas Ígneas	3
2.1.1. Magma.....	4
2.1.2. Origem do Magma.....	4
2.1.3. Deslocamento do Magma.....	6
2.1.4. Composição do Magma.....	7
2.1.5. Formas de Ocorrência das Rochas Intrusivas.....	8
2.1.5.1. Corpos Intrusivos Maiores.....	9
2.1.5.2. Corpos Intrusivos Menores.....	10
2.1.6. Ocorrência das Rochas Intrusivas em Folhelho e Carvão.....	12
2.2. Método Geofísico Potencial Gravimétrico	14
2.2.1. Métodos Geofísicos.....	14
2.2.2. Método Gravimétrico.....	16
2.2.3. Gravidade.....	17
2.2.4. Unidades de Gravidade.....	18
2.2.5. Densidade das Rochas e Minerais.....	18
2.2.6. Medidores de Gravidade.....	21
2.2.7. Aquisição de Dados Gravimétricos.....	22
2.2.8. Processamento de Dados Gravimétricos.....	23
2.2.9. Interpretação de Dados Gravimétricos.....	26
3. CONTEXTO GEOLÓGICO	27
3.1. Localização da Área de Estudos	27
3.2. Geologia Regional	28
3.3. Geologia Local	31
3.4. Estudos Anteriores sobre Matéria Orgânica em Contato com Rochas Ígneas na Área de Estudos	34
4. METODOLOGIA	36
4.1. Pesquisa Perfis de Sondagem Jazida Morungava-Chico Lomã ..	37
4.2. Compilação dos Dados dos Perfis de Sondagem em Tabelas	37
4.3. Análise da Distribuição Espacial dos Furos	37
4.4. Planejamento do Trabalho de Campo	38
4.5. Levantamento Gravimétrico	39
4.6. Área Morungava	40
4.7. Área Chico Lomã	40
4.8. Processamento dos Dados Gravimétricos	40
4.9. Mapas Anomalia Bouguer	41

4.10. Mapas Temáticos Dados Perfis de Sondagem.....	42
4.11. Descrição dos Resultados.....	42
4.11.1. Mapas Anomalia Bouguer.....	42
4.11.1.1. Área Morungava.....	43
4.11.1.2. Área Chico Lomã.....	51
4.11.2. Mapas Temáticos Dados Perfis de Sondagem.....	59
4.11.2.1. Área Morungava.....	59
4.11.2.2. Área Chico Lomã.....	60
4.12. Interpretação dos Resultados.....	60
4.13. Elaboração e Submissão do Artigo.....	61
4.14. Elaboração e Entrega da Dissertação.....	62
5. ARTIGO.....	62
REFERÊNCIAS (Capítulo 1 ao 4).....	94
ANEXO(S)	
ANEXO A - Modelo Tabela.....	97
ANEXO B - Tabela Dados Perfis de Sondagem - Morungava.....	98
ANEXO C - Tabela Dados Perfis de Sondagem - Chico Lomã.....	100
ANEXO D - Localização Furos de Sondagem - Morungava.....	102
ANEXO E - Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão - Morungava.....	103
ANEXO F - Profundidade Primeira Ocorrência de Diabásio - Morungava.....	104
ANEXO G - Espessura Cumulativa do Carvão - Morungava.....	105
ANEXO H - Espessura Cumulativa do Diabásio - Morungava.....	106
ANEXO I - Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Irati - Morungava.....	107
ANEXO J - Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Rio Bonito - Morungava..	108
ANEXO K - Localização Furos de Sondagem - Chico Lomã.....	109
ANEXO L - Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão - Chico Lomã.....	110
ANEXO M - Profundidade Primeira Ocorrência de Diabásio - Chico Lomã.....	111
ANEXO N - Espessura Cumulativa do Carvão - Chico Lomã.....	112
ANEXO O - Espessura Cumulativa do Diabásio - Chico Lomã.....	113
ANEXO P - Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Irati - Chico Lomã.....	114
ANEXO Q - Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Rio Bonito - Chico Lomã	115
ANEXO * - Carta de Submissão do Artigo.....	116

1. INTRODUÇÃO

Rochas sedimentares de idade Permiana na parte sul da Bacia do Paraná no Brasil são frequentemente associadas com rochas ígneas. Essas intrusões ígneas tem um impacto significativo sobre as rochas ricas em matéria orgânica de idade Permiana, como nas camadas de carvão que ocorrem na Formação Rio Bonito e nos folhelhos betuminosos na Formação Irati.

Estudos anteriores demonstraram (Kern, 2002; Kalkreuth *et al.*, 2003, 2008, 2013; Levandowski, 2013), que as camadas da Formação Rio Bonito nas zonas de contato com as rochas ígneas são alteradas termicamente para meta-antracito e coque natural, enquanto os níveis de maturação dos folhelhos betuminosos da Formação Irati frequentemente são alterados termicamente de imaturo para maturo, acompanhado pela geração de hidrocarbonetos a partir destes folhelhos.

Há uma escassez de informações sobre a distribuição espacial nas rochas ígneas na parte sul da Bacia do Paraná (Kalkreuth *et al.*, 2008). Baseado nisso, no presente estudo, foi proposto investigar a distribuição espacial das rochas ígneas na Jazida Morungava-Chico Lomã (Figura 1) através do método geofísico potencial gravimétrico, apoiada pela interpretação dos dados de 88 furos de sondagem na região carbonífera, onde a profundidade e espessura das intrusões ígneas foram registradas, bem como o número de camadas de carvão, espessura cumulativa do carvão, e a profundidade e espessura dos folhelhos betuminosos da Formação Irati.

Métodos geofísicos são uma ferramenta de investigação indireta que seguem princípios físicos aliados às propriedades físicas das rochas em subsuperfície, que geram resultados devido as anomalias das medidas dessas propriedades em um determinado alvo. Na área de estudos há um contraste entre os valores de densidade do carvão e das rochas ígneas, desta forma foi selecionado o método geofísico gravimétrico, que mede valores de gravidade local, que são regidos pela densidade das rochas.

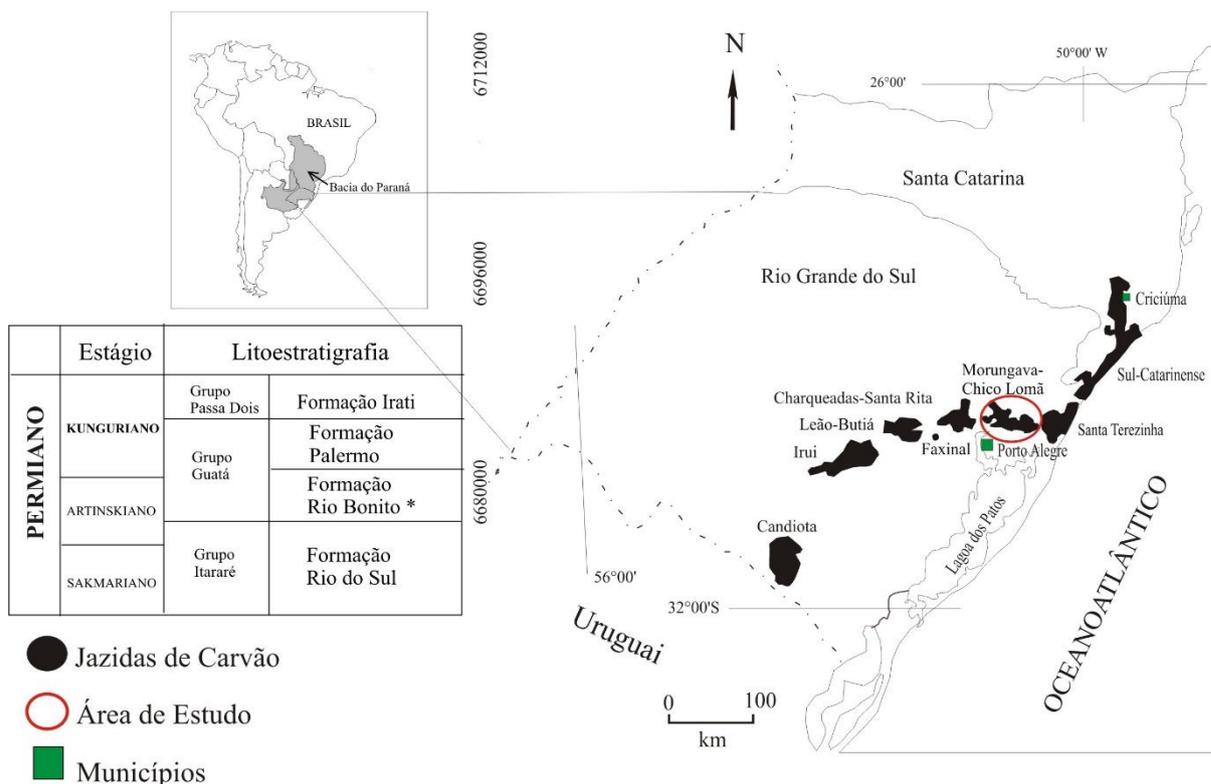


Figura 1 – mapa de localização da área de estudos (círculo vermelho), principais jazidas de carvão do RS e SC (hachuradas em preto), localização de municípios (quadrado verde) e no quadro à direita a litoestratigrafia da Formação Rio Bonito (modificado de Kalkreuth *et al.*, 2003).

1.1. Estrutura da Dissertação

Em 01 de março de 2012, a Comissão de Pós-Graduação em Geociências - Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências da UFRGS, aprovou a norma 103 que institui a submissão de dissertações e teses exclusivamente em formato de artigos, com a seguinte estruturação:

a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de Mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, o estado da arte sobre o tema de pesquisa;

b) Artigos publicados em periódicos ou submetidos a periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes, ou publicações equivalentes, escritos pelo autor durante o desenvolvimento de seu Mestrado;

c) Anexos, compreendendo: artigo(s) nos quais o pós-graduando é coautor, resumo(s) e artigo(s) publicado(s) em eventos, relacionado(s) ao tema central da dissertação, bem como documentação pertinente de natureza numérica (tabelas,

cálculos), gráfica (figuras, diagramas, mapas, seções) e fotográfica que, por sua dimensão e/ou natureza não pode ser incluída no(s) artigo(s).

Outra informação relevante da norma é que o corpo principal da Dissertação deverá ser constituído por um mínimo de 01 artigo científico relacionado diretamente ao tema central da Dissertação, submetido a revistas classificadas nos estratos *Qualis* da CAPES A1, A2, B1 ou B2, e B3 somente para o caso de periódico internacional, sendo o mestrando o primeiro autor do artigo, e poderá conter mais artigos com o mestrando sendo coautor ou autor principal. Cada artigo ainda não publicado deverá ser precedido pela carta de aceite ou de recebimento do editor da revista científica.

1.2. Objetivo

Caracterizar a distribuição espacial das rochas ígneas na jazida carbonífera Morungava-Chico Lomã através da aplicação do método geofísico potencial gravimétrico.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Rochas Ígneas

As rochas ígneas derivam do magma e se formam quando:

- o magma ou lava se resfria e se cristaliza para formar os minerais;
- materiais piroclásticos como cinza vulcânica são consolidados, formando massas sólidas de partículas.

Rochas vulcânicas ou rochas ígneas extrusivas são resultados do resfriamento de fluxos de lava e da consolidação de materiais piroclásticos.

Rochas plutônicas ou rochas ígneas intrusivas são resultado do resfriamento do magma, que se cristaliza na crosta terrestre (Wicander & Monroe, 2009).

2.1.1. Magma

Magma é qualquer material rochoso fundido, de consistência pastosa, que apresenta uma mobilidade potencial, e que, ao consolidar, constitui as rochas ígneas (ou magmáticas) (Teixeira *et al.*, 2009).

O magma que extravasa à superfície, formando os derrames vulcânicos, recebe a denominação mais específica de lava, uma vez que, durante o processo vulcânico, sofre algumas importantes modificações físico-químicas (desvolatilização, reações de oxirredução), que a diferenciam do magma retido e cristalizado em profundidade. Magmas apresentam altas temperaturas, da ordem de 700 a 1200° C, e são constituídos de:

- uma parte líquida, representada pelo material rochoso fundido;
- uma parte sólida, que corresponde a minerais já cristalizados e a eventuais fragmentos de rocha transportados em meio a porção líquida; e
- uma parte gasosa, constituída por voláteis dissolvidos na parte líquida, predominantemente H₂O e CO₂.

Esses componentes ocorrem em proporções variáveis em função da origem e evolução dos magmas. A consistência física de um magma (viscosidade, medida em *poise*), que se reflete na sua mobilidade, é decorrente da composição química, grau de cristalinidade, teor de voláteis dissolvidos e temperatura (Teixeira *et al.*, 2009).

2.1.2. Origem do Magma

Estudos sobre o ambiente e condições de geração de magma podem ser realizados através de levantamentos geofísicos, fragmentos de rochas transportados pelos magmas desde as suas regiões de origem, por estudos de petrologia experimental que procuram reproduzir em laboratório as condições formadoras de magmas e definir os parâmetros termodinâmicos correspondentes (Teixeira *et al.*, 2009).

Os magmas se originam da fusão parcial de rochas do manto superior ou crosta inferior na litosfera. A fusão pode ser provocada pelo aumento da temperatura, por alívio de pressão confinante a que estão submetidas estas rochas, por variações no teor de fluidos ou pela combinação desses fatores (Teixeira *et al.*, 2009).

A origem do magma é relacionada a temperatura da Terra que aumenta com a profundidade, representado pelo gradiente geotermal que é cerca de 25°C/km. Apesar da alta temperatura, as rochas permanecem sólidas, porque sua temperatura de fusão aumenta com a pressão crescente (Figura 2) (Wicander & Monroe, 2009).

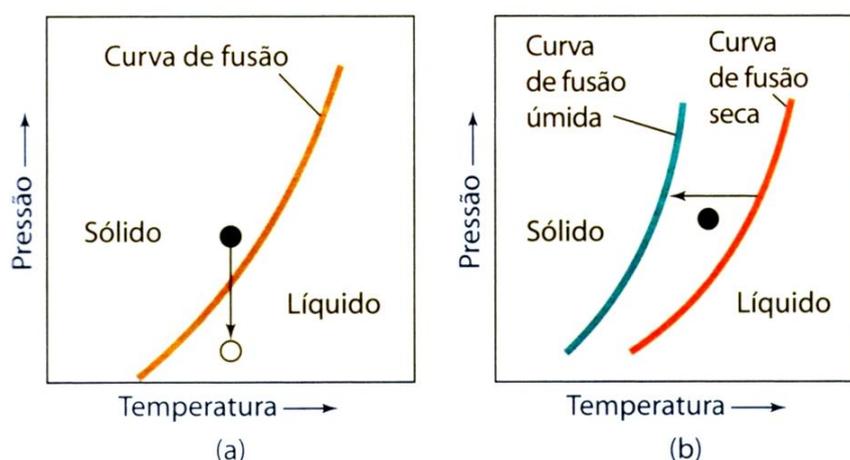


Figura 2 – os efeitos da pressão e da água sobre a fusão. a) a temperatura de fusão se eleva com o aumento da pressão. Assim uma diminuição na pressão, em rochas já quentes, pode iniciar a fusão. b) quando a água está presente, a curva da pressão muda para a esquerda porque a água atua como um agente adicional para quebrar as ligações químicas. Consequentemente, as rochas se fundem em temperaturas mais baixas se a água estiver presente (Wicander & Monroe, 2009).

Nas cadeias de espalhamento de assoalho oceânico, a pressão é menor e, como temperatura local excede a temperatura de fusão, as rochas podem ser fundidas. Essa diminuição da pressão se deve à separação das placas na cadeia mesoceânica. Assim, um decréscimo na pressão, sobre as rochas quentes em profundidade, favorece à fusão (Figura 2a). A presença de água pode diminuir a temperatura de fusão sob as cadeias que se expandem, porque a água ajuda a energia termal a quebrar as ligações químicas nos minerais (Figura 2b) (Wicander & Monroe, 2009).

Na Bacia do Paraná, na região do município de Torres, no sul do Brasil, o gradiente geotermal, determinado em 1962 em um furo de sondagem (Tost-1-RS) realizado pela Petrobrás é de cerca de 27°C.

2.1.3. Deslocamento do Magma

O magma, uma vez gerado, tende a deslocar-se na crosta em direção à superfície, por apresentar densidade menor do que as rochas subjacentes. Magmas ascendem através de grandes falhas e fraturas. Quando estas descontinuidades não se encontram disponíveis, formam-se bolsões de magma em forma de gigantescas “gotas invertidas” ou “balões” (diásporos), da ordem de vários quilômetros cúbicos, que se deslocam por fluxo plástico em meio às rochas subjacentes. Frequentemente, o bolsão de magma força as rochas encaixantes, às vezes quebrando-as e englobando seus fragmentos. Quando há fusão e assimilação dos blocos capturados, podem ocorrer modificações na composição química do magma original, outras vezes, à medida que o bolsão de magma se move para cima, vai fundindo a rocha encaixante, e que também pode resultar significativa transformação na composição química do magma, dependendo do tipo de rocha percolada (Teixeira *et al.*, 2009).

Em muitos casos, grandes volumes de magma “estacionam” a determinadas profundidades e fornecem material para manifestações vulcânicas na superfície por períodos da ordem de dezenas de milhares de anos, denominados câmaras magmáticas, cuja presença e dimensões podem ser aferidas indiretamente por estudos geofísicos. A partir daí o magma é conduzido à superfície através dos condutos magmáticos ou vulcânicos, que podem apresentar geometria e complexidade variáveis, gerando uma grande diversidade de formas de ocorrência das rochas magmáticas (Teixeira *et al.*, 2009).

2.1.4. Composição do Magma

A composição de um magma depende de vários fatores:

- da constituição da rocha geradora;
- das condições em que ocorreu a fusão desta rocha e da taxa de fusão correspondente; e
- da história evolutiva deste magma do seu local de origem até o seu sítio de consolidação.

Magmas têm, majoritariamente, composição silicática, em consonância com a composição predominante da crosta e do manto terrestre.

Os principais componentes dos magmas silicáticos na Terra são, além de O e Si, o Al, Ca, Fe, Mg, Na, K, Mn, Ti e P. O espectro composicional dos magmas silicáticos é muito amplo, e praticamente contínuo em termos do teor de sílica; porém, dois tipos de magma se destacam amplamente pela sua abundância na crosta terrestre: o magma granítico, com teores de sílica superiores a 66%, e o magma basáltico, com teores de sílica entre 45 e 52%. Alguns pesquisadores acrescentam um terceiro tipo de magma, o magma andesítico, com teor de sílica entre 55 e 66% (Grotzinger & Jordan, 2013).

Magmas basálticos possuem temperaturas entre 1000 a 1200° C e menor viscosidade. Magmas graníticos são mais viscosos e apresentam temperaturas entre 700 a 800° C. A viscosidade de um magma silicático aumenta com:

- o aumento do teor de sílica;
- a redução da temperatura;
- a diminuição do conteúdo de voláteis.

Estas relações podem ser explicadas através do comportamento dos radicais aniônicos tetraédricos $[\text{SiO}_4]^{-4}$ dos magmas, que representam as unidades estruturais fundamentais para a constituição do retículo cristalino dos minerais silicáticos formados na cristalização destes magmas. Essas unidades tendem a polimerizar, unindo-se em estruturas progressivamente mais complexas no decorrer da cristalização. Em magmas ricos em sílica, esta polimerização se dá nas primeiras etapas da consolidação, e em escala mais ampla, produz extensas cadeias que dificultam o fluxo do magma, aumentando sua viscosidade. Em magmas básicos, com teores de sílica menores, essa polimerização só acontece, em escala

significativa, nas etapas mais avançadas de consolidação, ou seja, não se formam grandes estruturas polimerizadas que possam dificultar o fluxo do magma nos estágios iniciais. Nos magmas graníticos, porém, o aumento de temperatura tende a destruir as estruturas polimerizadas, diminuindo assim a viscosidade do magma. O aumento do teor de água dissolvida no magma tem efeito similar, tendendo a diminuir a sua viscosidade. Assim, magmas graníticos, ainda que mais viscosos, podem ter sua mobilidade ampliada quando a altas temperaturas, ou quando apresentarem teores elevados de água dissolvida. Magmas basálticos, apesar de apresentarem baixos teores de água dissolvida têm no seu baixo conteúdo em sílica a principal razão para as suas viscosidades mais baixas.

Magmas basálticos são gerados em grandes volumes pela fusão dos peridotitos mantélicos, principalmente nas regiões abaixo das dorsais meso-oceânicas, mas eventualmente também abaixo da crosta continental, no manto superior.

Magmas graníticos são associados à fusão de partes profundas da crosta continental, enriquecida em sílica em relação à crosta oceânica.

Magmas andesíticos são característicos dos arcos de ilhas ou de cadeia de montanhas em margens continentais convergentes, como na Cadeia Andina (Teixeira *et al.*, 2009).

2.1.5. Formas de Ocorrência das Rochas Intrusivas

Quando o magma formado em profundidade, se consolida no interior da crosta, há formação de rochas plutônicas ou intrusivas. De acordo com a profundidade o magma se cristaliza, os corpos rochosos formados são classificados em abissais, se a cristalização ocorrer em grandes profundidades (mais de 2 km) e hipoabissais, se cristalizarem em níveis crustais rasos (Teixeira *et al.*, 2009).

Os corpos de rochas ígneas intrusivas também podem ser classificados em relação às suas formas, que podem ser alongadas, circulares, tabulares ou mesmo totalmente irregulares. Geralmente todos os corpos intrusivos são denominados “*plutons*” e podem ser distinguidos de acordo com seu tamanho e relação com as rochas encaixantes da crosta (Teixeira *et al.*, 2009).

2.1.5.1. Corpos Intrusivos Maiores

Os batólitos são corpos ígneos plutônicos de maior dimensão e possuem uma forma irregular (Figura 3). Como eles se cristalizam em profundidade, somente graças à erosão é que hoje podem ser observados à superfície. Seu tamanho pode variar bastante. Convencionalmente, costuma-se chamar de batólitos os corpos que apresentam, em superfície uma área superior a 100 km², quando a área for menor, os corpos são denominados *stocks*. Os *stocks* podem ser parte de batólitos parcialmente erodidos, que com um processo mais intenso de erosão podem passar a ser totalmente expostos (Figura 3). Ambos, batólitos e *stocks*, são corpos intrusivos discordantes, que cortam as estruturas das rochas encaixantes. Uma feição bastante comum nas regiões marginais destes corpos é a presença de xenólitos, que são fragmentos da rocha encaixante arrancados e englobados pelo magma durante sua colocação na região em que irá se consolidar.

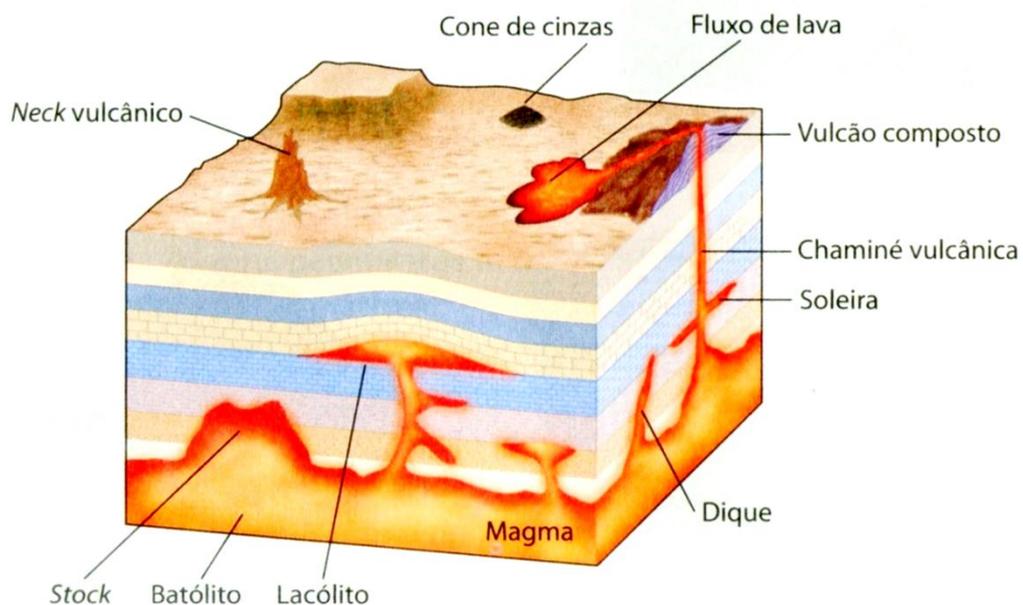


Figura 3 – bloco diagrama ilustrando os vários tipos de plutons (Wicander & Monroe, 2009).

Outra feição comum relacionada aos grandes corpos graníticos são os veios pegmatíticos que, geralmente, ocorrem nas bordas dos batólitos. São estruturas

discordantes e sua formação ocorre na fase final de resfriamento do magma, através da percolação de soluções ricas em sílica, água e, ocasionalmente, em alguns íons que não entraram na estrutura cristalina dos minerais até então formados. Estas soluções são chamadas hidrotermais, e a partir delas são geradas os pegmatitos, constituídos, principalmente, por quartzo e feldspato potássico (Teixeira *et al.*, 2009).

2.1.5.2. Corpos Intrusivos Menores

Os corpos intrusivos menores são representados pelos diques e *sills* (ou soleiras), que têm formas tabulares, pelos lacólitos, em forma de cogumelo e pelos *necks* vulcânicos. Diques e *sills* possuem a mesma geometria e a diferença entre eles está no modo em que se dá a sua intrusão nas rochas encaixantes (Figura 3).

Os lacólitos são corpos ígneos intrusivos, com a forma de um cogumelo (Figura 3), que podem representar uma variação dos *sills*, já que invadem concordantemente camadas de rochas sedimentares em níveis rasos da crosta. Porém, diferentemente dos *sills*, o lacólito arqueia as camadas de rochas suprajacentes para obter espaço para seu alojamento. Outra diferença é na composição, uma vez que os lacólitos são geralmente formados por magmas mais viscosos. Constituem, em geral, corpos pequenos se comparados aos batólitos e sua largura é inferior a poucos quilômetros.

Os *sills* (soleiras) são corpos intrusivos tabulares que se alojam com atitude horizontal e sub-horizontal, paralelamente à estratificação quando as rochas encaixantes forem sedimentares, pelo que são chamados de corpos concordantes (Figura 4a). Seu tamanho também é variável, porém, para um mesmo corpo, a espessura é relativamente constante. Este fato levou os geólogos a sugerirem que os *sills* são formados por lavas bastante fluidas, o que é geralmente observado, já que a grande maioria dos corpos é constituída de rochas básicas. À ocorrência de um *sill*, por ser um corpo concordante exige que a camada de rocha sedimentar sobrejacente seja soerguida por igual a uma altura equivalente à espessura do *sill*. Embora isto pareça muito difícil, o processo de soerguimento da camada de rocha requer menos energia do que aquela necessária para levar o magma até a superfície. Consequentemente, os *sills* se formam preferencialmente em níveis rasos

da crosta, próximos a superfície, onde a pressão exercida pelo peso das rochas sobrepostas é relativamente pequena.

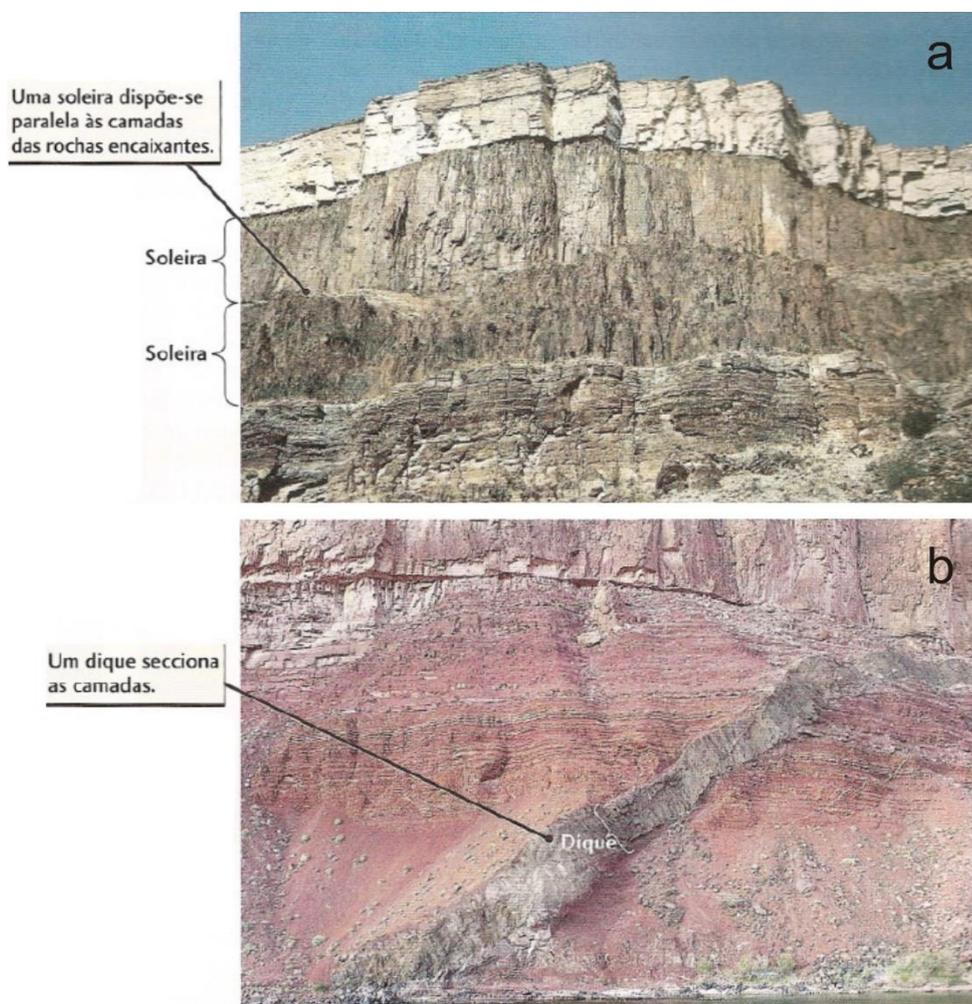


Figura 4 – a) duas soleiras escuras formam-se por um magma que intruiu entre as camadas de rochas sedimentares no Parque Nacional Big Bend no Texas. b) um dique de rocha ígnea intruiu em folhelho no Parque Nacional Grand Canyon (Grotzinger & Jordan, 2013).

Os diques são formados quando o magma invade as rochas encaixantes através de fraturas ou falhas, e apresentam uma atitude vertical ou cortam as estruturas originais dessas rochas, sendo portanto denominados corpos discordantes (Figura 4b). Os diques podem ser enormes como, por exemplo, o “Grande Dique” na Rodésia que é representado um corpo de gabro com aproximadamente 500 km de comprimento e 8 km de espessura. No entanto, eles também podem ter dimensões pequenas, de alguns metros ou centímetros. Os diques podem ocorrer isoladamente ou como enxames. Seu tamanho depende do volume de magma disponível e do tamanho da fratura pela qual ele percola.

Geralmente, os diques são constituídos por magmas básicos, que são mais fluidos e conseguem percolar pelas fraturas e falhas da crosta, com maior facilidade. Contudo, diques de rochas félsicas (graníticas) também ocorrem (Teixeira *et al.*, 2009).

Necks vulcânicos são corpos intrusivos discordantes formados pela consolidação do magma dentro de chaminés vulcânicas, onde os condutos por onde o magma sobe e chega a superfície através dos vulcões. Após a erosão do cone vulcânico, principalmente daquele constituído por material piroclástico mais facilmente erodível, sobressai na topografia a antiga chaminé, o *neck* vulcânico, que serviu de alimentador de magma para o vulcão. A partir da parte central da chaminé o magma pode percolar lateralmente preenchendo fraturas e gerando diques radiais.

2.1.6. Ocorrência das Rochas Intrusivas em Folhelho e Carvão

As ocorrências de intrusões em folhelho e carvão pode ocorrer em forma de batólitos, *stocks*, veios pegmatíticos, diques, *sills*, lacólitos e *necks*, como visto anteriormente.

Adjacente a corpos magmáticos o nível carbonificação pode ser anormalmente alto. A extensão lateral da anomalia irá depender da espessura do corpo magmático e da velocidade do resfriamento. Da mesma forma, a circulação de fluido hidrotermais quentes também irão resultar em níveis de carbonificação anômalos. Como regra geral, os efeitos térmicos em um corpo ígneo são geralmente insignificantes numa distância equivalente de várias vezes a largura do corpo. A análise da espessura do halo termal e do gradiente geotérmico local em torno de um corpo ígneo podem ser usados para estabelecer o histórico do resfriamento e a temperatura de intrusão, usando as relações estabelecidas entre duração da temperatura e o nível de carbonificação (Bartenstein & Teichmüller, 1974).

A ocorrência dessas intrusões tanto em um folhelho, como no carvão, afeta o nível de maturação dos mesmos, notados através da alteração dos valores da refletância da vitrinita próxima a corpos intrusivos.

Um exemplo de aplicação regional no oeste da Alemanha em Wealden, onde a análise de matéria orgânica dispersa resultou em um mapa com isolinhas de

refletância da vitrinita (Figura 5), mostrando um padrão concêntrico, que foi interpretado como sendo causado por uma grande massa intrusiva, e posteriormente identificado como um batólito. As isolinhas de refletância da vitrinita indicaram que a carbonificação aumenta de hulha betuminosa na margem do corpo intrusivo para antracito na região superior da intrusão (Bartenstein, Teichmüller & Teichmüller, 1974).

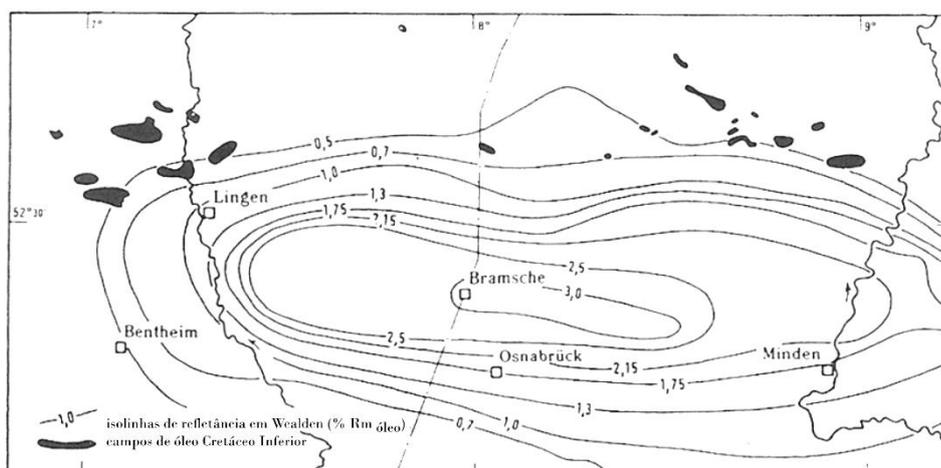


Figura 5 – mapa mostrando a carbonificação no noroeste da Alemanha do Cretáceo Inferior com a refletância da vitrinita medida em matéria orgânica dispersa; depósitos de interesse econômico de petróleo e gás estão relacionados com fases de carbonificação (modificado de (Bartenstein, Teichmüller & Teichmüller, 1974)

A alteração dos valores da refletância da vitrinita no carvão, próximo a intrusões foi estudada no nordeste da Inglaterra, em carvões adjacentes a uma soleira (*sill*) (Figura 6). Foi constatado que as vitrinitas termicamente metamorfizadas refletem a mudança no *rank* antes e depois da intrusão. Como resultado da ocorrência da intrusão e do fluxo de calor elevado, os estratos adjacentes foram mais metamorfizados e localmente houve a formação de grafite junto ao contato da soleira (Bartenstein & Teichmüller, 1974).

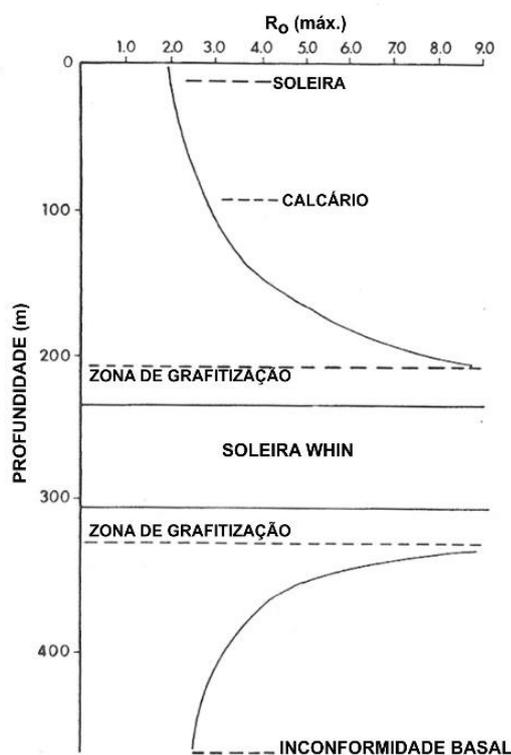


Figura 6 – variação da refletância da vitrinita adjacente a soleira Whin, onde os baixos valores representam a formação de grafite (modificado de Bartenstein & Teichmüller, 1974).

2.2. Método Geofísico Potencial Gravimétrico

2.2.1. Métodos Geofísicos

Existe uma ampla gama de métodos de levantamento geofísico e, para cada um, há uma propriedade física operativa à qual o método é eficaz (Quadro 1). Os principais campos de aplicação de levantamentos geofísicos e os métodos de levantamento mais apropriado para cada aplicação, são listados no Quadro 2.

Quadro 1 – Métodos geofísicos (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

Método	Parâmetro medido	Propriedades físicas operativas
Sísmico	Tempo de percurso de ondas sísmicas refletidas/refratadas	Densidade e módulos elásticos, os quais determinam a velocidade de propagação de ondas sísmicas
Gravitacional	Variações espaciais da força do campo gravitacional da Terra	Densidade
Magnético	Variações espaciais da força do campo geomagnético	Suscetibilidade magnética e remanência
Elétrico Resistividade Polarização induzida Potencial espontâneo Eletromagnético Radar	Resistência da Terra Voltagens de polarização ou resistência do solo dependente da frequência Potenciais elétricos Resposta as radiações eletromagnéticas Tempos de percurso de pulsos de radar Refletidos	Condutividade elétrica Capacitância elétrica Condutividade elétrica Condutividade e indutância elétricas Constante dielétrica

Quadro 2 – Aplicação de levantamentos geofísicos (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

Aplicação	Métodos de levantamento apropriados*
Exploração de combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão)	S, G, M, (EM)
Exploração de depósitos minerais metalíferos	M, EM, E, PE, PI, R
Exploração de depósitos minerais inconsolidados (areia e cascalho)	S, (E), (G)
Exploração de água subterrânea	E, S, (G), (Rd)
Investigação de áreas para engenharia/construção	E, S, Rd, (G), (M)
Investigações arqueológicas	Rd, E, EM, M, (S)

* G, gravimétrico; M, magnético; S, sísmico; E, resistividade elétrica; PE, potencial espontâneo; PI, polarização induzida; EM, eletromagnético; R, radiométrico; Rd, radar de penetração no solo. Métodos subsidiários entre parênteses

A ciência geofísica aplica os princípios da física ao estudo da Terra. A investigação geofísica do interior da Terra envolve realizar medidas em sua superfície ou próximo a ela, medidas estas que são influenciadas pela distribuição interna das propriedades físicas da Terra, que variam vertical e lateralmente (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

Há uma divisão geral dos métodos de levantamento geofísico em dois tipos: os que fazem uso dos campos naturais da Terra, e aqueles que envolvem a aplicação na superfície de energia gerada artificialmente (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

Os métodos de campos naturais (ou potenciais) utilizam os campos gravitacional, magnético, elétrico e eletromagnético da Terra, procurando por perturbações localizadas que possam ser causadas por feições geológicas ocultas.

Os métodos de fontes artificiais envolvem a geração de campos que possam ser usados de modo análogo ao dos campos naturais, como campos elétricos ou eletromagnéticos locais e a geração de ondas sísmicas.

2.2.2. Método Gravimétrico

O método gravimétrico tem sua origem ligada à descoberta da força da gravidade por Galileu Galilei em 1590 e à sua quantificação por Sir Isaac Newton em 1687, através da lei que rege a atração dos corpos (Luiz & Silva, 1995).

Mudanças laterais na densidade da Terra produzem variações locais no valor do campo gravitacional terrestre que, embora muito pequenas, podem frequentemente ser detectadas, permitindo deduções sobre a subsuperfície.

A gravimetria está voltada para o estudo dessas tênues alterações locais do campo gravitacional terrestre, geradas pela distribuição de massas no subsolo, ou seja, pela presença de rochas de diferentes densidades. Materiais mais densos contribuem mais fortemente para o campo gravitacional do que os menos densos, quando se considera o mesmo volume e a mesma profundidade para ambos os tipos de materiais; se os materiais apresentarem a mesma densidade, a contribuição maior é daqueles mais próximos da superfície, se eles ocupam igual volume, ou se os materiais ocorrem à mesma profundidade, daqueles que perfazem o maior volume.

O método gravimétrico consiste em obter a atração que o material da subsuperfície exerce sobre uma massa de prova localizada no instrumento de medida. A atração é registrada em termos da aceleração com que a massa da prova é atraída. As distorções dos valores normais (anomalias) são então interpretadas como o resultado de variações laterais na densidade dos materiais da subsuperfície, causadas por estruturas geológicas (Luiz & Silva, 1995).

2.2.3. Gravidade

A base do método de levantamento gravimétrico é a Lei da gravitação de Newton, que afirma que a força de atração F entre duas massas, m_1 e m_2 , cujas dimensões são pequenas com respeito à distância r entre elas e G é a Constante Gravitacional ($6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$), é obtida por:

$$F = \frac{Gm_1Gm_2}{r^2} \quad \text{Equação 1}$$

Se considerarmos a atração gravitacional de uma Terra esférica, estática, homogênea, de massa M e raio R , sobre uma massa pequena m sobre sua superfície. É relativamente simples mostrar que a massa de uma esfera age como se estivesse concentrada no centro da esfera e, por substituição na Equação 1

$$F = \frac{GM}{R^2} m = mg \quad \text{Equação 2}$$

A força se relaciona com a massa por meio de uma aceleração, e o termo $g = GM/R^2$ é conhecido como aceleração gravitacional ou, simplesmente, gravidade, onde o peso da massa é dado por mg .

Se fosse assim, em tal Terra, a gravidade seria constante. Entretanto, a forma elipsoidal da Terra, sua rotação, o relevo irregular da superfície e a distribuição interna das massas fazem com que a gravidade varie em sua superfície.

O campo gravitacional é definido de modo mais útil em termos do potencial gravitacional U :

$$U = \frac{GM}{r} \quad \text{Equação 3}$$

Enquanto a aceleração gravitacional g é uma grandeza vetorial, possuindo uma magnitude e uma direção e sentido (verticalmente para baixo), o potencial gravitacional U é uma grandeza escalar, possuindo apenas magnitude. A primeira derivada de U em qualquer direção dá o componente da gravidade naquela

direção. Assim a abordagem de um campo potencial fornece uma flexibilidade de cálculo. Pode-se definir superfícies equipotenciais sobre as quais U é constante. A superfície do nível do mar, ou geóide, é a superfície equipotencial mais facilmente reconhecível, a qual é horizontal em qualquer lugar, ou seja forma ângulos retos com direção da gravidade (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

2.2.4. Unidades de Gravidade

O valor médio da gravidade na superfície da Terra é de cerca de $9,8 \text{ m s}^{-2}$. As variações da gravidade causadas por variações de densidade na subsuperfície são da ordem de $100 \mu\text{m s}^{-2}$. Essa unidade de micrômetro por segundo é conhecida como a unidade gravimétrica gu . Nos levantamentos gravimétricos em terra, uma precisão de $\pm 0,1 \text{ gu}$ é facilmente conseguida, correspondendo a cerca de cem milionésimos do campo gravitacional normal. A unidade c.g.s de gravidade é o miligal ($1 \text{ mgal} = 10^{-3} \text{ gal} = 10^{-3} \text{ cm s}^{-2}$), equivalente a 10 gu (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

2.2.5. Densidade das Rochas e Minerais

Todos os materiais na Terra influenciam o valor da gravidade. A menor parte de contribuição, no entanto é dada pelos materiais da crosta, cerca de 0,3% no valor da gravidade. A maior contribuição vem do manto e do núcleo. Os primeiros cinco quilômetros da crosta contribuem com aproximadamente 0,5% no valor da gravidade. As variações de densidades das rochas nesta faixa da crosta produzem flutuações inferiores a 0,01% do valor normal de g (100 mGal). As estruturas e os corpos geológicos, objetivo da prospecção gravimétrica, produzem variações nos valores de g da ordem de 0,001% (Luiz & Silva, 1995).

Considerando valores médios, as rochas ígneas e metamórficas são mais densas do que as sedimentares (Tabela 1 e 2). A seguir as densidades das rochas

metamórficas, rochas ígneas, rochas sedimentares e dos minerais:

Tabela 1 – Densidade de rochas ígneas e metamórficas (Luiz & Silva, 1995).

rochas	variação da densidade (g/cm ³)	densidade média (g/cm ³)
Ígneas:		
Obsidiana	2,20-2,40	2,30
Riolito	2,35-2,70	2,52
Dacito	2,35-2,80	2,58
Andesito	2,40-2,80	2,61
Granito	2,50-2,81	2,64
Granodiorito	2,67-2,79	2,73
Sienito	2,60-2,95	2,77
Diorito	2,72-2,99	2,85
Lavas	2,80-3,00	2,90
Diabásio	2,50-3,20	2,91
Norito	2,70-3,24	2,92
Basalto	2,70-3,50	2,99
Gabro	2,70-3,50	3,03
Peridotito	2,78-3,37	3,15
Piroxenito	2,93-3,34	3,17
Ácidas	2,30-3,11	2,61
Básicas	2,09-3,17	2,79
Metamórficas:		
Quartzito	2,50-2,70	2,60
Xisto	2,39-2,90	2,64
Granulito	2,52-2,73	2,65
Filito	2,68-2,80	2,74
Mármore	2,60-2,90	2,75
Ardósia	2,70-2,90	2,79
Gnaisse	2,59-3,00	2,80
Anfibolito	2,90-3,04	2,96

- Densidade das rochas ígneas (Tabela 1) - as vulcânicas são menos densas do que as intrusivas e o aumento da acidez influi no decréscimo da densidade. A variação na densidade é independente da profundidade de ocorrência, com exceção das próximas da superfície, devido aos efeitos do intemperismo.

- Densidade das rochas metamórficas (Tabela 1) - os processos

metamórficos de redução de volume, recristalização e formação de novos minerais, aumentam a densidade, portanto a densidade aumenta com o grau de metamorfismo.

- Densidade das rochas sedimentares (Tabela 2) – a densidade das rochas sedimentares depende da composição mineralógica, porosidade, grau de compactação e de fluido que podem conter nos poros.

- Densidade dos minerais (Tabela 3) - os metálicos possuem valores de densidade superiores a $4,0 \text{ g/cm}^3$ (exceto blenda ou esfarelita) e os não metálicos têm valores de densidade inferiores a $3,0 \text{ g/cm}^3$ (exceto barita). Apesar dos minerais metálicos apresentarem valores de densidade bem superiores aos das rochas, esses minerais raramente ocorrem em concentração suficiente para que suas densidades individuais representem a do corpo mineralizado a ser prospectado (Luiz & Silva, 1995).

Tabela 2 – Densidade de sedimentos e rochas sedimentares (Luiz & Silva, 1995).

	variação da densidade (g/cm^3)		densidade média (g/cm^3)	
	poros com fluido	poros sem fluido	poros com fluido	poros sem fluido
Solo	1,20-2,40	1,00-2,00	1,92	1,46
Aluvião	1,96-2,00	1,50-1,60	1,98	1,54
Areia	1,70-2,30	1,40-1,80	2,00	1,60
Cascalho	1,70-2,40	1,40-2,20	2,00	1,95
Argila	1,63-2,60	1,30-2,40	2,21	1,70
Arenito	1,61-2,76	1,60-2,68	2,35	2,24
Carvão	-	1,20-1,50	-	1,32
Folhelho	1,77-3,20	1,56-3,20	2,40	2,10
Calcário	1,93-2,90	1,74-2,76	2,55	2,11
Dolomita	2,28-2,90	2,04-2,54	2,70	2,30

Tabela 3 – Densidade de minerais (Luiz & Silva, 1995).

Mineral	variação da densidade (g/cm ³)	densidade média (g/cm ³)
Linhito [C]	1,10-1,25	1,19
Antracito [C]	1,34-1,60	1,50
Grafita [C]	1,90-2,30	2,15
Gipsita [CaSO ₄ .2H ₂ O]	2,20-2,60	2,35
Bauxita [hidróx. de Al]	2,30-2,55	2,45
Quartzo [SiO ₂]	2,50-2,70	2,65
Talco [Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂]	2,70-2,80	2,71
Fluorita [CaF ₂]	3,01-3,25	3,14
Diamante [C]	-	3,52
Barita [BaSO ₄]	4,30-4,70	4,47
Ouro [Au]	15,60-19,40	-
Cromita [FeCr ₂ O ₄]	4,30-4,60	4,36
Ilmenita [FeTiO ₃]	4,30-5,00	4,67
Magnetita [Fe ₃ O ₄]	4,90-5,20	5,12
Hematita [Fe ₂ O ₃]	4,90-5,30	5,18
Cuprita [Cu ₂ O]	5,70-6,15	5,92
Cassiterita [SnO ₂]	6,80-7,10	6,92
Uraninita [UO ₂]	8,00-9,97	9,17
Blenda [ZnS]	3,50-4,00	3,75
Malaquita [Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂]	3,90-4,03	4,00
Calcopirita [CuFeS ₂]	4,10-4,30	4,20
Pirrotita [FeS]	4,50-4,80	4,65
Molibdenita [MoS ₂]	4,40-4,80	4,70
Pirita [FeS ₂]	4,90-5,20	5,00
Bornita [Cu ₅ FeC ₄]	4,90-5,40	5,10
Calcocita [Cu ₂ S]	5,50-5,80	5,65
Galena [PbS]	7,40-7,60	7,50

2.2.6. Medidores de Gravidade

O campo da gravidade associa a cada ponto da superfície terrestre um vetor de aceleração da gravidade g , que caracteriza-se por sua intensidade, denominada vertical. A gravidade é medida por meio de gravímetros, enquanto a vertical é obtida por métodos astronômicos (Teixeira *et al.*, 2009).

Dois tipos de gravímetros podem ser utilizados em medidas da gravidade:

- Gravímetros absolutos - medem diretamente a intensidade da aceleração da gravidade em um dado ponto, sendo os do tipo queda livre (que se baseiam na medida do tempo de percurso de um corpo em queda livre) os mais utilizados. Como são de difícil transporte, ficam instalados em laboratórios fixos.

- Gravímetros diferenciais - são balanças de mola que determinam com precisão o peso de uma massa de valor constante, cuja variação é causada por diferença no valor de g . Este tipo de gravímetro mede a diferença de gravidade entre dois pontos distintos.

Em levantamentos gravimétricos de detalhe é necessário medir pequenas variações da gravidade causadas por estruturas ou corpos localizados na subsuperfície, requerendo uma sensibilidade instrumental da ordem de 0,01 mGal. Para essa finalidade são utilizados gravímetros diferenciais, que possuem maior sensibilidade do que os absolutos. Nesses gravímetros é possível medir, por exemplo, variações do valor de g quando o instrumento é colocado sobre uma mesa ou sobre o assoalho de um mesmo local. Entretanto, como sofrem deriva, isto é, diferenças temporais nas medidas devido a mudanças nas propriedades elásticas de seus componentes, esses gravímetros devem ser calibrados em locais cuja gravidade é conhecida, antes de se iniciar a aquisição de um novo conjunto de medidas (Teixeira *et al.*, 2009).

2.2.7. Aquisição de Dados Gravimétricos

Antes do início de um levantamento deve-se escolher uma estação base com valores conhecidos de gravidade. O espaçamento de aquisição dos dados pode variar de uns poucos metros, no caso de levantamentos geotécnicos ou de detalhe para mineração, a vários quilômetros em levantamentos de reconhecimento regional. Durante as medidas, o gravímetro é colocado ao nível do solo, sobre um suporte que facilita o seu nivelamento (Figura 7). O levantamento gravimétrico terrestre deve ser acompanhado de levantamento altimétrico, que possibilitará a redução dos dados (correções ar-livre, Bouguer e topográfica) (Luiz & Silva, 1995).

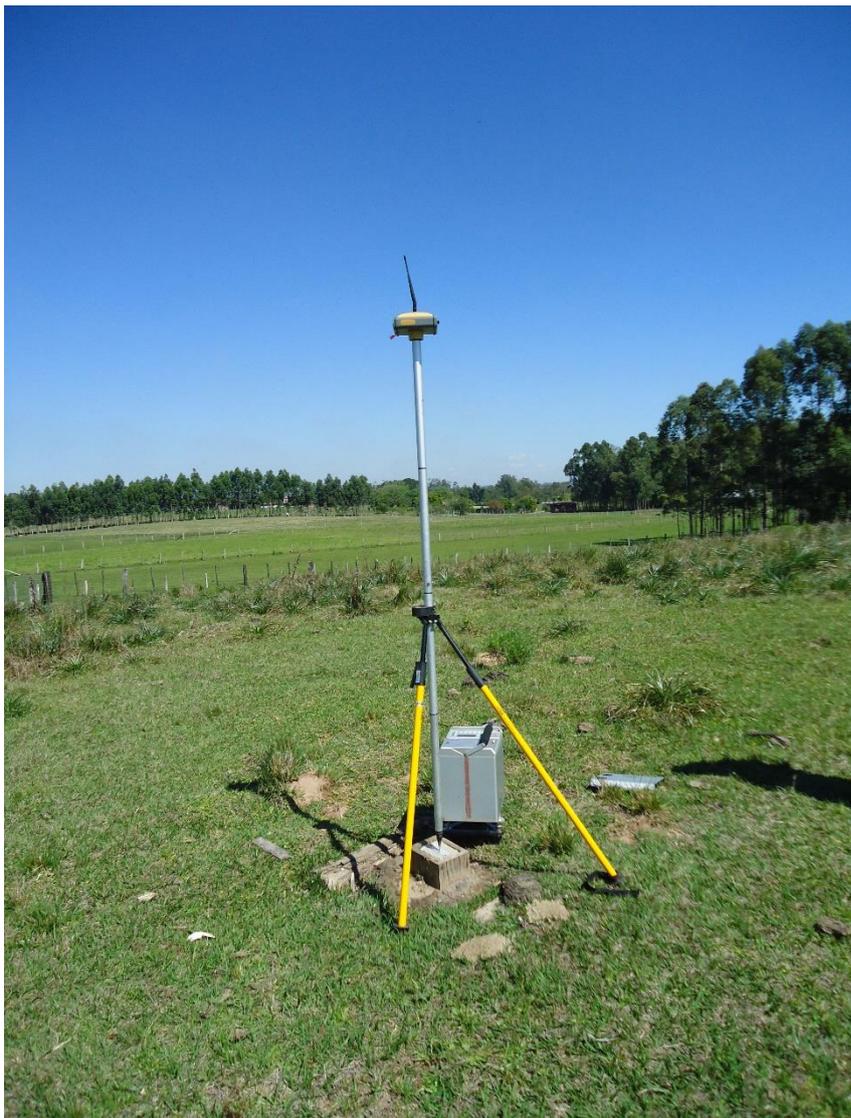


Figura 7 – Foto da aquisição gravimétrica no local furo de sondagem realizado pelo NCRGP em Morungava. Gravímetro, DGPS e placa no solo indicando local do furo.

2.2.8. Processamento dos Dados Gravimétricos

Antes que os resultados de um levantamento gravimétrico possam ser interpretados, é necessário corrigi-los para todas as variações do campo gravitacional da Terra (Kearey, Brooks & Hill, 2009). Esse processo é conhecido como redução gravimétrica e inclui as seguintes correções:

- Correção de deriva - a correção para a deriva do instrumento é baseada em leituras em uma estação base (com valor de gravidade conhecido) no início e ao final das medidas e posteriormente as medidas de campo são subtraídas desse

valor.

- Correção de latitude – a gravidade varia com a latitude, por causa da forma não esférica da Terra e pelo fato de a velocidade angular de um ponto sobre a superfície da Terra diminuir a partir de um máximo no equador até zero nos polos. A aceleração centrípeta gerada por essa rotação tem uma componente radial negativa que, como consequência, causa uma diminuição da gravidade dos polos para o equador. A forma verdadeira da Terra é a de um esferoide oblato ou elipsoide achatado nos polos cuja diferença entre os raios equatorial e polar é cerca de 21 km. Consequentemente, os pontos próximos do equador estão mais distantes dentro do centro de massa da Terra que aqueles mais próximos dos polos, causando um aumento da gravidade do equador para os polos.

- Correções de elevação – inclui as correções ar livre, Bouguer e de terreno. A correção de ar livre corrige para a diminuição da gravidade com a altura ao ar livre resultante do aumento da distância ao centro da Terra e é positiva para um ponto de observação acima do *datum*, de modo a corrigir para a diminuição da gravidade com a elevação. A correção de ar livre trata somente da variação na distância do ponto de observação e o *datum* (Figura 8a). A correção Bouguer representa não só a variação da aceleração da gravidade com a altura (correção de ar livre), mas também as massas presentes entre o ponto de observação e a superfície de referência. Ao aplicar esta correção, a anomalia restante é representativa sobretudo de variações de densidade e da espessura da crosta terrestre. A anomalia Bouguer é geralmente negativa remove esse efeito pela aproximação da camada de rocha abaixo do ponto de observação acima do *datum* (Figura 8b). Em terra, a correção Bouguer deve ser subtraída, pois a atração gravitacional entre o ponto de observação e o *datum* deve ser removida do valor de gravidade observado. As correções de ar livre e de Bouguer são frequentemente aplicadas juntas, como a correção de elevação combinada. A correção Bouguer faz a suposição de que a topografia ao redor da estação gravimétrica é plana. Raramente esse é o caso, e uma correção posterior, a correção de terreno, deve ser feita para tratar do relevo topográfico nas proximidades da estação gravimétrica, essa correção é sempre positiva (Figura 8c), mas onde os efeitos do terreno são consideravelmente menores que a precisão desejada do levantamento, a correção do terreno pode ser ignorada.

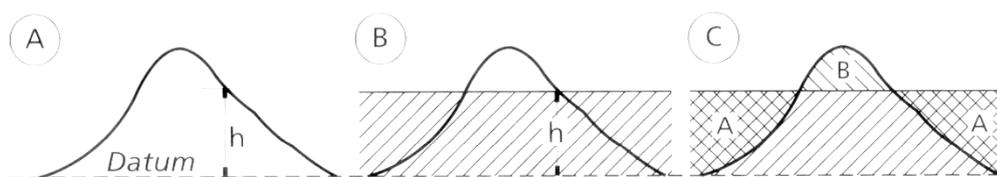


Figura 8 – a) correção de ar livre para uma observação numa altura h acima do *datum*; b) correção Bouguer. A região sombreada corresponde a uma placa de rocha de espessura h estendendo-se ao infinito em ambas as direções horizontais; c) a correção terreno (Kearey, Brooks & Hill, 2009).

- Correção de maré – a variação da gravidade causada pelo Sol e pela Lua é responsável pelo fenômeno das marés oceânicas e da crosta terrestre, a correção que compensa esse efeito é a correção de maré. A gravidade medida num local fixo varia com o tempo, por causa da variação periódica dos efeitos gravitacionais do Sol e da Lua associados a seus movimentos orbitais e, num levantamento de alta precisão, devem ser feitas correções para essas variações. Apesar de sua massa muito menor, a atração gravitacional da Lua é maior que a do Sol, por causa de sua proximidade. Ela causa a alteração da elevação de um ponto de observações em alguns centímetros e, assim, varia sua distância do centro de massa da Terra. As variações periódicas da gravidade causadas pelos efeitos combinados do Sol e da Lua são conhecidas como variações de maré e têm uma amplitude máxima de cerca de 3 μg e um período mínimo em torno de 12 h.

- Correção de Eötvös – baseada nos estudos de medições de gravidade em navios pelo físico húngaro Lóránd Eötvös, a correção de Eötvös é aplicada às medidas de gravidade tomadas num veículo em movimento, como um navio ou um avião. Esta correção tem por finalidade remover a componente da aceleração causada pelo movimento do navio ou avião que afeta a medida do gravímetro. Dependendo da direção do trajeto, o movimento gerará uma aceleração centrípeta que, ou reforçará ou se oporá à gravidade.

Após as correções é obtida a anomalia Bouguer que forma a base para a interpretação dos dados gravimétricos em terra. As anomalias gravimétricas são convencionalmente apresentadas sobre perfis ou mapas de contorno.

Porém as medidas de gravidade realizadas nos trabalhos de prospecção podem refletir o somatório do efeito produzido por mais de uma fonte (falhas, arqueamentos, intrusões, irregularidades na superfície do embasamento, corpos mineralizados, afloramentos e variações na espessura de camada de intemperismo), antes de se interpretarem os dados gravimétricos deve-se eliminar os efeitos de

fontes indesejáveis. Aplicando as técnicas de separação de sinais de frequência diferente (filtragem), é possível separar-se em parte, o efeito das fontes indesejáveis, a fim de que se possa interpretar somente as fontes procuradas nos levantamentos (Luiz & Silva, 1995).

Basicamente, filtro é um sistema que modifica sinais de entrada em sinais de saída. Os filtros artificiais são em geral usados para separar-se a informação indesejável (ruído) da informação desejável (sinal). Na geofísica a separação sinal-ruído pode ser realizada com base em sua frequência, velocidade, polarização e amplitude. Filtragem com base em frequência é a mais empregada em geofísica. O sucesso desse tipo de filtragem depende do grau de superposição de frequências associadas ao ruído e ao sinal. O filtro digital é representado por um processo computacional ou algoritmo (Luiz & Silva, 1995).

As pequenas heterogeneidades no terreno, que ocorrem próximo à superfície (afloramentos, compactação diferencial, variações na espessura da camada de intemperismo), fazem com que os valores medidos oscilem muito mais frequentemente do que os valores produzidos por heterogeneidades maiores e mais profundas. É dito então, que os primeiros produzem efeitos com altas frequências em relação aos efeitos dos demais. A frequência de oscilação é aqui quantificada em ciclos por metro (frequência espacial), já que as oscilações são observadas ao longo de uma linha de medidas. Quanto maior e mais profunda a fonte, menor será a frequência espacial a ela associada.

2.2.9. Interpretação de Dados Gravimétricos

As anomalias gravimétricas são decorrentes dos contrastes laterais de densidade. Por isso, uma camada de elevada densidade, localizada em subsuperfície entre duas de menor densidade, todas elas horizontais, não provocará anomalias em medidas realizadas na superfície; as três camadas mostrarão o efeito produzido por uma única camada de densidade média. Contrastes laterais de 0,1 a 0,2 g/cm³ são suficientes para produzir anomalias detectáveis pelos gravímetros.

De um modo geral, as anomalias delimitadas por contornos isogálicos alongados crescentes e com variação do gradiente horizontal (contornos crescentes

largamente espaçados, passando a bem menos espaçados e voltando a largamente espaçados) estão comumente relacionados a falhas. As anomalias caracterizadas por contornos fechados aproximadamente simétricos podem ser devidas a maciços de rochas intrusivas, enquanto os contornos fechados alongados podem estar relacionados a eixos de dobramentos ou a intrusões discordantes do tipo dique (Luiz & Silva, 1995).

Deve ser considerado que os valores medidos correspondem a um somatório dos efeitos produzidos por diversas fontes da subsuperfície. Embora seja possível separar-se parcialmente o efeito de algumas fontes presentes através da filtragem (como o efeito de algumas das que causam o regional ou das que causam as oscilações de alta frequência) existem efeitos que são impossíveis de serem parcial ou totalmente separados, pois suas frequências se sobrepõem.

Nas anomalias negativas de gravidade, os valores medidos são menores do que os previstos, após todas as correções, sendo causadas por rochas com densidade relativamente baixa ou sedimentos localizados na subsuperfície, em contato com outras rochas de maior densidade existentes no substrato. Anomalias negativas são encontradas também em cadeias montanhosas (que possuem raízes profundas constituídas por rochas com densidade relativamente baixa).

Anomalias positivas de gravidade ocorrem quando os valores de gravidade medidos são maiores do que os previstos e são causados pela presença de materiais com alta densidade na superfície ou em profundidade (Luiz & Silva, 1995).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1. Localização da Área de Estudos

A Jazida Morungava-Chico Lomã está localizada a leste de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), abrange os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Capivari do Sul, Viamão e Gravataí e seu acesso pode ser feito pela rodovia RS-290, que liga Porto Alegre a Osório, ou pela rodovia RS-040 no

trecho entre Viamão e Balneário Pinhal. E ainda pode ser acessada pela RS-040 no trecho entre Capivari do Sul na BR-101 e Santo Antônio da Patrulha na RS-290.

3.2. Geologia Regional

O presente estudo incide sobre a distribuição espacial das rochas ígneas na Jazida Morungava-Chico Lomã, localizada geologicamente na região sudeste da Bacia do Paraná, considerada a maior bacia intracratônica da plataforma Sul-americana com uma área total de aproximadamente 1700.000 km². Engloba regiões do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, com direção NE-SW e dimensões de aproximadamente 1750 km de comprimento e 900 km de largura. No Brasil ocorre nos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em uma área de mais de 1000.000 km² (Figura 9) (Milani, 1997).

A Bacia do Paraná representa uma sucessão sedimentar-magmática com idades entre Neo-ordoviciano (465 Ma) e o Neocretáceo (65 Ma), marcada por ciclos de subsidência e soerguimento, com espessuras da ordem de alguns quilômetros, atingindo até 7000 metros no seu depocentro. Esses eventos cíclicos estão relacionados ao desenvolvimento de seis supersequências (Figura 9), limitadas por discordâncias regionais, que compõem o arcabouço estratigráfico da bacia, denominadas de Supersequência Rio Ivaí; Supersequência Paraná; Supersequência Gondwana I; Supersequência Gondwana II; Supersequência Gondwana III e Supersequência Bauru (Milani, 1997).

As supersequência Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I (portadora das camadas de carvão na Formação Rio Bonito e de folhelho betuminoso na Formação Irati), são representadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivos/regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar durante o Paleozóico. As demais sucessões correspondem a pacotes sedimentares continentais associados a rochas ígneas (Milani, 2007).

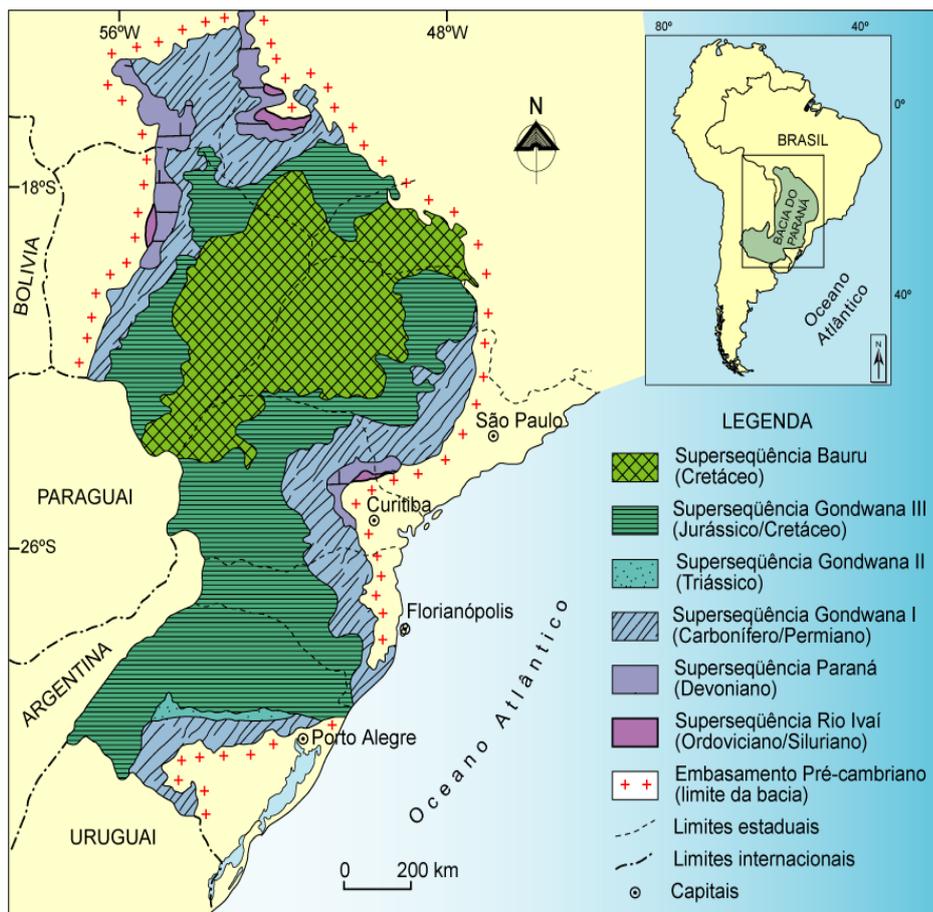
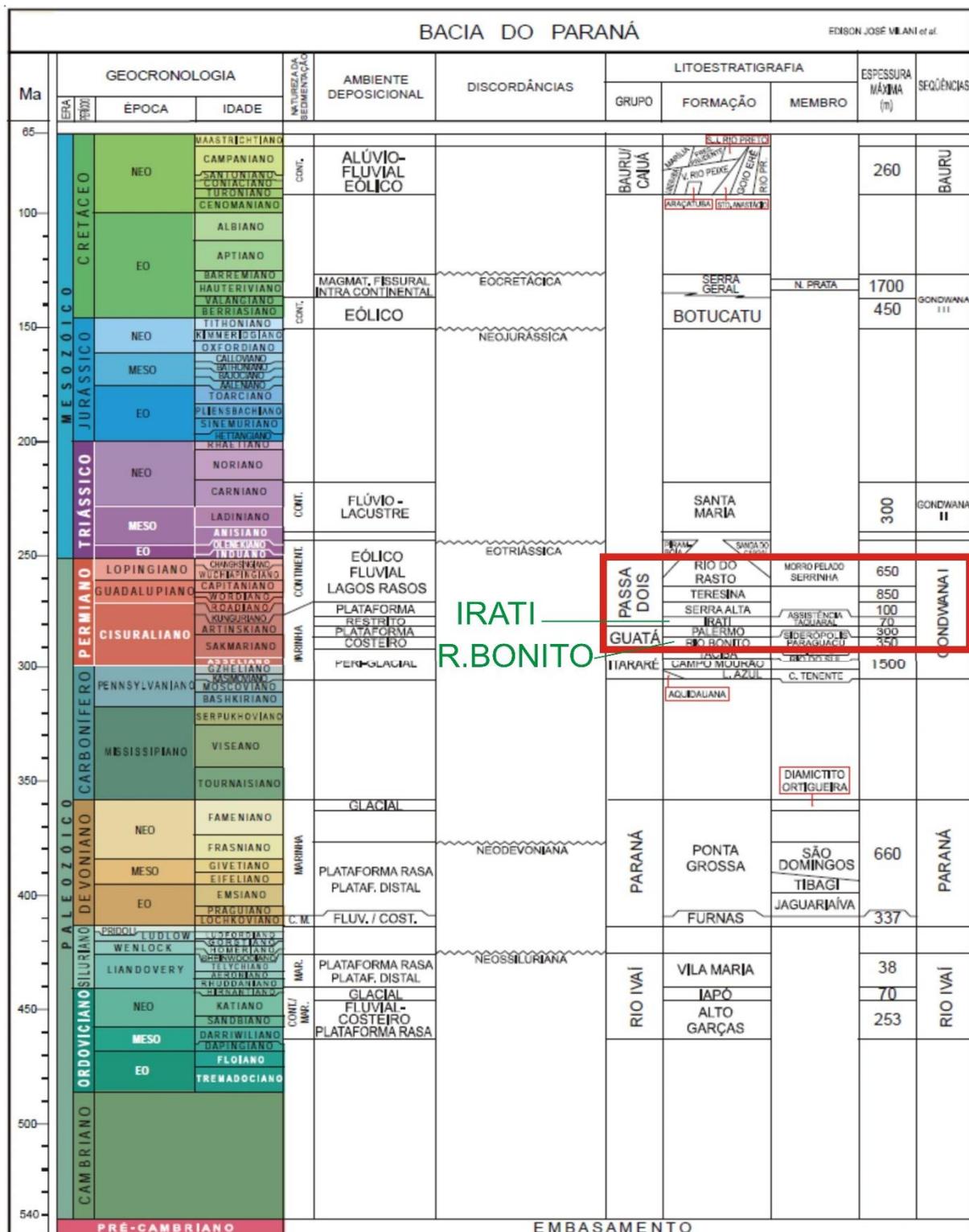


Figura 9 – mapa geológico da Bacia do Paraná (modificado de Milani, 1997).

A Superseqüência Gondwana I compreende as diversas formações componentes dos Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. É o maior pacote de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, sedimentologicamente heterogêneo e complexo, com o registro das mudanças paleoambientais contrastantes através do tempo que ocorreu no Continente Gondwana do período glacial do Carbonífero Superior aos tempos secos e áridos durante o Triássico. A seção inferior da Superseqüência Gondwana I é representada nas rochas marinhas e transicionais do Grupo Passa Dois, ao seu final com o registro do início da instalação de clima desértico na bacia.

As principais reservas do carvão brasileiro estão na região sul, na Bacia do Paraná, e somam 32 bilhões de toneladas dos quais 89% estão no Rio Grande do Sul, 10% em Santa Catarina, 0,3% no Paraná e o restante em São Paulo. São oito jazidas de maior importância: Sul-Catarinense, Santa Terezinha, Morungava-Chico Lomã, Charqueadas, Leão, Iruí, Capané e Candiota (Figura 1) (Ramgrab *et al*, 2000).

Os principais depósitos de carvão do Brasil estão inseridos no Grupo Guatá, Formação Rio Bonito, início Sakmariano até médio Artinskiano, na Supersequência Gondwana I da Bacia do Paraná (Figura 10) (Milani, 1997).



3.3. Geologia Local

A coluna estratigráfica da área de estudos, consiste do topo para base, das seguintes Formações:

- Rio do Rastro – White utilizou o termo pela primeira vez em 1908 para denominar a sequência sedimentar que ocorre nas cabeceiras do Rio do Rastro, em Lauro Müller, Santa Catarina. A formação é composta de siltitos e arenitos finos, esverdeados e arroxeados. Na parte superior da formação, há corpos arenosos lenticulares com estratificação cruzada, indicando ambiente continental fluvial. As rochas do Eopermiano refletem a história deposicional sob regime transgressivo nessa parte da margem da Bacia do Paraná. O ambiente glácio-continental e glácio-marinho do Sakmiano (Grupo Itararé) cedeu lugar ao ambiente flúvio-deltaico no Artinskiano (Grupo Guatá), que com avanço da transgressão transformou-se inicialmente em estuário, depois em um sistema laguna barreira para finalmente transformar em uma ampla região de mar epicontinental. As camadas de carvão do estado do Rio Grande do Sul se formaram na fase transgressiva, por ocasião da evolução do grande sistema laguna-barreira que existiu durante o Neoartinskiano em toda a paleolinha de costa do Rio Grande do Sul (Ramgrab *et al.*, 2000).

- Estrada Nova – para o Rio Grande do Sul essa Formação é indivisa, porém para Santa Catarina é feita uma divisão entre Formação Serra Alta e Formação Teresina (Aboarrage & Lopes, 1986). A base da sequência da Formação Serra Alta em Santa Catarina é constituída de uma sequência de argilitos, folhelhos, siltitos cinza escuros a pretos, produtos de decantação de argilas em um contexto marinho de baixa energia (Schneider *et al.*, 1974, Milani *et al.*, 2007). No topo, alternam-se argilitos, folhelhos e siltitos na base, representam uma transição de ambiente marinho e mais profundo para um ambiente mais raso e agitado, dominado por marés.

- Irati – A Formação Irati é composta por folhelhos e argilitos cinza-escuros, folhelhos cinza escuro e calcários associados. Segundo Milani *et al.* (2007), essa formação representa um momento singular na formação da bacia, onde há uma restrição de circulação de água e o desenvolvimento de um contexto ambiental hipersalino, onde os folhelhos depositados exibem um elevado conteúdo de matéria

orgânica, colocando-os como potenciais geradores de óleo. White utilizou o nome Irati para denominar a sequência de folhelhos aflorantes na cidade de mesmo nome no Paraná.

- Palermo – essa Formação ocorre praticamente em toda Bacia do Paraná. O nome é derivado de uma vila no município de Lauro Müller, Santa Catarina, onde White descreveu a seção tipo. A Formação é constituída de siltitos e siltitos arenosos, localmente com ocorrência de arenitos finos e conglomeráticos. As características litológicas indicam ambiente marinho transgressivo de água rasa (Schneider *et al.*, 1974) recobrimdo o ambiente deltaico-lagunas da Formação Rio Bonito. Corresponde a máxima inundação da Supersequência Gondwana I. No Rio Grande do Sul, apresenta 140 m em algumas sondagens.

- Rio Bonito – A Formação Rio Bonito é constituída por unidades que foram depositadas em ambiente flúvio-deltaico numa associação de fácies composta por ortoconglomerados e arenitos subarcoseanos, com interflúvios de leitos de carvão descontínuos lateralmente (<0,5 m), além de argilitos. As camadas mais espessas de carvão apresentam espessura superior a 2,5 metros e continuidade lateral regional que alcança distâncias superiores a 40 km, estão associadas a horizontes de arenitos quartzosos e argilitos maciços e laminados. Essas fácies representam ambiente de formação em sistema estuarino de barreira/lagunas com influência de marés e ondas (Ramgrab *et al.*, 2000). O nome Rio Bonito foi usado pela primeira vez por White em 1908 chamando de Camadas Rio Bonito o conjunto de arenitos, folhelhos e leitos de carvão associados que aparecem na localidade de Lauro Muller, Santa Catarina (Schneider *et al.*, 1974). Quanto a idade, a Formação Rio Bonito, com base em informações palinológicas e paleobotânicas, segundo Bortolluzi *et al.* (1980), situa-se no *Artinskiano/Kunguriano*. A Formação Rio Bonito representa um conjunto resultante de sedimentação costeira, transicional, progressivamente afogado para o topo pelo mar progradante, representado pela Formação Palermo que a sucede (Milani, 1997). Ramgrab *et al.* (2000), consideram como Rio Bonito apenas as fácies continentais e de transição (fluvial, deltaico, lagunar e barreira), considerando ambiente marinho a Formação Palermo. A Formação Rio Bonito foi dividida em três intervalos (em SC): Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis, de acordo com Schneider *et al.* (1974), porém essa divisão não é possível no Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul a Formação Rio Bonito apresenta em média 70 m podendo alcançar até 120 m (Holz, Vieira & Kalkreuth, 2000).

No depósito de Morungava-Chico Lomã ocorre rochas de idade Permiana provenientes da Formação Rio Bonito com até sete camadas de carvão, mas destacam-se três, CL2, M/CL6, e, especialmente a M/CL4. As camadas de carvão em Morungava-Chico Lomã mergulham para nordeste em direção ao depósito de Santa Terezinha. Na porção sudoeste do depósito as camadas de carvão se encontram em profundidades de 50 m ou menos, na porção central as profundidades variam entre 50 e 300 m, ainda em condições possivelmente econômicas de extração, e na parte centro-norte, sudeste e nordeste do depósito as profundidades são iguais ou maiores do que 300 metros (Ramgrab *et al*, 2000).

A área de estudos faz parte de um projeto realizado no século passado que incluiu a execução de aproximadamente 80 furos de sondagem pela CPRM, que detém a maioria dos alvarás de pesquisa da região. Antigamente poderiam ser adquiridas cópias impressas dos perfis de sondagem junto a CPRM, atualmente são disponibilizados em formato *pdf* no site da CPRM através de download gratuito. Os dados dos perfis dessas sondagens mostram a ocorrência das seguintes Formações na área: Botucatu, Rio do Rastro, Estrada Nova, Irati, Palermo, Rio Bonito, Itararé.

Há a ocorrência de areia, solo argiloso, turfa, linhito, carvão, folhelho, siltito, arenito (fino, médio e grosso), lamito, argilito, conglomerado, diamictito, varvito, diabásio, granito (embasamento), marga, calcário, quartzito e gnaisse.

A área também é contemplada por furos de sondagem, realizados pelo Núcleo de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo da UFRGS, em parceria com a Carbonífera Metropolitana, que detém alguns alvarás na área e receberam a nomenclatura de CBM001-CL-RS (Chico Lomã) e CBM001-MO-RS (Morungava). Foram feitas análises químicas e petrológicas nas amostras coletadas. Além disso, também foram desenvolvidos estudos para o potencial CBM (*Coal Bed Methane*), da qual o Núcleo é pioneiro. O potencial CBM é a capacidade de geração, armazenagem e fluxo de gás que pode conter no carvão.

3.4. Estudos Anteriores sobre Matéria Orgânica em Contato com Rochas Ígneas na Área de Estudos

Haviam poucos estudos sobre folhelho na Formação Irati na zona de contato de rochas ígneas e os efeitos deste contato das intrusões em componentes orgânicos e inorgânicos (Trigüis 1986; Araújo, Silva & Rodrigues, 1995; Anjos & Guimarães, 2003; Souza, Mendonça Filho & Menezes, 2008). Os poucos dados disponíveis a partir desses estudos já sugeriam que a matéria orgânica é gravemente alterada na zona de contato, indicado pela refletância vitrinita, índice de coloração de esporos e biomarcadores (Souza, Mendonça Filho & Menezes, 2008). Outra evidência foi a formação de calcita, talco, serpentinita e sanidina na zona de contato (Anjos & Guimarães, 2003; Vasconcelos *et al.*, 2003). As temperaturas associadas com as rochas ígneas foram estimadas para variar de 700 a 1200°C (Vasconcelos *et al.*, 2003). As distâncias relatadas de rochas afetadas termicamente em contato com as intrusões foram entre 6,5 a 19,5 m (Anjos & Guimarães, 2003; Souza, Mendonça Filho & Menezes, 2008), efeito gerado devido a espessura da rocha ígnea, temperatura do corpo ígneo, a profundidade de ocorrência da intrusão e a condutividade térmica de rochas sobrejacentes (Corrêa, 2007).

O primeiro estudo regional sobre variações na refletância vitrinita e a alteração térmica da matéria orgânica em contato com rochas ígneas nas jazidas Morungava-Chico Lomã e Santa Terezinha (Figura 11) foi publicado por Kern (2002) e Kalkreuth *et al.* (2003).

A refletância da vitrinita aumentou de oeste para o leste (Figura 11), em camadas não afetadas o carvão foi caracterizado como alto betuminoso volátil. Nos furos de sondagem onde o carvão foi localmente afetado pelo contato das intrusões (Figura 11) a refletância da vitrinita atinge valores maiores que 5.0 %R_o (meta antracito).

Em 2013 foi publicada a tese de doutorado de Levandowski (2013) realizada na área de Chico Lomã. Na pesquisa foi gerado um modelo geológico 3D para calcular o volume de carvão na jazida, seguido por uma avaliação do volume de gás associado com carvão. Os resultados indicaram uma espessura cumulativa de 11,46 m de carvão no furo de sondagem, denominado CBM 001-CL-RS (Figura 12), associado a uma intrusão ígnea com 11 m de espessura. A refletância da vitrinita

mostrou que houve aumento na refletância da vitrinita na zona de contato, transformando parcialmente carvão em coque natural em distâncias menores que 2 m da intrusão, o que gerou aumento do *rank* em direção ao diabásio (Figura 12).

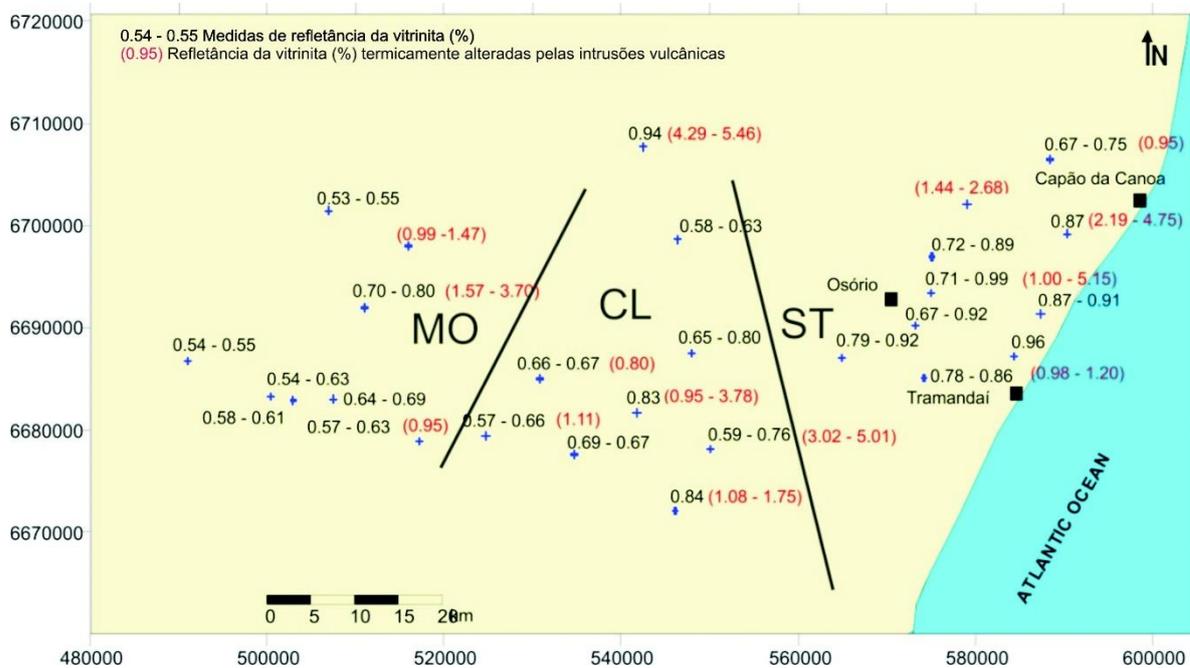


Figura 11 - mapa com resultados dos valores médios da refletância da vitrinita em carvão Permiano da Formação Rio Bonito na área das jazidas de Morungava (MO), Chico Lomã (CO) e Santa Terezinha (ST). Em preto resultados da refletância da vitrinita no carvão e em vermelho resultados da refletância da vitrinita onde há alteração térmica no carvão (modificado de Kern, 2002).

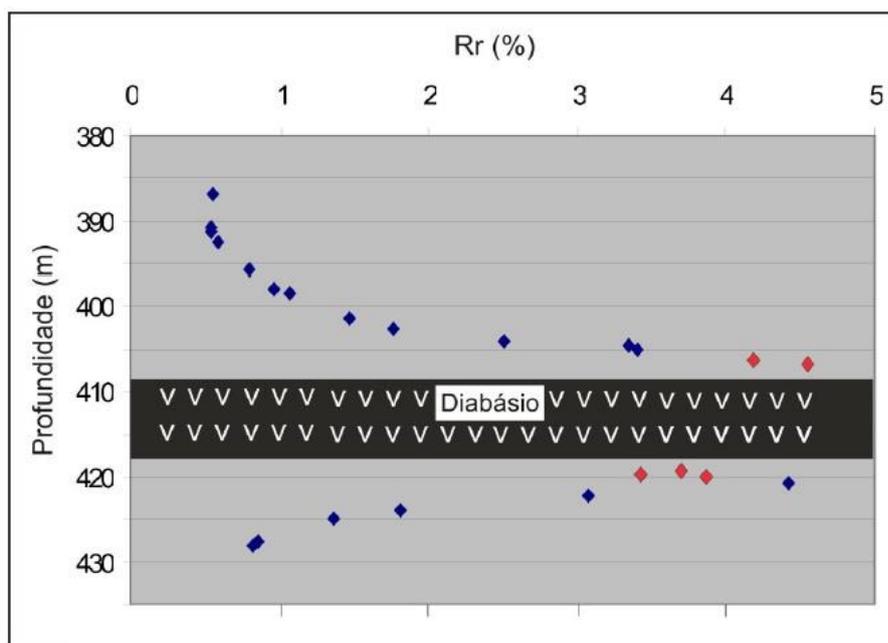


Figura 12 – perfil da refletância *versus* profundidade. Amostras com características petrográficas de coque losangos vermelhos, com refletância alterada pelo contato com o diabásio e losangos azuis amostras com valores normais de refletância (Levandowski, 2013).

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada no estudo está sumarizada em forma de organograma na Figura 13 com as principais etapas realizadas, que serão descritas a seguir.



Figura 13 – organograma com as etapas da metodologia empregada no estudo.

4.1. Pesquisa Perfis de Sondagem Jazida Morungava-Chico Lomã

O Núcleo de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo (NCRGP) da UFRGS tem desenvolvido pesquisas em jazidas carboníferas da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), entre elas a realização de dois furos de sondagem na área da Jazida Morungava-Chico Lomã, portanto essa análise prévia dos furos de sondagem da CPRM realizados na área, serviram de subsídio para a locação desses dois furos. O acesso aos Perfis de Sondagem da CPRM foi dado a partir do acervo impresso do Núcleo de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo da UFRGS e pelo acervo da biblioteca virtual disponibilizado pela CPRM (www.cprm.gov.br).

4.2. Compilação dos Dados dos Perfis de Sondagem em Tabelas

Com os dados oriundos dos perfis dos furos de sondagem foram elaboradas tabelas com informações sobre as ocorrências de carvão e diabásio, tais como: nome da área, nova nomenclatura do furo (algarismos arábicos), nomenclatura original, município, localidade, coordenadas geográficas, profundidade total do furo, intervalo entre as litologias com respectiva formação e espessura. Conforme exemplificado no ANEXO A.

4.3. Análise da Distribuição Espacial dos Furos

Foi feita a plotagem das coordenadas dos furos para análise da distribuição dos furos, espaçamento entre eles e localização (Figura 14) para a área de Morungava (ANEXO D) e Chico Lomã (ANEXO K).

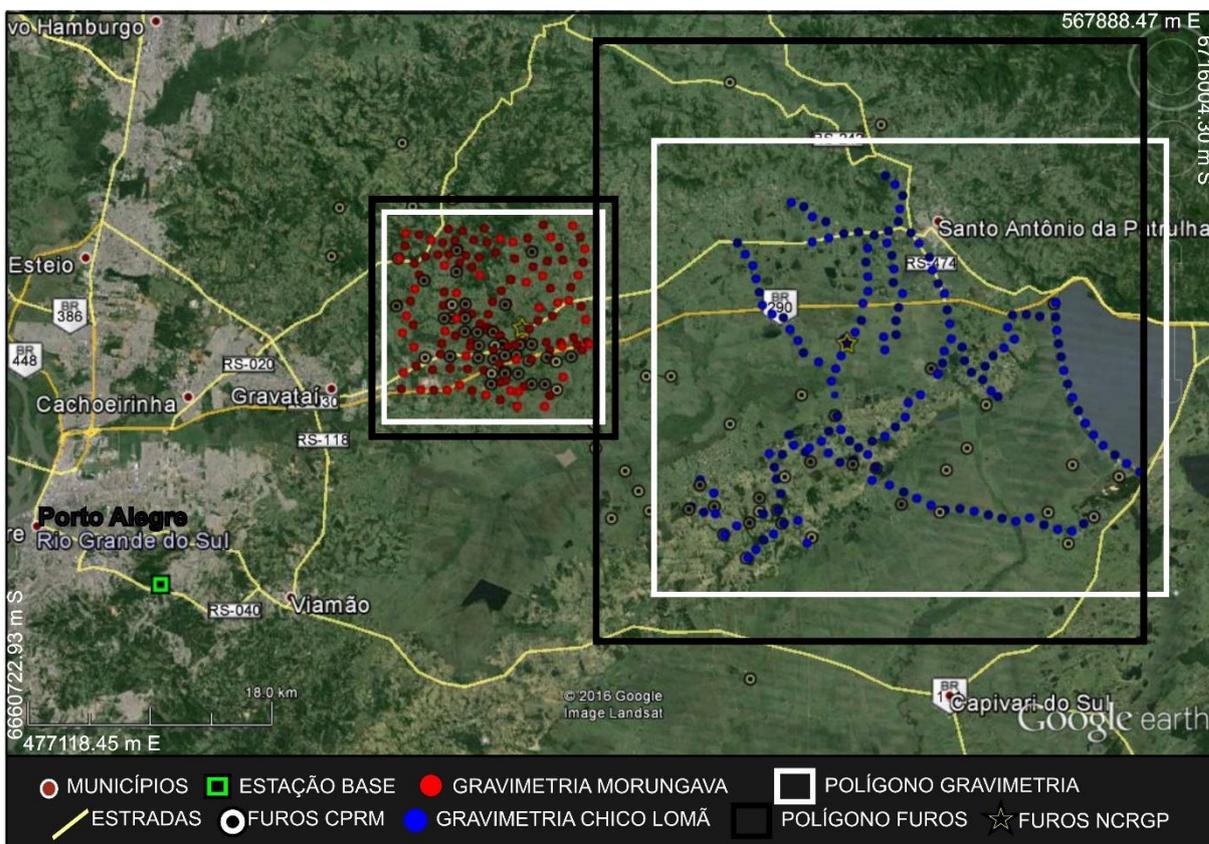


Figura 14 – Aquisição gravimétrica e furos de sondagem.

4.4. Planejamento do Trabalho de Campo

Foram analisadas as vias de acesso de acordo com a posição dos perfis realizados pela CPRM, com o objetivo de realizar a aquisição gravimétrica nos mesmo pontos dos furos ou próximos a eles. Foi definido, devido à dificuldade de acesso, demanda de tempo, mudança nos acessos (tendo em vista que os furos de sondagem foram realizados nos anos 70-80 e os acessos foram alterados), realizar o levantamento gravimétrico próximo aos furos de sondagem, nas estradas disponíveis, com espaçamento de 1 km entre os pontos (Figura 14). Os pontos onde o acesso as coordenadas dos furos de sondagens estavam disponíveis foi realizado. A aquisição mais fiel às coordenadas dos furos foi possível nos locais onde o NCRGP já havia recentemente realizado sondagens (Figura 7).

4.5. Levantamento Gravimétrico

A jazida Morungava-Chico Lomã possui uma área de aproximadamente 1200 km², por se tratar de uma área extensa e por serem compreendidos dentro da jazida dois depósitos distintos, o de Morungava e o de Chico Lomã, a aquisição gravimétrica foi realizada em duas áreas (Figura 14).

A estação base foi definida na estação geodésica 8061785/RN3093L do IBGE, locada no Campus da UFRGS, o que foi muito satisfatório logisticamente, pois foi possível realizar as medidas no início e final do dia, pois a área de estudos é próxima ao Campus do Vale da UFRGS, onde estão localizados o Instituto de Geociências e o Núcleo de Carvão e Rochas Geradoras do Petróleo (Figura 14).

Para o levantamento gravimétrico, o gravímetro utilizado foi o Autograv CG3 e para o sistema de posicionamento global o DGPS (Differential Global Positioning System), ambos foram disponibilizados pelo Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da UFRGS (Figura 7).

O gravímetro Autograv modelo CG3, fabricado no Canadá pela Scintrex, é controlado por microprocessador, capaz de automatizar diversas tarefas, possui sensor preparado a partir de quartzo fundido com um sensor capacitivo de deslocamento e realimentação eletrostática automática. Essa voltagem da realimentação é convertida em um sinal digital e apresentado em um mostrador de cristal líquido, com uma resolução de 0,01 mGal. Além disso, as leituras são automaticamente corrigidas dos efeitos de marés e não verticalidade do instrumento. Características: faixa de operação 7000 mGal; deriva residual de longo prazo menor que 0,02 mGal/dia; compensação automática da inclinação no intervalo ± 200 s; dimensões 24x31x32 cm; peso incluindo as baterias 11,4 kg; capacidade da bateria interna 11 h; faixa de temperatura em operação 40 a 45°C; memória 380 observações completas com tempo e coordenadas; e relógio de tempo real digital incluindo dia, mês, ano, hora, minuto e segundo.

O DGPS utilizado foi o modelo geodésico L1 e L2 HIPER LITE da marca japonesa TopCon, possui precisão horizontal de 3mm e +0.5 ppm e vertical de 5mm e +0.5 ppm, o uso desse se fez necessário para maior precisão das coordenadas, para posterior uso nas correções gravimétricas.

4.6. Área Morungava

Os 40 perfis de sondagem realizado pela CPRM utilizados para essa área estão sumarizados em uma Tabela (ANEXO B).

O perfil de sondagem CBM001-MO-RS realizado pelo NCRGP também foi utilizado. Somado a este foram no total 41 perfis de sondagem selecionados.

Para o levantamento gravimétrico foram adquiridas 141 medidas (Figura 14) nos dias 02,07,08,10,11,16/10/2013 e 04/12/2013.

4.7. Área Chico Lomã

Os 40 perfis de sondagem realizado pela CPRM utilizados para essa área estão sumarizados em uma Tabela (ANEXO C).

O perfil de sondagem CBM001-CL-RS realizado pelo NCRGP também foi utilizado. Somado a este foram no total 41 perfis de sondagem selecionados.

Para o levantamento gravimétrico foram adquiridas 152 medidas (Figura 14) nos dias 09,13,14/01/2014; 13,14/03/2014; e 27/05/2014.

4.8. Processamento dos Dados Gravimétricos

Os dados gravimétricos foram processados no software Oasis Montaj, fabricado no Canadá pela Geosoft, que consiste em uma plataforma que processa dados diversos, como por exemplo, gamaespectométricos, geoquímicos, sondagens, magnetométricos, e possui extensões que são específicas para o objetivo do operador. Para processar dados gravimétricos foi utilizada a extensão GRAVMAG que localiza e determina automaticamente a profundidade de fontes em dados magnéticos e gravimétricos.

Foi realizada a correção de deriva instrumental, ar livre, Bouguer e então foram gerados os mapas da anomalia Bouguer.

4.9. Mapas Anomalia Bouguer

Foi aplicado nos mapas de anomalia Bouguer a extensão MAGMAP que utiliza uma biblioteca de filtros da transformada de Fourier 2D para permitir a aplicação de filtros geofísicos e matemáticos aos dados gridados.

Foi empregada a filtragem do campo regional para obtenção das anomalias residuais, para isso foi utilizada a filtragem espectral com a remoção dos maiores comprimentos de onda.

Área Morungava - as anomalias Bouguer na área Morungava variaram de -24.217 a 6.407 mGal, com a média de -15.608 mGal. Os seguintes mapas na escala 1:100.000, com diferentes filtros foram gerados: anomalia Bouguer sem Filtro; anomalia Bouguer residual filtro Gaussiano; e anomalia Bouguer residual filtro 1ª Derivada.

Área Chico Lomã - as anomalias Bouguer na área Chico Lomã variaram de -28.009 a -6.568 mGal, com a média de -19.062 mGal. Os seguintes mapas na escala 1:250.000, com diferentes filtros foram gerados: anomalia Bouguer sem filtro; anomalia Bouguer residual filtro Gaussiano; e anomalia Bouguer residual filtro 1ª Derivada.

Os mapas de anomalia Bouguer representam as anomalias regionais gravimétricas de fontes rasas e fontes profundas, onde as anomalias de fontes profundas se sobrepõem as anomalias de fontes rasas.

Os mapas anomalias Bouguer sem filtro foram gerados com aplicação da krigagem, também denominado processo Gaussiano de regressão. É um método usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. As médias locais não são necessariamente próximas da média da população, utiliza-se apenas os pontos vizinhos para realização da estimativa.

O filtro Gaussiano também provém da mesma definição do interpolador Gaussiano, anteriormente citado, nessa filtragem é possível remover determinados comprimentos de onda. Foram escolhidos, após testes (comprimentos de ondas de 2000 e 4000 m), os comprimentos de onda de 4000 m, que representa o quadruplo da distância de aquisição gravimétrica entre os pontos, que foi de 1000 m.

Com aplicação do filtro Gaussiano há a remoção de determinados comprimentos de onda e assim é obtida uma anomalia residual. Desta forma ocorre

a remoção da superfície de tendência de primeira ordem, que atenua a influência de fontes de anomalias mais profundas de caráter regional.

O filtro de primeira vertical (1ª derivada) da anomalia Bouguer remove a influência dos sinais gravimétricos mais profundos, representando a resposta gravimétrica das rochas em subsuperfície.

4.10. Mapas Temáticos Dados Perfis de Sondagem

A partir dos dados dos perfis dos furos de sondagem (ANEXO B e C) através do Software Surfer, foram gerados os seguintes mapas temáticos para cada uma das áreas, Morungava na escala 1:100.000 e Chico Lomã na escala 1:250.000: Localização dos Furos de Sondagem; Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão; Profundidade Primeira Ocorrência de Diabásio; Espessura Cumulativa do Carvão; Espessura Cumulativa do Diabásio; Espessura Cumulativa do Diabásio na Formação Irati; e Espessura Cumulativa do Diabásio na Formação Rio Bonito.

4.11. Descrição dos Resultados

4.11.1. Mapas Anomalia Bouguer

As etapas da metodologia empregada na descrição dos mapas de anomalia Bouguer foram realizadas de forma geral para cada mapa gerado e a descrição individual de cada anomalia, com ênfase para dados com valores baixos e altos em mGal. Etapas da descrição:

- Análise geral de cada mapa anomalia Bouguer gerado, com as seguintes descrições: variação das medidas em mGal; localização dos valores mais altos (cores quentes); localização dos valores mais baixos (cores frias); geometria das anomalias, variação da dimensão das anomalias; orientação das anomalias; classificação de valores considerados como baixos, médios e altos.

- Análise individual de cada anomalia dos mapas anomalia Bouguer gerados, que consistiu em classificar as anomalias de valores altos (cores quentes) e as anomalias de valores baixos (cores frias), e numerar cada um dos grupos em algarismos arábicos. Foi descrita a localização, geometria, dimensão e orientação de cada anomalia.

4.11.1.1. Área Morungava

- Mapa Anomalia Bouguer

As medidas variam entre -20.1052 a -6.8942 mGal. Cores quente/valores altos estão mais concentrados a Norte-Nordeste. Cores frias/valores baixos estão concentrados a Sudoeste e a Sudeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,2x0,2 km até 4,9x3,7 km (na dimensão das anomalias, nos formatos irregulares, foi considerada a face de maior medida para obtenção das dimensões). A orientação das anomalias é Sudoeste-Nordeste (Figura 15).

Seguindo a escala de cores, onde cores frias representam valores mais baixos (mais negativos) e cores quentes, mais altos (menos negativos, mais próximos de zero), é compreendido que: baixos aproximadamente entre -20.1052 a -17.7736 mGal; médios aproximadamente entre -17.7736 a -14.2020 mGal; e altos aproximadamente entre -14.2020 a -6.8942 mGal. A descrição das anomalias foi sumarizada na Tabela 4, com o número da anomalia (Figura 15), localização, geometria, dimensões e orientação, dividida em anomalias de valores altos e anomalias de valores baixos (Tabela 4).

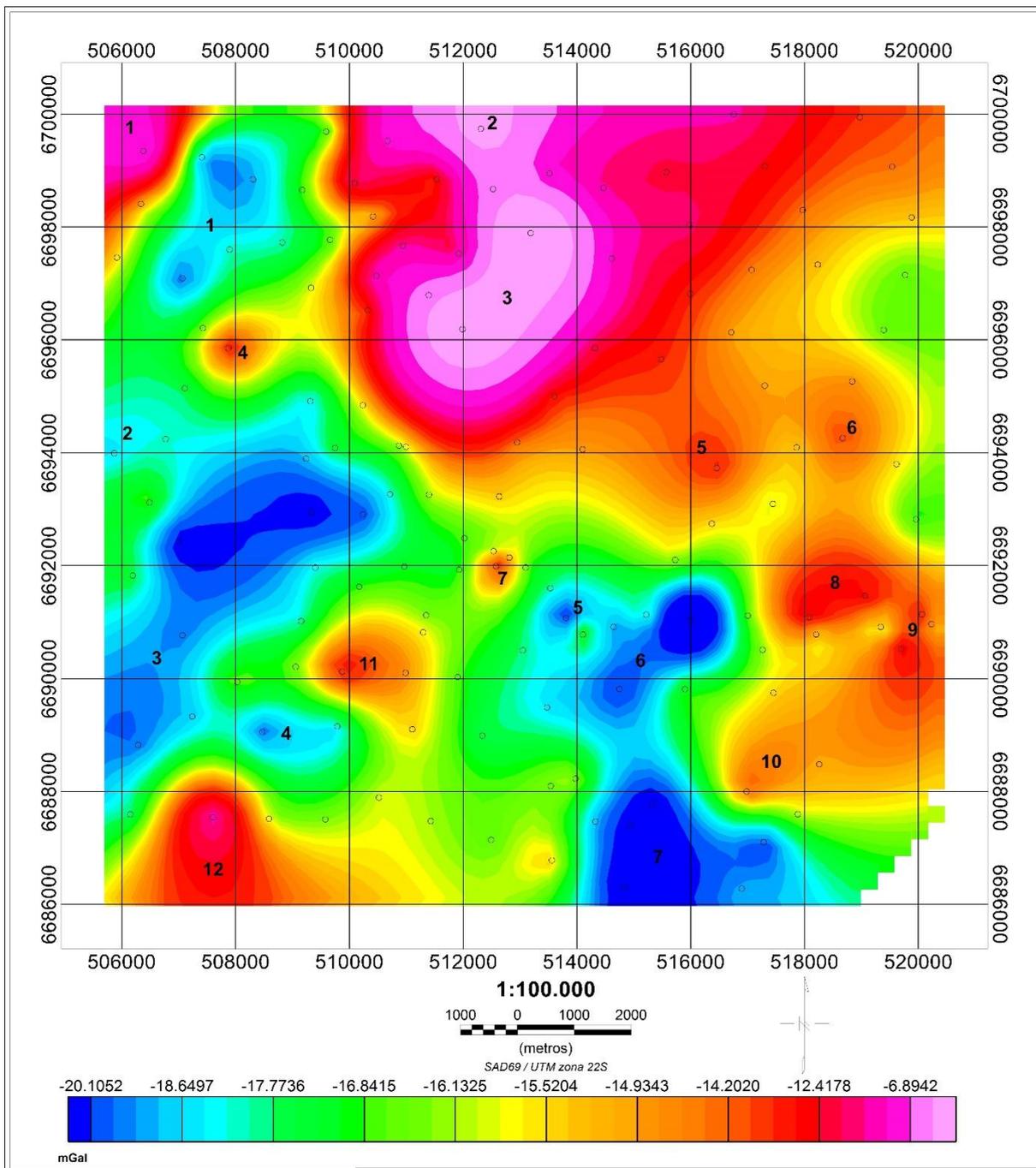


Figura 15 – Mapa anomalia Bouguer – Morungava

Tabela 4 – Descrição das anomalias do mapa Bouguer

Anomalias valores altos (cores quentes)					
nº	localização	Geometria	dimensões (km)		orientação
			largura	comprimento	
1	NO	esférica along. vert.	1,20	1,30	N-S
2	NO-N-NE	esférica along. vert.	5,00	5,10	N-S
3	NO-N-NE	esférica along. vert. irregular	4,90	3,70	NE-SO
4	NO	Esférica	0,50	0,50	-
5	NE	esférica along. vert.	0,80	0,90	N-S
6	NE	esférica along. vert.	1,00	1,10	N-S
7	SO	esférica along. horiz.	0,30	0,30	L-O
8	SE	esférica along. horiz.	1,80	1,40	L-O
9	SE	esférica along. vert.	0,70	1,40	N-S
10	SE	Esférica	0,20	0,20	-
11	SO	esférica along. horiz.	1,30	0,80	L-O
12	SO	esférica along. vert.	1,50	1,80	N-S

Anomalias valores baixos (cores frias)					
1	NO	esférica along. vert.	1,50	2,30	NE-SO
2	NO	Esférica	0,60	0,60	-
3	NO-SO	esférica along. vert.	1,50	5,00	NE-SO
4	SO	esférica along. horiz.	1,50	0,80	L-O
5	SE	Esférica	0,40	0,40	-
6	SE	esférica along. vert.	0,80	2,20	NE-SO
7	SE	esférica along. horiz.	2,40	2,00	L-O

along.=alongada vert.=verticalmente horiz.=horizontalmente

- Mapa Gaussiano

As medidas variam entre -1.4191 a 1.3684 mGal. Cores quente/valores altos estão bastante dispersos, porém um pouco mais concentrados a Norte-Noroeste. Cores frias/valores baixos estão bastante dispersos, porém um pouco menos concentrados a Nordeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,1x0,1 km até 3,6x2,8 km (na dimensão das anomalias, nos formatos irregulares, foi considerada a face de maior medida para obtenção das dimensões). A orientação predominante das anomalias é Sudoeste-Nordeste (Figura 16).

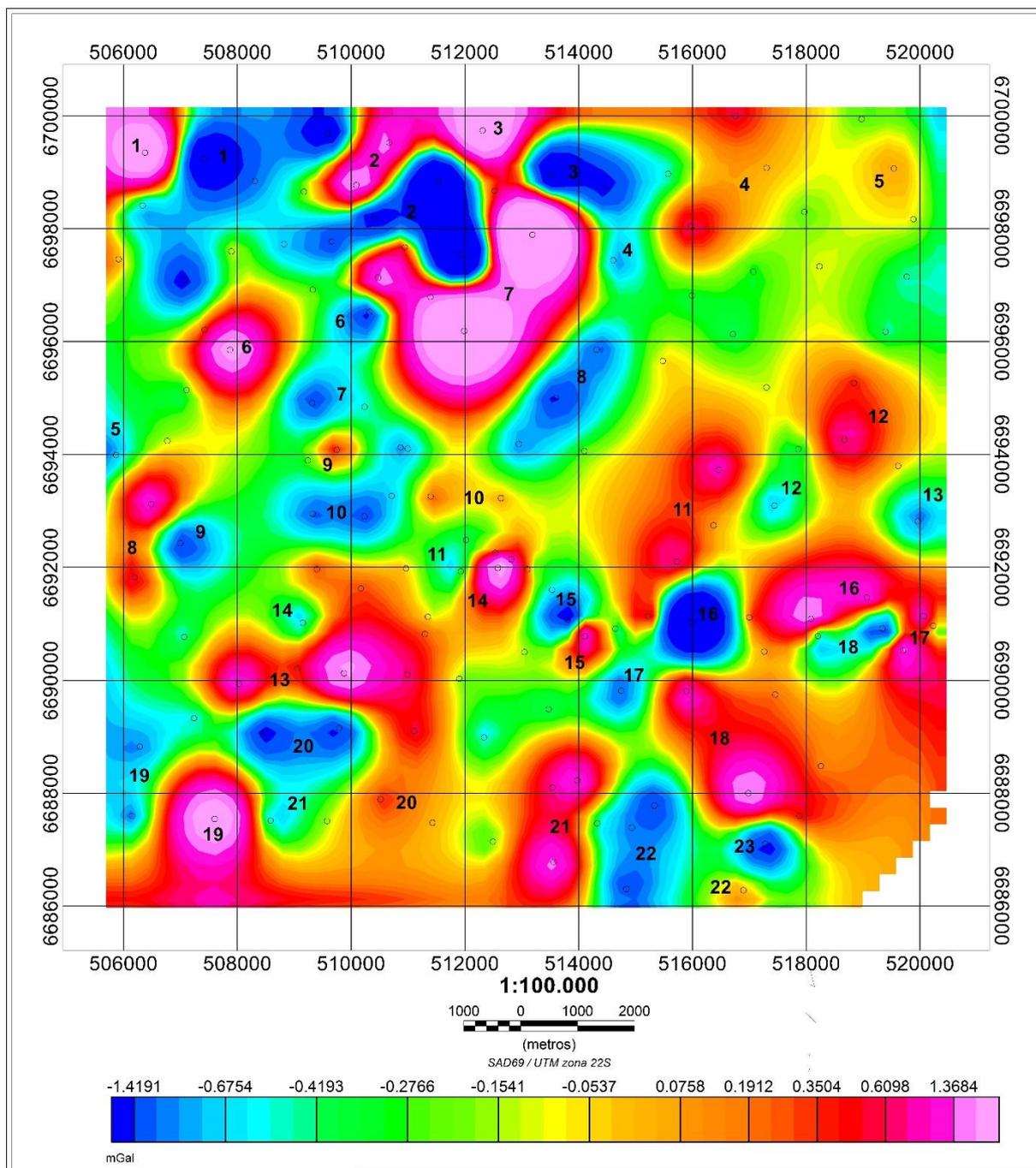


Figura 16 – Mapa Gaussiano - Morungava

Seguindo a escala de cores, onde cores frias representam valores mais baixos (mais negativos) e cores quentes, mais altos (menos negativos, mais próximos de zero), é compreendido que: baixos aproximadamente entre -1.4191 a -0.4193 mGal; médios aproximadamente entre -0.4193 a 0.1912 mGal; e altos aproximadamente entre 0.1912 a -1.3684 mGal. A descrição das anomalias foi sumarizada na Tabela 5, com o número da anomalia (Figura 16), localização,

geometria, dimensões e orientação, dividida em anomalias de valores altos e anomalias de valores baixos (Tabela 5).

Tabela 5 – Descrição das anomalias do mapa Gaussiano

Anomalias valores altos (cores quentes)					
nº	localização	Geometria	dimensões (km)		orientação
			Largura	comprimento	
1	NO	esférica along. vert.	1,00	1,20	N-S
2	NO	esférica along. vert.	0,70	1,80	NE-SO
3	N-NE	esférica along. horiz.	1,20	0,80	L-O
4	NE	esférica along. vert.	1,20	2,50	NE-SO
5	NE	esférica along. vert.	0,80	0,90	N-S
6	NO	Esférica	1,50	1,50	-
7	NO-N-NE	esférica along. vert. (ramif. inf.)	3,60	2,80	NE-SO
8	NO	esférica along. vert.	1,00	2,00	NE-SO
9	NO	Esférica	0,40	0,40	-
10	NO-N-NE	esférica along. vert.	0,50	1,30	NO-SE
11	NE-SE	Esférica	1,50	3,50	NE-SO
12	NE	esférica along. vert.	1,00	1,30	N-S
13	SO	esférica along. horiz.	3,20	3,00	L-O
14	SO-S	esférica along. vert.	0,80	0,90	N-S
15	SE	esférica along. vert.	0,40	0,50	N-S
16	SE	esférica along. horiz.	2,20	1,00	NE-SO
17	SE	esférica along. vert.	2,30	1,00	NE-SO
18	SE	esférica along. vert.	1,50	2,50	NO-SE
19	SO	esférica along. vert.	1,30	2,00	N-S
20	SO	Esférica	0,50	0,50	-
21	S-SE	esférica along. vert.	0,90	2,40	NE-SO
22	SE	esférica along. horiz.	0,40	0,30	L-O
Anomalias valores baixos (cores frias)					
1	NO	esférica along. vert.	1,50	2,30	NE-SO
2	NO	esférica along. vert.	1,90	2,80	NE-SO
3	NE	esférica along. horiz.	1,80	1,10	NO-SE
4	NE	Esférica	0,30	0,30	-
5	NE	esférica along. vert.	0,30	0,50	N-S
6	NO	Esférica	0,60	0,60	-
7	NO	Esférica	0,60	0,60	-
8	N-NE	esférica along. vert.	1,00	2,30	NE-SO
9	NO	Esférica	0,80	0,80	-
10	NO-SO	esférica along. horiz. (ramif. sup.)	2,00	1,50	L-O
11	SO	Esférica	0,10	0,10	-
12	NE-SE	Esférica	0,20	0,20	-
13	NE-SE	Esférica	0,50	0,50	-
14	SO	Esférica	0,10	0,10	-
15	SE	Esférica	0,70	0,70	-
16	SE	esférica along. vert.	1,00	1,10	N-S
17	SE	Esférica	0,50	0,50	-
18	SE	esférica along. horiz.	1,10	0,30	NE-SO
19	SO	esférica along. vert. irregular	0,80	2,00	-
20	SO	esférica along. horiz.	1,60	1,00	L-O
21	SO	Esférica	0,10	0,10	-
22	SE	esférica along. vert.	1,00	1,90	NE-SO
23	SE	Esférica	0,70	0,70	-

along.=alongada inf.=inferior horiz.=horizontalmente vert.=verticalmente sup.=superior ramif.=ramificação

- Mapa 1ª Derivada

As medidas variam entre -0.0173 a 0.0416 mGal. Cores quente/valores altos estão bastante dispersos, porém um pouco mais concentrados a Norte-Noroeste. Cores frias/valores baixos estão bastante dispersos, porém um pouco menos concentrados a Nordeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,1x0,1 km até 3,6x2,8 km (na dimensão das anomalias, nos formatos irregulares, foi considerada a face de maior medida para obtenção das dimensões). A orientação predominante das anomalias é Sudoeste-Nordeste (Figura 17).

Seguindo a escala de cores, onde cores frias representam valores mais baixos e cores quentes, mais altos, é compreendido que: baixos aproximadamente entre -0.0173 a -0.0022 mGal; médios aproximadamente entre -0.0022 a 0.0007 mGal; e altos aproximadamente entre 0.0007 a 0.0416 mGal. A descrição das anomalias foi sumarizada na Tabela 6, com o número da anomalia (Figura 17), localização, geometria, dimensões e orientação, dividida em anomalias de valores altos e anomalias de valores baixos (Tabela 6).

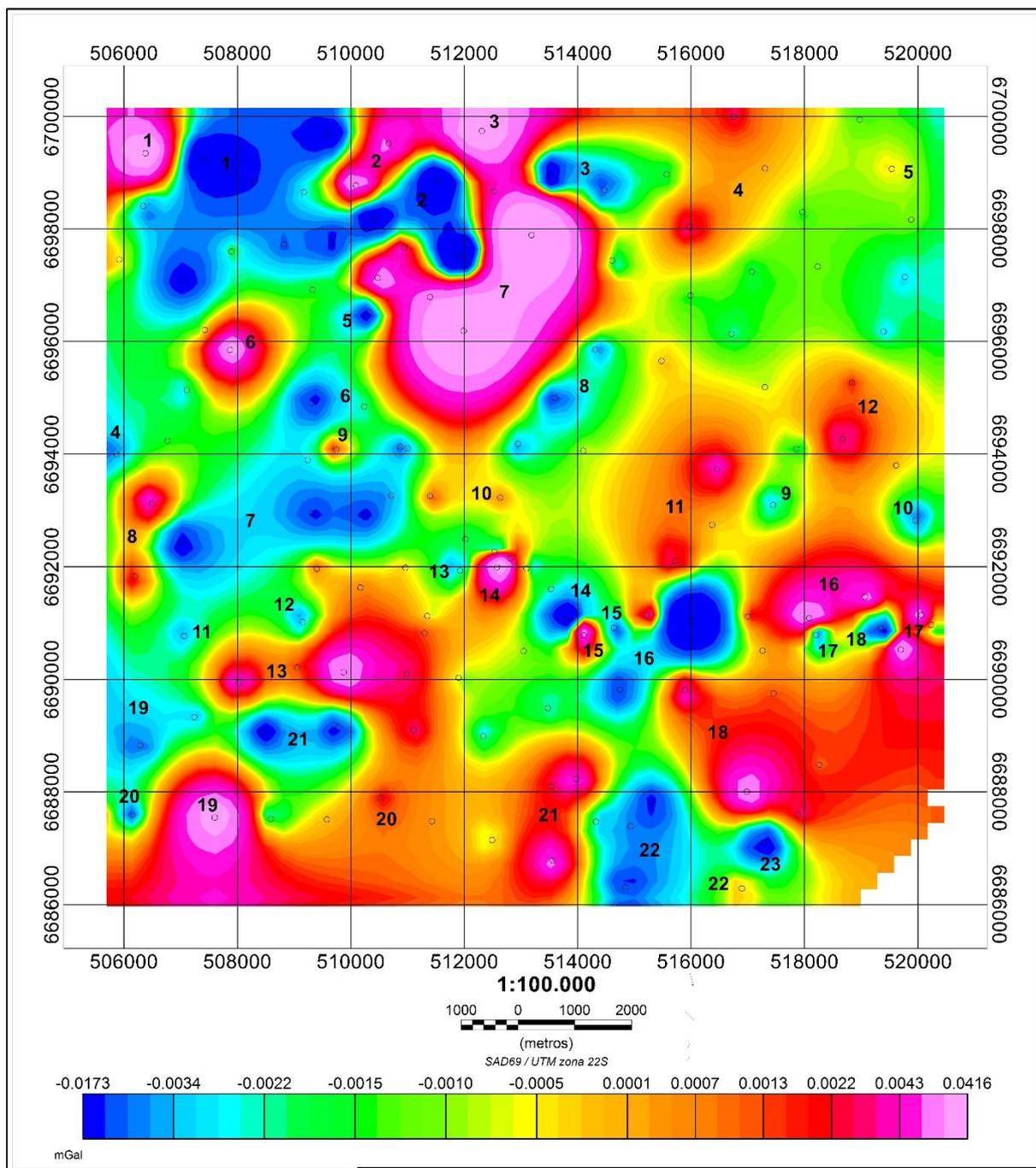


Figura 17 – Mapa 1ª Derivada - Morungava

Tabela 6 - Descrição das anomalias do mapa 1ª Derivada

Anomalias valores altos (cores quentes)					
nº	localização	geometria	dimensões (km)		orientação
			largura	comprimento	
1	NO	esférica along. vert.	1,00	1,20	N-S
2	NO	esférica along. vert.	0,70	1,80	NE-SO
3	N-NE	esférica along. horiz.	1,20	0,80	L-O
4	NE	esférica along. vert.	1,20	2,50	NE-SO
5	NE	Esférica	0,30	0,30	-
6	NO	Esférica	1,50	1,50	-
7	NO-N-NE	esférica along. vert. (ramif. inf.)	3,60	2,80	NE-SO
8	NO	esférica along. vert.	0,80	1,70	NE-SO
9	NO	Esférica	0,30	0,30	-
10	NO-N-NE	esférica along. vert.	0,50	1,30	NO-SE
11	NE-SE	Esférica	1,50	3,50	NE-SO
12	NE	esférica along. vert.	0,80	1,30	N-S
13	SO	esférica along. horiz.	3,20	3,00	L-O
14	SO-S	esférica along. vert.	0,80	0,90	N-S
15	SE	esférica along. vert.	0,30	0,50	N-S
16	SE	esférica along. horiz.	2,20	1,00	NE-SO
17	SE	esférica along. vert.	2,30	1,00	NE-SO
18	SE	esférica along. vert.	1,50	2,50	NO-SE
19	SO	esférica along. vert.	1,30	2,00	N-S
20	SO	Esférica	0,50	0,50	-
21	S-SE	esférica along. vert.	0,80	2,40	NE-SO
22	SE	Esférica	0,10	0,10	-
Anomalias valores baixos (cores frias)					
1	NO	esférica along. vert.	1,50	3,50	NE-SO
2	NO	esférica along. vert.	1,90	2,80	NE-SO
3	NE	esférica along. horiz.	1,30	0,60	NO-SE
4	NE	esférica along. vert.	0,30	0,50	N-S
5	NO	Esférica	0,60	0,60	-
6	NO	Esférica	1,00	1,00	-
7	NO-SO	esférica along. horiz. (ramif. sup.)	4,00	1,50	NE-SO
8	N-NE	esférica along. vert.	0,60	2,20	NE-SO
9	NO	Esférica	0,20	0,20	-
10	NE-SE	Esférica	0,40	0,40	-
11	SO	Esférica	0,20	0,20	-
12	SO	Esférica	0,20	0,20	-
13	NE-SE	Esférica	0,20	0,20	-
14	S-SE	Esférica	0,80	0,80	-
15	SE	Esférica	0,20	0,20	-
16	SE	esférica along. vert.	2,50	1,00	NE-SO
17	SE	Esférica	0,10	0,10	-
18	SE	esférica along. horiz.	0,40	0,30	L-O
19	SO	esférica along. vert. irregular	0,80	1,80	N-S
20	SO	Esférica	0,20	0,20	-
21	SO	esférica along. horiz.	1,60	1,00	L-O
22	SE	esférica along. vert.	1,00	1,90	NE-SO
23	SE	Esférica	0,70	0,70	-

along.=alongada inf.=inferior vert.=verticalmente sup.=superior horiz.=horizontalmente ramif.=ramificação

4.11.1.2. Área Chico Lomã

- Mapa Anomalia Bouguer

As medidas variam entre -27.8016 a -7.3576 mGal. Cores quente/valores altos estão concentrados a Noroeste e a Sudoeste (com orientação Sudoeste-Nordeste). Cores frias/valores baixos estão concentrados a Sudeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 1x1 km até 7,2x18,4 km (na dimensão das anomalias, nos formatos irregulares, foi considerada a face de maior medida para obtenção das dimensões). A orientação das anomalias é Sudoeste-Nordeste (Figura 18).

Seguindo a escala de cores, onde cores frias representam valores mais baixos e cores quentes, mais altos, é compreendido que: baixos aproximadamente entre -27.8016 a -23.1333 mGal; médios aproximadamente entre -23.1333 a -18.0397 mGal; e Altos aproximadamente entre -18.0397 a -7.3576 mGal. A descrição das anomalias foi sumarizada em na Tabela 7, com o número da anomalia (Figura 18), localização, geometria, dimensões e orientação, dividida em anomalias de valores altos e anomalias de valores baixos (Tabela 7).

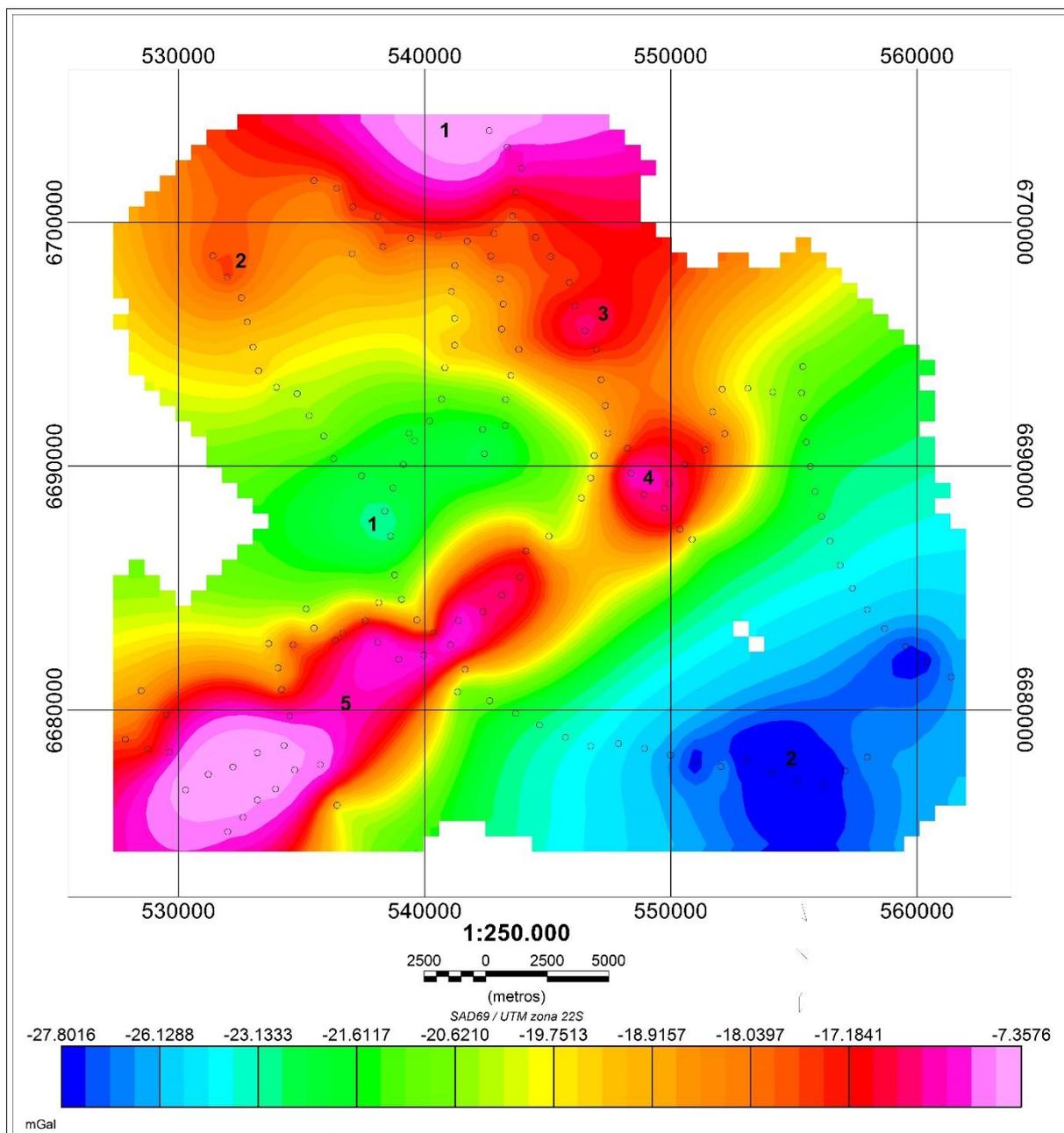


Figura 18 – Mapa anomalia Bouguer – Chico Lomã

Tabela 7 – Descrição das anomalias do mapa Bouguer

Anomalias valores altos (cores quentes)					
nº	localização	geometria	dimensões (km)		orientação
			largura	comprimento	
1	NO-N-NE	esférica along. horiz.	12,60	4,00	L-O
2	NO	esférica along. vert.	2,60	3,00	N-S
3	N-NE	esférica	3,00	3,00	-
4	NE-SE	esférica along. vert.	3,40	3,80	N-S
5	SO-S	esférica along. vert.	7,20	18,40	NE-SO
Anomalias valores baixos (cores frias)					
1	SO	esférica	1,0	1,0	-
2	SE	esférica along. vert.	8,0	13,8	NE-SO

along.=alongada vert.=verticalmente horiz.=horizontalmente

- Mapa Gaussiano

As medidas variam entre -1.7554 a 1.4314 mGal. Cores quente/ valores altos estão concentrados a Noroeste e a Sudoeste (com orientação Sudoeste-Nordeste). Cores frias/ valores baixos estão bastante dispersos, porém mais concentrados a Sudoeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,2x0,2 km até 5,3x18,8 km (na dimensão das anomalias, nos formatos irregulares, foi considerada a face de maior medida para obtenção das dimensões). A orientação predominante das anomalias é Sudoeste-Nordeste (Figura 19).

Seguindo a escala de cores, onde cores frias representam valores mais baixos e cores quentes, mais altos, é compreendido que: baixos aproximadamente entre -1.7554 a -0.0552 mGal; médios aproximadamente entre -0.0552 a 0.0098 mGal; e altos aproximadamente entre 0.0098 a 1.4314 mGal. A descrição das anomalias foi sumarizada na Tabela 8, com o número da anomalia (Figura 19), localização, geometria, dimensões e orientação, dividida em anomalias de valores altos e anomalias de valores baixos (Tabela 8).

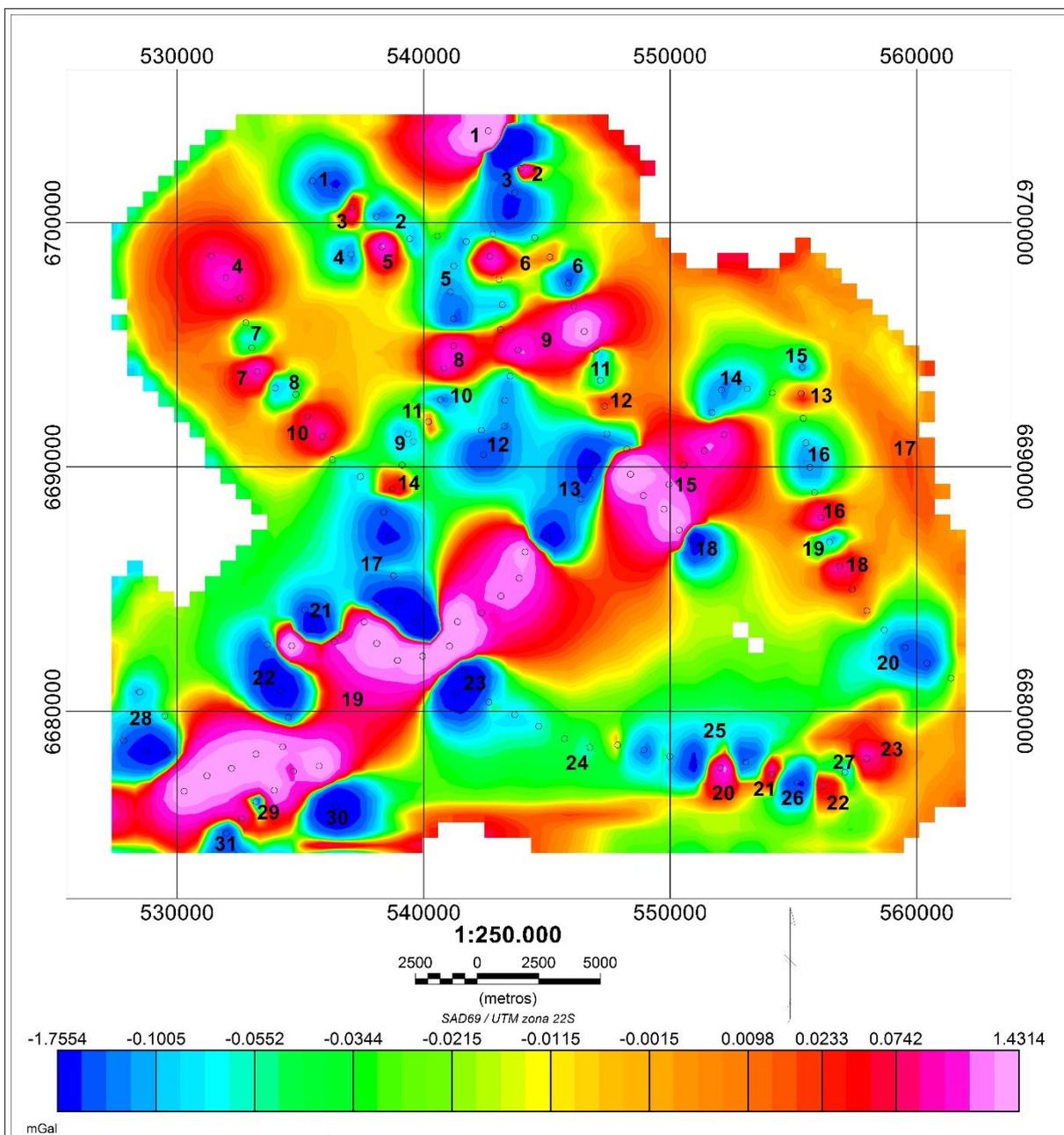


Figura 19 – Mapa Gaussiano – Chico Lomã

Tabela 8 – Descrição das anomalias do mapa Gaussiano

Anomalias valores altos (cores quentes)					
nº	localização	geometria	dimensões (km)		orientação
			largura	comprimento	
1	NO	esférica along. vert.	2,40	2,00	NE-SO
2	NO	esférica along. horiz.	0,70	0,60	L-O
3	NO	esférica along. vert.	1,80	1,20	NE-SO
4	NO	esférica	3,00	3,00	-
5	NO	esférica along. vert.	1,30	1,60	N-S
6	NO-N-NE	esférica along. horiz.	3,00	1,40	L-O
7	NO	esférica along. vert.	1,20	1,30	N-S
8	NO	esférica along. horiz.	2,50	1,80	L-O
9	N-NE	esférica along. vert.	2,00	5,20	NE-SO
10	NO	esférica	2,00	2,00	-
11	NO	esférica	0,20	0,20	-
12	NE	esférica	0,80	0,80	-
13	NE	esférica along. horiz.	1,10	0,80	L-O
14	SO	esférica along. horiz.	1,00	0,80	L-O
15	NE-SE	esférica along. vert.	3,80	5,80	NE-SO
16	SE	esférica along. horiz.	2,00	1,00	L-O
17	SE	esférica along. vert.	1,20	3,20	NO-SE
18	SE	esférica along. vert.	2,00	1,00	N-S
19	SO-S-SE	esférica along. vert. irregular	5,30	18,80	NE-SO
20	SE	esférica along. vert.	1,20	1,80	N-S
21	SE	esférica along. vert.	0,50	1,40	NE-SO
22	SE	esférica along. vert.	0,80	1,90	N-S
23	SE	esférica along. vert.	1,60	2,40	NO-SE
Anomalias valores baixos (cores frias)					
1	NO	Esférica	2,40	2,40	-
2	NO	esférica along. vert.	8,00	13,80	NE-SO
3	NO-N-NE	esférica along. vert.	2,80	4,20	N-S
4	NO	Esférica	1,20	1,20	-
5	NO	esférica along. vert.	1,70	3,70	NE-SO
6	NE	Esférica	1,40	1,40	-
7	NO	esférica along. horiz.	0,80	0,40	L-O
8	NO	Esférica	0,60	0,60	-
9	NO	esférica along. vert.	1,20	1,30	N-S
10	NO	esférica along. horiz.	1,20	0,80	L-O
11	NE	esférica along. vert.	0,40	1,10	N-S
12	NO-SO	esférica along. vert.	2,50	4,00	NE-SO
13	N-S	esférica along. vert.	1,40	5,00	NE-SO
14	NE	esférica along. vert.	1,80	2,60	NE-SO
15	NE	Esférica	0,70	0,70	-
16	NE-SE	esférica along. vert.	1,60	2,00	N-S
17	SO	esférica along. vert.	2,60	5,80	NO-SE
18	SE	esférica along. vert.	1,70	1,80	N-S
19	SE	esférica along. horiz.	0,50	0,45	L-O
20	SE	Esférica	2,60	2,60	-
21	SO	esférica along. vert.	1,60	1,80	N-S
22	SO	esférica along. vert.	2,10	3,60	NO-SE
23	SO	esférica along. vert. (ramif. lat.)	3,40	3,00	NE-SO
24	SE	Esférica	0,20	0,20	-
25	SE	esférica along. horiz.	5,10	2,00	L-O
26	SE	esférica along. vert.	1,30	1,80	N-S
27	SE	Esférica	0,10	0,10	-
28	SO	esférica along. horiz. (ramif. sup.)	1,10	3,50	N-S

Continuação da Tabela 8 – Descrição das anomalias do mapa Gaussiano

29	SO	esférica along. vert. irregular	0,30	0,40	N-S
30	SO	esférica along. horiz.	2,60	2,20	L-O
31	SO	esférica along. horiz.	1,80	1,10	L-O

along.=alongada lat.=lateral vert.=verticalmente sup.=superior horiz.=horizontalmente ramif.=ramificação

- Mapa 1ª Derivada

As medidas variam entre -0.0062 a 0.0069 mGal. Cores quente/valores altos estão concentrados a Noroeste e a Sudoeste (com orientação Sudoeste-Nordeste). Cores frias/valores baixos estão bastante dispersos, porém mais concentrados a Sudoeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,05x0,05 km até 7,2x18,8 km (na dimensão das anomalias, nos formatos irregulares, foi considerada a face de maior medida para obtenção das dimensões). A orientação predominante das anomalias é Sudoeste-Nordeste (Figura 20).

Seguindo a escala de cores, onde cores frias representam valores mais baixos e cores quentes, mais altos, é compreendido que: baixos aproximadamente entre -0.0062 a -0.0007 mGal; médios aproximadamente entre -0.0007 a 0.0001 mGal; e altos aproximadamente entre 0.0001 a 0.0069 mGal. A descrição das anomalias foi sumarizada na Tabela 9, com o número da anomalia (Figura 20), localização, geometria, dimensões e orientação, dividida em anomalias de valores altos e anomalias de valores baixos (Tabela 9).

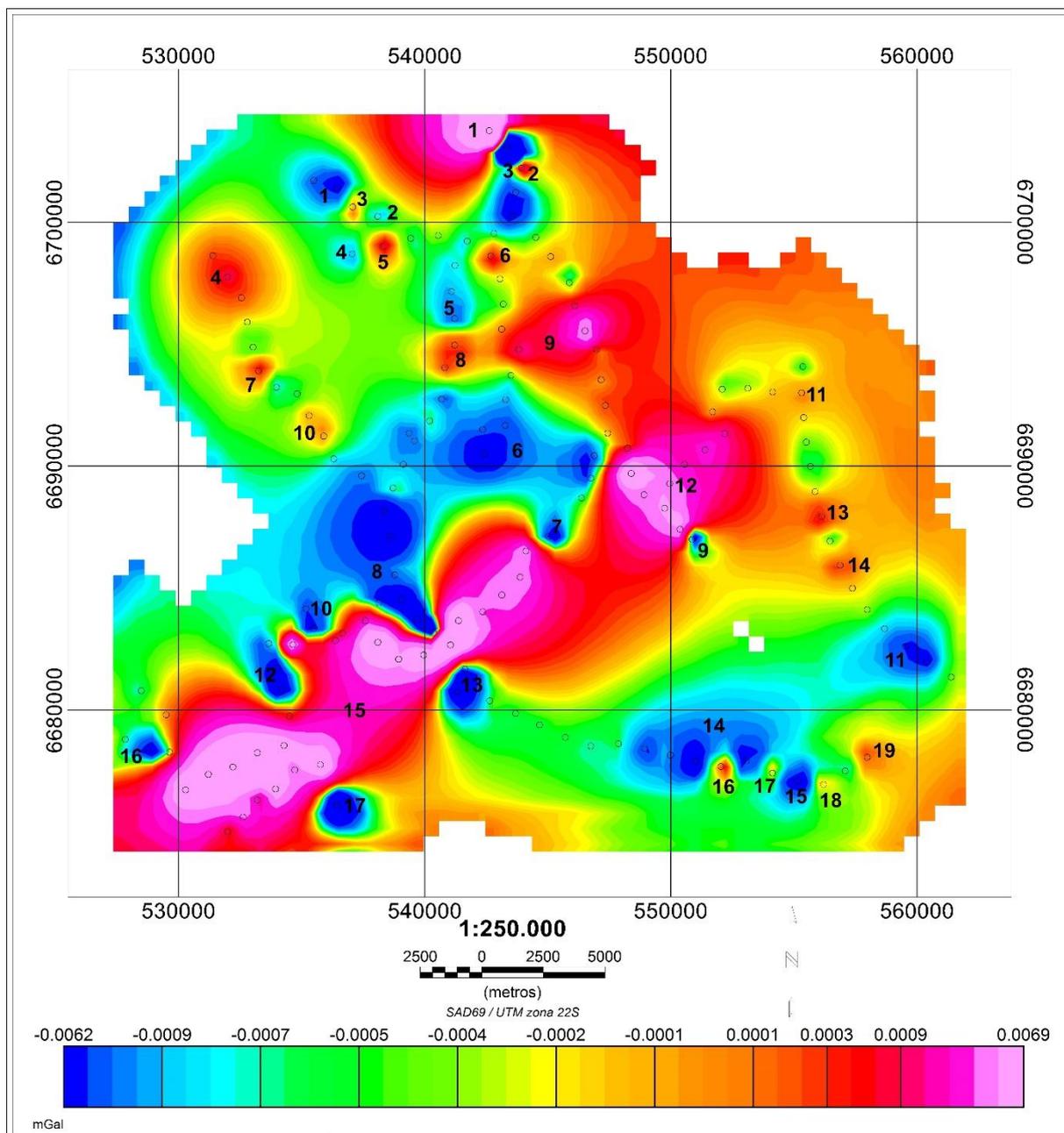


Figura 20 – Mapa 1ª Derivada – Chico Lomã

Tabela 9 – Descrição mapa 1ª Derivada

Anomalias valores altos (cores quentes)					
nº	localização	Geometria	dimensões (km)		orientação
			largura	comprimento	
1	NO	esférica along. horiz.	3,20	1,80	L-O
2	NO	esférica along. horiz.	0,70	0,60	L-O
3	NO	esférica along. vert.	0,30	0,40	N-S
4	NO	esférica along. vert.	2,30	3,00	N-S
5	NO	Esférica	0,90	0,90	-
6	NO	Esférica	1,00	1,00	-
7	NO	esférica along. horiz.	1,00	0,80	L-O
8	NO	Esférica	1,10	1,10	-
9	N-NE	esférica along. vert.	2,00	5,20	NE-SO
10	NO	Esférica	0,60	0,60	-
11	NE	Esférica	0,20	0,20	-
12	NE-SE	esférica along. vert.	3,80	5,80	NE-SO
13	SE	Esférica	0,80	0,80	-
14	SE	Esférica	0,80	0,80	-
15	SO-S-SE	esférica along. vert. irregular	5,30	18,80	NE-SO
16	SE	Esférica	0,50	0,50	-
17	SE	Esférica	0,10	0,10	-
18	SE	Esférica	0,05	0,05	-
19	SE	Esférica	0,80	0,80	-
Anomalias valores baixos (cores frias)					
1	NO	Esférica	2,40	2,40	-
2	NO	Esférica	0,10	0,10	-
3	NO-N	esférica along. vert.	1,90	3,80	N-S
4	NO	esférica along. horiz.	0,62	0,60	L-O
5	NO	esférica along. vert.	1,20	2,70	N-S
6	NE	esférica along. horiz.	7,80	3,80	L-O
7	SO-S-SE	Esférica	1,00	1,00	-
8	SO	esférica along. vert.	4,40	6,80	NO-SE
9	SE	esférica along. vert.	0,40	0,50	N-S
10	SO	esférica along. vert.	1,30	1,80	N-S
11	SE	Esférica	2,60	2,60	-
12	SO	esférica along. vert.	1,40	2,60	NO-SE
13	SO	esférica along. vert.	1,40	1,80	N-S
14	SE	esférica along. horiz.	5,10	2,00	L-O
15	SE	esférica along. vert.	1,30	1,80	N-S
16	SO	Esférica	1,20	1,20	-
17	SO	esférica along. horiz.	1,70	1,60	L-O

along.=alongada vert.=verticalmente horiz.=horizontalmente

4.11.2. Mapas Temáticos Dados Perfis de Sondagem

A descrição dos mapas temáticos dados perfis de sondagem consistiu em analisar valores mínimos e máximos (profundidade e espessura em metros) e a localização da concentração desses mínimos e máximos.

4.11.2.1. Área Morungava

- Localização Furos de sondagem (ANEXO D) - mapa com a plotagem das coordenadas geográficas dos furos de sondagem.

- Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão (ANEXO E) - com profundidades entre 36,50 a 371,50 m. Concentrações de maiores profundidades a noroeste. Concentrações de menores profundidades a sudoeste, sudeste e pequena área centro-norte.

- Profundidade Primeira Ocorrência de Diabásio (ANEXO F) - com profundidades entre 198,35 a 575,53 m. Concentrações de maiores profundidades a noroeste. Concentrações de menores profundidades a sudoeste, sudeste e pequena área a noroeste.

- Espessura Cumulativa do Carvão (ANEXO G) - com espessuras entre 0,12 a 12,39 m. Concentrações de maiores espessuras a noroeste, sudoeste e sudeste, zoneadas por decréscimo de espessura. Concentrações de menores espessuras em duas pequenas áreas a sudeste.

- Espessura Cumulativa do Diabásio (ANEXO H) - com espessuras entre 1,10 a 98,64 m. Concentrações de maiores espessuras a noroeste, zoneadas por decréscimo de espessura.

- Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Irati (ANEXO I) - com espessuras entre 1,14 a 84,00 m. Concentrações de maiores espessuras a noroeste, zoneadas por decréscimo de espessura.

- Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Rio Bonito (ANEXO J) - com espessuras entre 1,10 a 35,10 m. Concentrações de maiores espessuras ao sul e a noroeste, zoneadas por decréscimo de espessura.

4.11.2.2. Área Chico Lomã

- Localização Furos de Sondagem (ANEXO K) - mapa com a plotagem das coordenadas geográficas dos furos de sondagem.

- Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão (ANEXO L) - com profundidades entre 49,50 a 672,92 m. Concentrações de maiores profundidades a noroeste. Concentrações de menores profundidades a sudoeste e pequenas áreas a nordeste e sudeste.

- Profundidade Primeira Ocorrência de Diabásio (ANEXO M) - com profundidades entre 65,00 a 477,80 m. Aumentos progressivo de profundidade de sul para norte.

- Espessura Cumulativa do Carvão (ANEXO N) - com espessuras entre 0,30 a 14,21 m. Concentrações de maiores espessuras ao sul e uma pequena área a sudoeste, zoneadas por decréscimo de espessura.

- Espessura Cumulativa do Diabásio (ANEXO O) - com espessuras entre 2,10 a 127,23 m. Aumentos progressivo de espessura de sul para norte.

- Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Irati (ANEXO P) - com espessuras entre 1,80 a 101,80 m. Aumentos progressivo de espessura de sul para norte.

- Espessura Cumulativa do Diabásio Fm. Rio Bonito-Chico Lomã - com espessuras entre 0,35 a 58,00 m. Concentrações de maiores espessuras ao sul e uma pequena área a sudoeste, zoneadas por decréscimo de espessura.

4.12. Interpretação dos resultados

A *priori*, de forma geral, as anomalias gravimétricas de valores altos que se destacam nos mapas de anomalia Bouguer e que após processo de filtragem permanecem destacadas, podem ser interpretadas como sendo áreas onde há rochas com altos valores de densidade, como o diabásio, que é característica da geologia da área. Deve ser levado em conta que o filtro Gaussiano aplicado para remover comprimentos de onda de 4000 m (quádruplo da distância de aquisição gravimétrica entre os pontos) atenua influências mais profundas de caráter regional,

obtendo-se assim uma anomalia residual. Já a aplicação do filtro 1ª Derivada remove a influência de fontes mais profundas e representa a anomalia das rochas em subsuperfície.

Isso justifica as mudanças nas posições e na geometria das anomalias, quando é realizada a comparação de mapas com processo de filtragem em relação aos mapas Bouguer.

A comparação entre os mapas anomalia Bouguer e os mapas temáticos dos dados dos perfis de sondagem, também mostra interessantes resultados para dar subsídio às interpretações das anomalias gravimétricas, embora o ideal teria sido a realização de uma aquisição gravimétrica mais fiel aos pontos onde foram realizados os furos de sondagem.

Ao relacionar os mapas temáticos dados perfis de sondagem, espessura cumulativa do carvão *versus* espessura cumulativa do diabásio é possível observar uma relação inversa na maioria das áreas.

Outra associação possível é entre os mapas de anomalia Bouguer *versus* espessura cumulativa do diabásio. Em Morungava há um decréscimo na espessura do diabásio de nordeste para sudoeste-sul-sudeste, o que corresponde as mesmas coordenadas geográficas das anomalias com valores altos em uma área à noroeste-nordeste. Em Chico Lomã há um decréscimo na espessura do diabásio de norte para sul, o que corresponde as mesmas coordenadas geográficas das anomalias com valores altos em uma área à noroeste-nordeste.

O *trend* de anomalias gravimétricas na área de Chico Lomã com valores altos alinhados com orientação sudoeste-nordeste, pode ser interpretado como um corpo ígneo, como uma soleira, por se tratar de um corpo denso proveniente de intrusões ígneas formadas por diabásio, rocha característica da geologia local.

Com as possibilidades mencionadas acima, a interpretação dos resultados e considerações finais a cerca deste, constam no artigo submetido (*vide* página 63).

4.13. Elaboração e submissão do artigo

Após descrição dos resultados e a interpretação, foi elaborado um artigo com os dados e as ilustrações pertinentes a serem submetidos, conforme as normas

da Revista Pesquisa em Geociências, um periódico de divulgação científica com três números por ano editado pelo Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em continuidade ao periódico Pesquisas editado entre 1972 e 1999. A partir de 2000 é publicado na forma impressa (em preto e branco) e eletrônica. O propósito maior da revista é oferecer à comunidade científica um canal formal de comunicação e divulgação da produção técnico-científica por meio da publicação de artigos originais, de conteúdo qualificado e que cooperem para o avanço do conhecimento nas diversas áreas das Geociências (*Qualis Capes para Geociências B2*).

4.14. Elaboração e entrega da dissertação

Foi elaborado o estado da arte ou fundamentação teórica para os tópicos do projeto de dissertação, anexado o artigo submetido (conforme norma 103) e após finalização, entregue à secretaria de Pós Graduação de Geociências para avaliação.

5. ARTIGO

A seguir, será apresentado o artigo submetido a Revista Pesquisa em Geociências intitulado “Caracterização Gravimétrica da Jazida Morungava-Chico Lomã, RS”, formatado conforme as normas da revista (porém numerado de forma sequencial a dissertação, por não ter sido ainda publicado, conforme Norma 103), com as seguintes seções:

- 1. Introdução;
- 2. Área, materiais e métodos;
- 3. Resultados (3.1. *Morungava*, 3.2. *Chico Lomã*);
- 4. Discussão dos resultados (4.1. *Morungava*, 4.2. *Chico Lomã*);
- 5. Conclusões;
- Agradecimentos;
- Referências bibliográficas.

1 **Caracterização Gravimétrica da Jazida Morungava-Chico Lomã, RS**

3 **Gravity characterization of the Coal Deposit Morungava-Chico Lomã, RS**

5 Mara Lia Dias CAVALHEIRO¹, Maria Luiza Correa da Camara ROSA², Robson dos Santos
6 AQUINO³ & Wolfgang KALKREUTH⁴

8 ⁽¹⁾ Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av.
9 Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail:
10 maraliacavalheiro@gmail.com.

11 ⁽²⁾ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves,
12 9.500, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: luiza.camara@ufrgs.br.

13 ⁽³⁾ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves,
14 9.500, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: robgeo@ig.com.br.

15 ⁽⁴⁾ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves,
16 9.500, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: wolfgang.kalkreuth@ufrgs.br.

19 **Resumo.** Na região sudeste da Bacia do Paraná estão localizados depósitos de carvão
20 economicamente importantes nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.
21 Esses depósitos são frequentemente muito alterados por intrusões vulcânicas. Essas
22 intrusões ígneas têm interferido no nível de alteração térmica do carvão (*rank*) da Jazida
23 carbonífera Morungava-Chico Lomã no RS. Com o objetivo de mapear essas intrusões
24 foi aplicado o método geofísico potencial gravimétrico na área do depósito Morungava e
25 na área do depósito Chico Lomã. Para ambas as áreas a escolha dos locais de aquisição
26 foi baseada em furos de sondagem realizados anteriormente. Com os dados dos perfis
27 dessas sondagens foram elaborados mapas da espessura cumulativa do carvão e do
28 diabásio. Foi realizada a sobreposição das isolinhas das espessuras cumulativa do carvão
29 e do diabásio nos mapas de anomalia Bouguer filtrados. Essas sobreposições
30 apresentaram correlações e auxiliaram na interpretação dos dados gravimétricos. A
31 orientação preferencial predominante das anomalias foi NE-SW e uma orientação
32 subsidiária de direção NW-SE, o que sugeriu um controle estrutural sobre a ocorrência de
33 diques e/ou soleiras, sob os altos gravimétricos. Em Chico Lomã a ocorrência de uma
34 extensa anomalia Bouguer positiva formando um *trend* de orientação NE-SW foi
35 correlacionada a unidades geológicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: altos
36 gravimétricos caracterizaram a Barreira I e baixos gravimétricos, os Sistemas Lagunares I
37 e II. O método gravimétrico se mostrou eficaz para a caracterização da jazida por meio da
38 correlação de anomalias gravimétricas positivas com as ocorrências de diabásio.

39 **Palavras-chave.** carvão, diabásio, espessura cumulativa, anomalia Bouguer

41 **Abstract.** In the southeastern region of the Paraná Basin are located economically
42 important coal deposits in the states of Parana, Santa Catarina and Rio Grande do Sul.
43 These deposits are often much altered by volcanic intrusions. These igneous intrusions
44 have interfered with thermal alteration level of coal (*rank*) of the coal deposit Morungava-
45 Chico Lomã in RS. With the objective to map the intrusion was applied geophysicist
46 potential gravimetric method in the area of the deposit Morungava and in the area of the
47 deposit Chico Lomã. For both areas the choice of acquisition locations was based on
48 previously conducted drilling holes. With the data from the profiles of these drilling holes
49 were developed maps of the cumulative thickness of coal and diabase. The overriding of

50 the lines of cumulative thickness of coal and diabase in the filtered Bouguer anomaly
51 maps was performed. These overrides presented correlations and assisted in the
52 interpretation of gravity data. The predominant preferential orientation of the anomalies
53 was NE-SW and a subsidiary orientation NW-SE direction, suggesting a structural
54 control on the occurrence of dikes and/or sills, on gravimetric high. In Chico Lomã the
55 occurrence of an extensive positive Bouguer anomaly forming a trend of NE-SW
56 orientation was correlated with geological units of Rio Grande do Sul Coastal Plain:
57 gravimetric characterized the high Barrier I and low gravimetric, Systems Lagunar I and
58 II. The gravimetric method proved efficient for the characterization of the deposit through
59 the correlation of positive gravity anomalies with occurrences of diabase.

60 **Keywords.** coal, diabase, cumulative thickness, Bouguer anomaly
61

62

63 1 Introdução

64

65 Carvão mineral é uma rocha sedimentar carbonosa majoritariamente derivada de restos
66 vegetais, com matéria mineral associada e com um teor de cinzas inferior ou igual a 50% de
67 sua massa (ISO 1176, 2005). A produção mundial de carvão em 2012 foi de 8,898 Bt e até
68 2040 é projetado um aumento da produção em 1,2 Bt (IEO, 2016). No Brasil, a produção de
69 carvão em 2014 foi de 7,57 Mt proveniente do Rio Grande do Sul (54,9%), Santa Catarina
70 (43,7%) e Paraná (1,4%) (DNPM, 2016). A demanda nacional de carvão tem aumentado
71 numa taxa média anual de crescimento de 9,0% a.a., nos últimos três anos. No país, o carvão
72 mineral é consumido nos setores: elétrico (80,3%); papel e celulose (4,8%); cerâmicos
73 (4,5%); alimentos (3,6%); cimento e petroquímica (2,4%); siderurgia e metalurgia (1,7%); e
74 outros (0,3%) (DNPM, 2016).

75 As principais reservas carboníferas brasileiras estão na região sul, na Bacia do Paraná,
76 e somam 32 Bt das quais, 89% estão no Rio Grande do Sul, 10% em Santa Catarina, 0,3% no
77 Paraná e o restante em São Paulo. São oito jazidas de maior importância: Sul-Catarinense,
78 Santa Terezinha, Morungava-Chico Lomã, Charqueadas, Leão, Iruí, Capané e Candiota
79 (Ramgrab *et al.*, 2000).

80 A Jazida Morungava-Chico Lomã, localizada no Rio Grande do Sul, foi descoberta
81 nos anos 1970 e nunca foi minerada; pesquisada por um projeto desenvolvido pela
82 Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM), foram executados aproximadamente
83 80 furos de sondagem. Na área da jazida também foram realizados furos de sondagem pelo
84 Núcleo de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do
85 Sul (NCRGP/UFRGS), em parceria com a empresa Carbonífera Metropolitana.

86 A área de estudos é caracterizada por rochas sedimentares de idade Permiana,
87 relacionadas à parte sul da Bacia do Paraná, frequentemente associadas com rochas ígneas.

88 Estudos anteriores demonstraram (Kern, 2002; Kalkreuth *et al.*, 2003, 2008, 2013;
89 Levandowski, 2013) que as camadas da Formação Rio Bonito nas zonas de contato com as
90 rochas ígneas são alteradas termicamente para meta-antracito e coque natural, enquanto os
91 níveis de maturação dos folhelhos betuminosos da Formação Irati são frequentemente
92 alterados termicamente de imaturo para maturo, resultando na geração de hidrocarbonetos. Há
93 uma escassez de informações sobre a distribuição espacial nas rochas ígneas na parte sul da
94 Bacia do Paraná (Kalkreuth *et al.*, 2008).

95 Baseado nisso a proposta do presente estudo é investigar a distribuição espacial das
96 rochas ígneas na Jazida Morungava-Chico Lomã através do método geofísico potencial
97 gravimétrico, aliado aos dados provenientes de perfis de sondagem realizados na área.
98 Métodos geofísicos são ferramentas de investigação indireta que seguem princípios físicos
99 aliados às propriedades físicas das rochas em subsuperfície, que geram resultados devido às
100 respostas das medidas dessas propriedades em um determinado alvo. Na área de estudos há
101 um contraste entre os valores de densidade do carvão e das rochas ígneas, desta forma foi
102 selecionado o método geofísico potencial gravimétrico, que mede valores de gravidade local,
103 os quais são influenciados pela densidade das rochas. .

104

105 **2 Área, materiais e métodos**

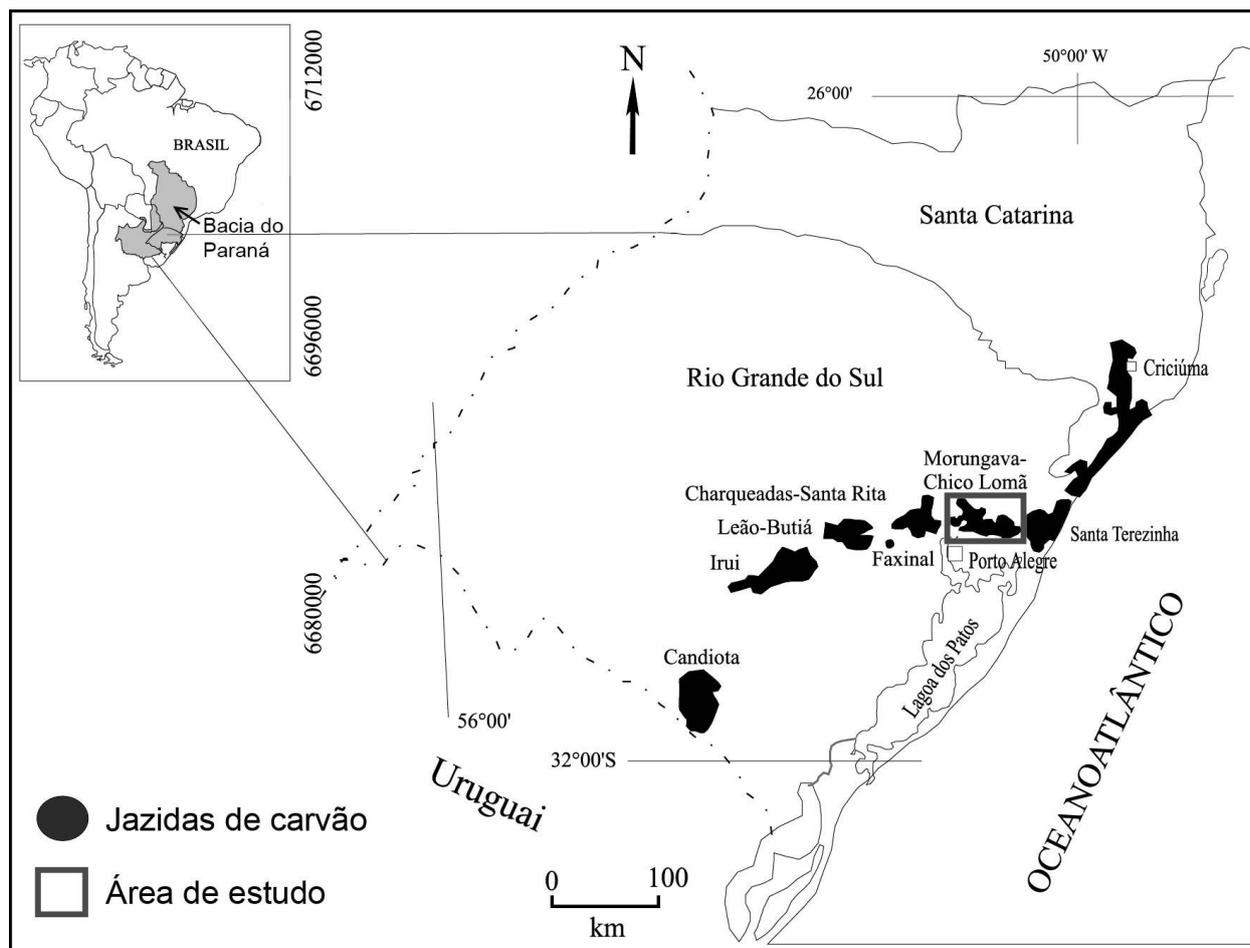
106

107 A Jazida Morungava-Chico Lomã está localizada a leste de Porto Alegre, capital do
108 estado do Rio Grande do Sul; abrange os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Capivari
109 do Sul, Viamão e Gravataí. Seu acesso pode ser feito pela rodovia RS-290, que liga Porto
110 Alegre a Osório, pela rodovia RS-040 no trecho entre Viamão e Balneário Pinhal ou, ainda,
111 pode ser acessada pela RS-040 no trecho entre Capivari do Sul na BR-101 e Santo Antônio da
112 Patrulha na RS-290 (Fig. 1).

113 A Jazida Morungava-Chico Lomã está contextualizada geologicamente na região
114 sudeste da Bacia do Paraná, considerada a maior Bacia intracratônica da plataforma Sul-
115 americana, com uma área total de aproximadamente 1700.000 km². Engloba regiões do
116 Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, com direção NE-SO e dimensões de aproximadamente
117 1750 km de comprimento e 900 km de largura. No Brasil, ocorre nos estados de Mato Grosso
118 do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em uma
119 área de mais de 1000.000 km² (Milani, 1997).

120 O padrão estrutural mais comum na Bacia do Paraná mostra os sistemas de muro e
121 fossa, com falhamentos de alto ângulo (80 a 90°) como limites. As falhas que determinaram a

122 existência dos sistemas são quase sempre falhamentos antigos do embasamento, reativados
 123 durante e após o preenchimento da Bacia do Paraná. Os falhamentos constituem condutos
 124 para a intrusão de rochas básicas, o que frequentemente afeta a estrutura e a composição
 125 físico-química das camadas de carvão, com intensidades muito variáveis nas diversas jazidas
 126 e em suas porções, em função das posições relativas das intrusões e das camadas (diques ou
 127 soleiras), espessuras e distâncias que as separam (Gomes *et al.*, 1998).
 128



129
 130
 131 Figura 1. Mapa da distribuição das jazidas de carvão nos estados do Rio Grande do Sul e
 132 Santa Catarina, com destaque para a área de estudo, englobando Morungava-Chico Lomã
 133 (modificado de Kalkreuth *et al.*, 2003).

134 *Figure 1. Map of the distribution of coal deposits in the states of Rio Grande do Sul and*
 135 *Santa Catarina, highlighting the area of study, includes Morungava-Chico Lomã (modified*
 136 *Kalkreuth et al., 2003).*

137

138 A Bacia do Paraná representa uma sucessão sedimentar-magmática com idades entre o
139 Neo-ordoviciano (465 Ma) e o Neocretáceo (65 Ma), marcada por ciclos de subsidência e
140 soerguimento, com espessuras da ordem de alguns quilômetros, atingindo até 7000 m no seu
141 depocentro. Esses ciclos estão relacionados ao desenvolvimento de seis Supersequências,
142 limitadas por discordâncias regionais, que compõem o arcabouço estratigráfico da Bacia,
143 denominadas de Supersequência Rio Ivaí; Supersequência Paraná; Supersequência Gondwana
144 I; Supersequência Gondwana II; Supersequência Gondwana III e Supersequência Bauru
145 (Milani, 1997).

146 As Supersequência Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I (portadora das camadas de carvão
147 na Formação Rio Bonito e de folhelho betuminoso na Formação Irati), são representadas por
148 sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivos/regressivos ligados a oscilações do
149 nível relativo do mar durante o Paleozóico (Milani, 2007). Na Supersequência Gondwana I,
150 compreendem componentes dos Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois (Milani, 1997). Os
151 principais depósitos de carvão do Brasil estão inseridos no Grupo Guatá, na Formação Rio
152 Bonito, com início no Sakmariano até o Artinskiano (Milani, 1997).

153 A Formação Rio Bonito é constituída por unidades que foram depositadas em
154 ambiente flúvio-deltaico numa associação de fácies composta por ortoconglomerados e
155 arenitos subarcoseanos, com interflúvios de leitos de carvão descontínuos lateralmente (<0,5
156 m), além de argilitos. As camadas mais espessas de carvão apresentam espessura superior a
157 2,5 m e continuidade lateral regional que alcança distâncias superiores a 40 km, estão
158 associadas a horizontes de arenitos quartzosos e argilitos maciços e laminados. Essas fácies
159 representam ambiente de formação em sistema estuarino de barreira/lagunas com influência
160 de marés e ondas (Ramgrab *et al.*, 2000). No Rio Grande do Sul, a Formação Rio Bonito
161 apresenta em média 70 m podendo alcançar até 120 m (Holz, Vieira & Kalkreuth, 2000).

162 No depósito de Morungava-Chico Lomã ocorrem rochas de idade Permiana
163 provenientes da Formação Rio Bonito com até sete camadas de carvão, das quais destacam-se
164 três: CL2, M/CL6 e, especialmente, a M/CL4. As camadas de carvão em Morungava-Chico
165 Lomã mergulham para nordeste em direção ao depósito de Santa Terezinha. Na porção
166 sudoeste do depósito, as camadas de carvão se encontram em profundidades de 50 m ou
167 menos, na porção central as profundidades variam entre 50 e 300 m, ainda em condições
168 possivelmente econômicas de extração, e na parte centro-norte, sudeste e nordeste as
169 profundidades são iguais ou maiores do que 300 m (Ramgrab *et al.*, 2000).

170 A área de estudos faz parte de um projeto realizado no século passado que incluiu a
171 execução de aproximadamente 80 furos de sondagem pela CPRM, que detém a maioria dos

172 alvarás de pesquisa da região. Os dados dos perfis dessas sondagens mostram a ocorrência das
173 seguintes formações na área: Botucatu, Rio do Rastro, Estrada Nova, Irati, Palermo, Rio
174 Bonito, Itararé. Onde há a ocorrência de areia, solo argiloso, turfa, linhito, carvão, folhelho,
175 siltito, arenito (fino, médio e grosso), lamito, argilito, conglomerado, diamictito, varvito,
176 diabásio, granito (embasamento), marga, calcário, quartzito e gnaisse.

177 No topo da área da jazida Chico Lomã ocorrem depósitos sedimentares relacionados à
178 Bacia de Pelotas, com a presença dos Sistemas Laguna-Barreira I e II (Tomazelli & Villwock,
179 2000). As barreiras costeiras consistem em corpos arenosos alongados e estreitos que separam
180 os sedimentos lagunares dos sedimentos marinhos, podendo conter areias de deposição praial
181 e eólica. Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) foram identificados quatro
182 sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, numerados do mais antigo (Sistema I) para o
183 mais jovem (Sistema IV), ainda ativo (Villwock & Tomazelli, 1995). Os Sistemas Laguna-
184 Barreira I, II e III possuem idade pleistocênica, enquanto o Sistema Laguna-Barreira IV
185 possui idade holocênica.

186 O registro relacionado ao Sistema Laguna-Barreira I é encontrado na porção noroeste
187 da planície costeira, em uma região denominada Coxilha das Lombas. A barreira ocupa uma
188 faixa com orientação NE-SO, com cerca de 150 km de extensão, e largura média entre 5 e 10
189 km. Seu crescimento se deu principalmente a partir da acumulação de sedimentos eólicos que
190 se ancoraram sobre os altos do embasamento (Tomazelli & Villwock, 2000). O Sistema
191 Lagunar I ocupa as terras baixas situadas entre a Barreira I e os terrenos mais antigos,
192 formados principalmente pelas rochas da Bacia do Paraná e pelos terrenos pré-cambrianos da
193 região de Porto Alegre, Viamão e Guaíba. A carga sedimentar trazida pelos rios que
194 drenavam as terras altas adjacentes se acumulou no Sistema Lagunar I gerando fácies
195 associadas a ambientes de sedimentação lagunar, fluvial e paludial. O pacote sedimentar que
196 se acumulou na área originalmente pertencente ao Sistema Lagunar I resultou em depósitos
197 aluviais, lagunares, lacustres e paludiais de diversas idades. Em boa parte da região a sucessão
198 vertical de fácies encerra com espessas camadas de turfa, de idade holocênica.

199 Na parte norte da planície costeira as fácies praias e eólicas da Barreira II ficaram
200 preservadas como um grande pontal arenoso desenvolvido a leste do Sistema Laguna-Barreira
201 I. As fácies acumuladas no Sistema Lagunar II refletem a sedimentação nos ambientes
202 deposicionais que se desenvolveram nesta região de retrobarreira não só durante o tempo em
203 que o Sistema Laguna-Barreira II permaneceu ativo, bem como durante os eventos
204 transgressivos-regressivos posteriores.

205 A jazida Morungava-Chico Lomã possui uma área de aproximadamente 1.200 km²;
206 por se tratar de uma área extensa e por serem compreendidos dentro da jazida dois depósitos
207 distintos, a pesquisa foi dividida em duas áreas: a de Morungava e a de Chico Lomã.

208 A área é contemplada por furos de sondagem realizados pelo NCRGP/UFRGS, em
209 parceria com a empresa Carbonífera Metropolitana, que detém alguns alvarás na área, e
210 receberam a nomenclatura de CBM001-CL-RS (Chico Lomã) e CBM001-MO-RS
211 (Morungava), que contribuíram para pesquisas de análises químicas, petrológicas e o
212 potencial CBM (*Coal Bed Methane*), da qual o NCRGP/UFRGS é pioneiro.

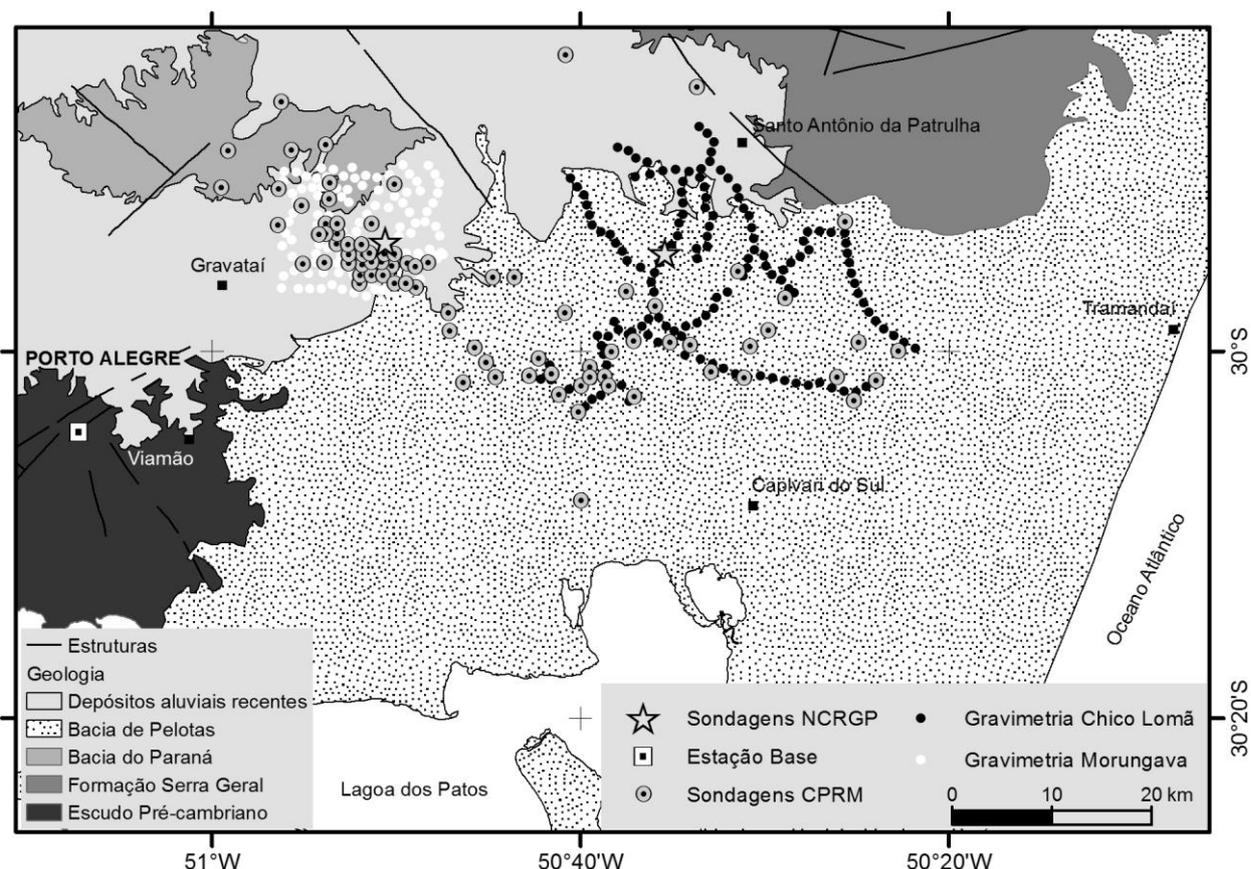
213 A partir dos dados dos perfis dos furos de sondagem, através do software Surfer,
214 foram elaborados mapas onde foram indicadas as ocorrências: somente de carvão; diabásio;
215 carvão e diabásio; e sem ocorrência de carvão ou diabásio. Além disso, foram gerados mapas
216 da espessura cumulativa do carvão e do diabásio para cada uma das áreas: Morungava, na
217 escala 1:100.000, e Chico Lomã, na escala 1:250.000.

218 O método geofísico potencial gravimétrico foi aplicado, em suma, seguindo as
219 seguintes etapas: aquisição em campo, apoiado por um sistema de posicionamento global e
220 leituras na estação base no início e final do dia; correção dos dados e geração dos mapas com
221 anomalia Bouguer; e aplicação de filtros.

222 Inicialmente, foram analisadas as vias de acesso de acordo com a posição dos perfis
223 realizados pela CPRM, com o objetivo de realizar a aquisição gravimétrica nos mesmos
224 pontos dos furos ou próxima a eles. Devido a questões logísticas, à dificuldade de acesso,
225 demanda de tempo, mudança nos acessos (tendo em vista que os furos de sondagem foram
226 realizados nos anos 1970-80), foi definida a realização do levantamento gravimétrico próximo
227 aos furos de sondagem, nas estradas disponíveis, com espaçamento de 1 km entre os pontos.
228 A aquisição mais fiel às coordenadas dos furos foi possível nos locais onde o NCRGP já
229 havia, recentemente, realizado sondagens.

230 Como base foi definida a estação geodésica 8061785/RN3093L do IBGE, localizada
231 no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para o
232 posicionamento foi utilizado o método DGPS (*Differential Global Positioning System*) com
233 um equipamento geodésico de dupla frequência, modelo HIPER LITE da marca japonesa
234 TopCon. Para a aquisição geofísica foi empregado o gravímetro diferencial canadense
235 Autograv CG3, da marca Scintrex. Ambos os equipamentos foram disponibilizados pelo
236 Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da UFRGS. Foram adquiridas 141
237 medidas nos dias 02, 07, 08, 10, 11, 16/10/2013 e 04/12/2013 em Morungava, e 152 medidas
238 nos dias 09, 13, 14/01/2014; 13, 14/03/2014; e 27/05/2014 em Chico Lomã (Fig. 2).

239 Os dados gravimétricos foram processados no software Oasis Montaj, fabricado no
 240 Canadá pela Geosoft, Para processar os dados gravimétricos foi utilizada a extensão
 241 GRAVMAG. Antes que os resultados de um levantamento gravimétrico possam ser
 242 interpretados, é necessário corrigi-los para todas as variações do campo gravitacional da Terra
 243 (Kearey, Brooks & Hill, 2009).
 244



245
 246
 247 Figura 2. Mapa com as principais unidades geológicas presentes na área de estudo, com a
 248 distribuição dos dados gravimétricos adquiridos e dos furos de sondagem disponíveis.
 249 *Figure 2. Map with the main geological units present in the study area, with the distribution*
 250 *of gravimetric data acquired and holes drilling available.*

251
 252 O processo de correção dos dados gravimétricos é conhecido como redução
 253 gravimétrica e inclui as seguintes correções:
 254 - Correção de deriva: a correção para a deriva do instrumento é baseada em leituras em
 255 uma estação base (com valor de gravidade conhecido) no início e ao final das medidas e
 256 posteriormente as medidas de campo são subtraídas desse valor.

257 - Correção de latitude: a gravidade varia com a latitude, por causa da forma não
258 esférica da Terra e pelo fato de a velocidade angular de um ponto sobre a superfície da Terra
259 diminuir a partir de um máximo no equador até zero nos polos. A aceleração centrípeta gerada
260 por essa rotação tem uma componente radial negativa que, como consequência, causa uma
261 diminuição da gravidade dos polos para o equador. A forma verdadeira da Terra é a de um
262 esferoide oblato ou elipsoide achatado nos polos cuja diferença entre os raios equatorial e
263 polar é cerca de 21 km. Consequentemente, os pontos próximos do equador estão mais
264 distantes dentro do centro de massa da Terra que aqueles mais próximos dos polos, causando
265 um aumento da gravidade do equador para os polos.

266 - Correções de elevação: incluem as correções ar livre, Bouguer e de terreno. A
267 correção de ar livre corrige para a diminuição da gravidade com a altura ao ar livre resultante
268 do aumento da distância ao centro da Terra e é positiva para um ponto de observação acima
269 do *datum*, de modo a corrigir para a diminuição da gravidade com a elevação. A correção de
270 ar livre trata somente da variação na distância do ponto de observação e o *datum*. A correção
271 Bouguer representa não só a variação da aceleração da gravidade com a altura (correção de ar
272 livre), mas também as massas presentes entre o ponto de observação e a superfície de
273 referência. Ao aplicar esta correção, a anomalia restante é representativa, sobretudo, de
274 variações de densidade e da espessura da crosta terrestre. A anomalia Bouguer é geralmente
275 negativa remove esse efeito pela aproximação da camada de rocha abaixo do ponto de
276 observação acima do *datum*. Em terra, a correção Bouguer deve ser subtraída, pois a atração
277 gravitacional entre o ponto de observação e o *datum* deve ser removida do valor de gravidade
278 observado. As correções de ar livre e de Bouguer são frequentemente aplicadas juntas, como a
279 correção de elevação combinada. A correção Bouguer faz a suposição de que a topografia ao
280 redor da estação gravimétrica é plana. Raramente esse é o caso, e uma correção posterior, a
281 correção de terreno, deve ser feita para tratar do relevo topográfico nas proximidades da
282 estação gravimétrica, essa correção é sempre positiva, mas onde os efeitos do terreno são
283 consideravelmente menores que a precisão desejada do levantamento, a correção do terreno
284 pode ser ignorada.

285 As medidas de gravidade realizadas nos trabalhos de prospecção podem refletir o
286 somatório do efeito produzido por mais de uma fonte (falhas, arqueamentos, intrusões,
287 irregularidades na superfície do embasamento, corpos mineralizados, afloramentos e
288 variações na espessura de camada de intemperismo). Portanto, antes de se interpretarem os
289 dados gravimétricos devem-se eliminar os efeitos de fontes indesejáveis. Aplicando as
290 técnicas de separação de sinais de frequência diferente (filtragem), é possível separar-se, em

291 parte, o efeito das fontes indesejáveis, a fim de que se possam interpretar somente as fontes
292 procuradas nos levantamentos (Luiz & Silva, 1995).

293 Basicamente, um filtro é um sistema que modifica sinais de entrada em sinais de saída.
294 Os filtros artificiais são em geral usados para separar-se a informação indesejável (ruído) da
295 informação desejável (sinal). Na geofísica a separação sinal-ruído pode ser realizada com base
296 em sua frequência, velocidade, polarização e amplitude. Filtragem com base em frequência é
297 a mais empregada em geofísica. O sucesso desse tipo de filtragem depende do grau de
298 superposição de frequências associadas ao ruído e ao sinal. O filtro digital é representado por
299 um processo computacional ou algoritmo (Luiz & Silva, 1995).

300 Foi aplicado nos mapas de anomalia Bouguer a extensão MAGMAP, que utiliza uma
301 biblioteca de filtros da transformada de Fourier 2D para permitir a aplicação de filtros
302 geofísicos e matemáticos aos dados gridados. Foram obtidos, para cada uma das áreas os
303 mapas residuais: Bouguer sem filtro, filtro gaussiano e filtro 1ª derivada.

304 A filtragem do campo regional resulta na obtenção das anomalias residuais, para isso
305 foi utilizada a filtragem espectral com a remoção dos maiores comprimentos de onda.

306 Os mapas de anomalia Bouguer representam as anomalias regionais gravimétricas de
307 fontes rasas e fontes profundas, onde as anomalias de fontes profundas se sobrepõem às
308 anomalias de fontes rasas. Os mapas anomalias Bouguer sem filtro foram gerados com
309 aplicação da krigagem, também denominado processo gaussiano de regressão. É um método
310 usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. As médias locais não são
311 necessariamente próximas da média da população, utilizam-se apenas os pontos vizinhos para
312 realização da estimativa.

313 O filtro gaussiano também provém da mesma definição do interpolador gaussiano,
314 anteriormente citado, nessa filtragem é possível remover determinados comprimentos de
315 onda. Foram escolhidos, após testes (comprimentos de ondas de 2.000 e 4.000 m), os
316 comprimentos de onda de 4.000 m, que representa o quadruplo da distância de aquisição
317 gravimétrica entre os pontos, que foi de 1.000 m. Com aplicação do filtro gaussiano há a
318 remoção de determinados comprimentos de onda e assim é obtida uma anomalia residual.
319 Desta forma ocorre a remoção da superfície de tendência de primeira ordem, que atenua a
320 influência de fontes de anomalias mais profundas de caráter regional.

321 O filtro de primeira derivada vertical (1ª derivada) da anomalia Bouguer remove a
322 influência dos sinais gravimétricos mais profundos, representando a resposta gravimétrica das
323 rochas mais rasas presentes em subsuperfície.

324

325 **3 Resultados**

326

327 Para cada uma das áreas, Morungava e Chico Lomã, foram elaborados mapas com os
328 dados dos furos de sondagem e da aquisição gravimétrica, obtendo-se como resultados: mapas
329 com a distribuição espacial dos furos de sondagem na área da aquisição gravimétrica, com
330 diferenciação dos furos que contém somente carvão ou diabásio, carvão e diabásio, e sem
331 ocorrência de carvão e nem de diabásio; mapas com aplicação de filtros oriundos da aquisição
332 gravimétrica; e mapas com a espessura cumulativa do carvão e do diabásio.

333

334 *3.1 Morungava*

335

336 Dos 41 furos de sondagem da área Morungava, 38 estão distribuídos no polígono da
337 aquisição gravimétrica, destes, em dois ocorrem somente carvão, em cinco somente diabásio,
338 em 29 carvão e diabásio, e em dois não ocorrem nem carvão e nem diabásio (Fig. 3A).

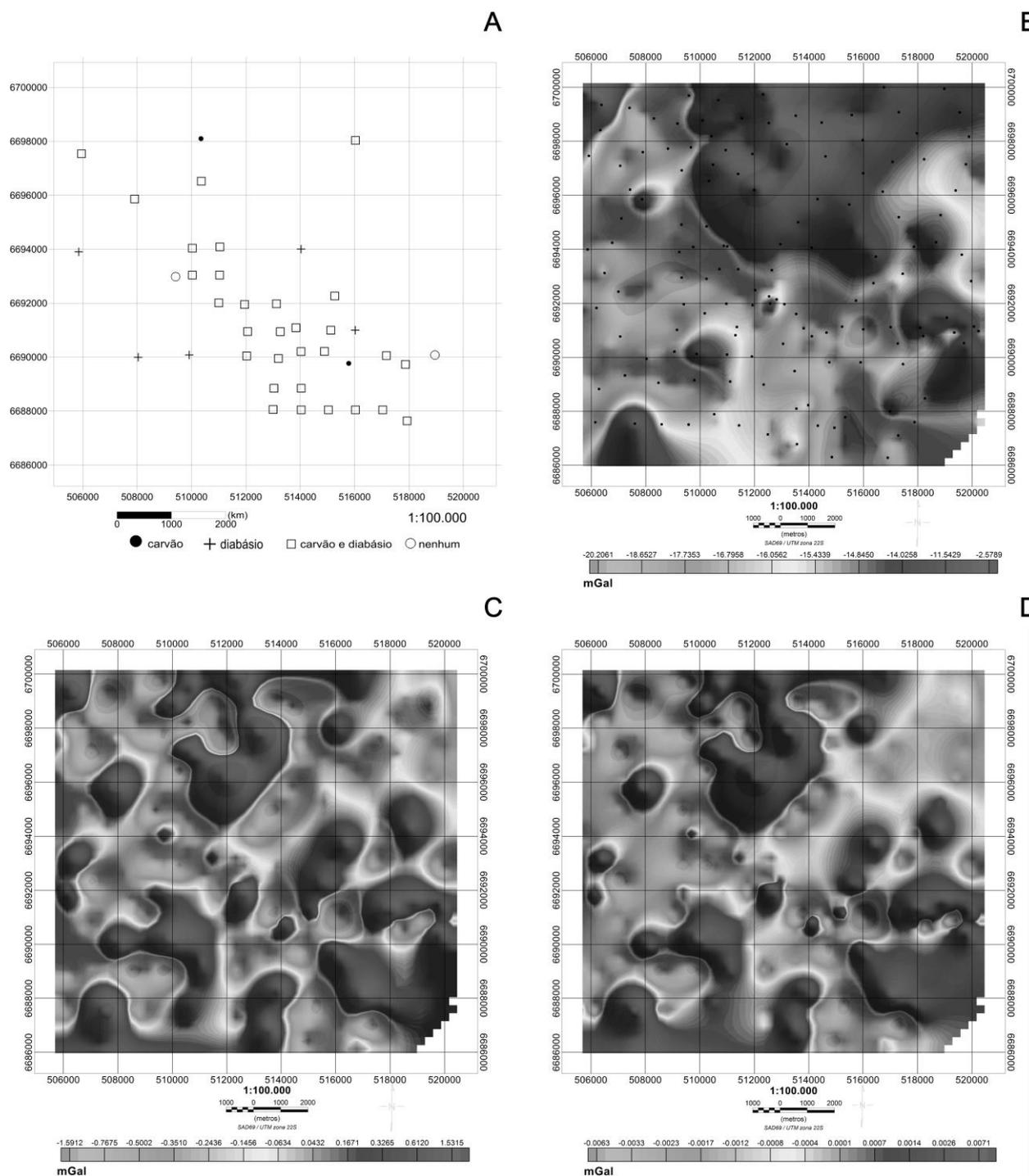
339 No mapa da anomalia Bouguer sem filtro as medidas variam entre -20.1052 e -6.8942
340 mGal. Os tons mais escuros de cinza representam valores altos e estão mais concentrados a
341 norte-nordeste. Os tons mais claros de cinza representam valores baixos e estão concentrados
342 a sudoeste e a sudeste. A geometria das anomalias é esférica e, por vezes, esféricas alongadas
343 e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,2x0,2 km até 4,9x3,7 km, com
344 orientação principal NE-SO (Fig. 3B).

345 No mapa da anomalia Bouguer residual, gerado pela aplicação do filtro gaussiano as
346 medidas variam entre -1.4191 a 1.3684 mGal. Os valores altos estão dispersos, porém
347 identifica-se uma concentração a norte-noroeste. A geometria das anomalias é esférica, por
348 vezes alongadas e/ou achatadas, com dimensão variável de 0,1x0,1 km até 3,6x2,8 km. A
349 orientação predominante das anomalias é NE-SO (Fig. 3C).

350 O mapa da anomalia Bouguer residual gerado pela aplicação do filtro 1ª derivada
351 possui medidas que variam de -0.0173 a 0.0416 mGal. Os valores altos são bastante dispersos,
352 porém um pouco mais concentrados a norte-noroeste. A geometria das anomalias é esférica e,
353 por vezes, esféricas alongadas e/ou achatadas. A dimensão das anomalias varia de 0,1x0,1 km
354 até 3,6x2,8 km e a orientação predominante é NE-SO (Fig. 3D).

355 Em uma análise geral, é observada a predominância da orientação NE-SO nas
356 anomalias gravimétricas da área Morungava.

357



358

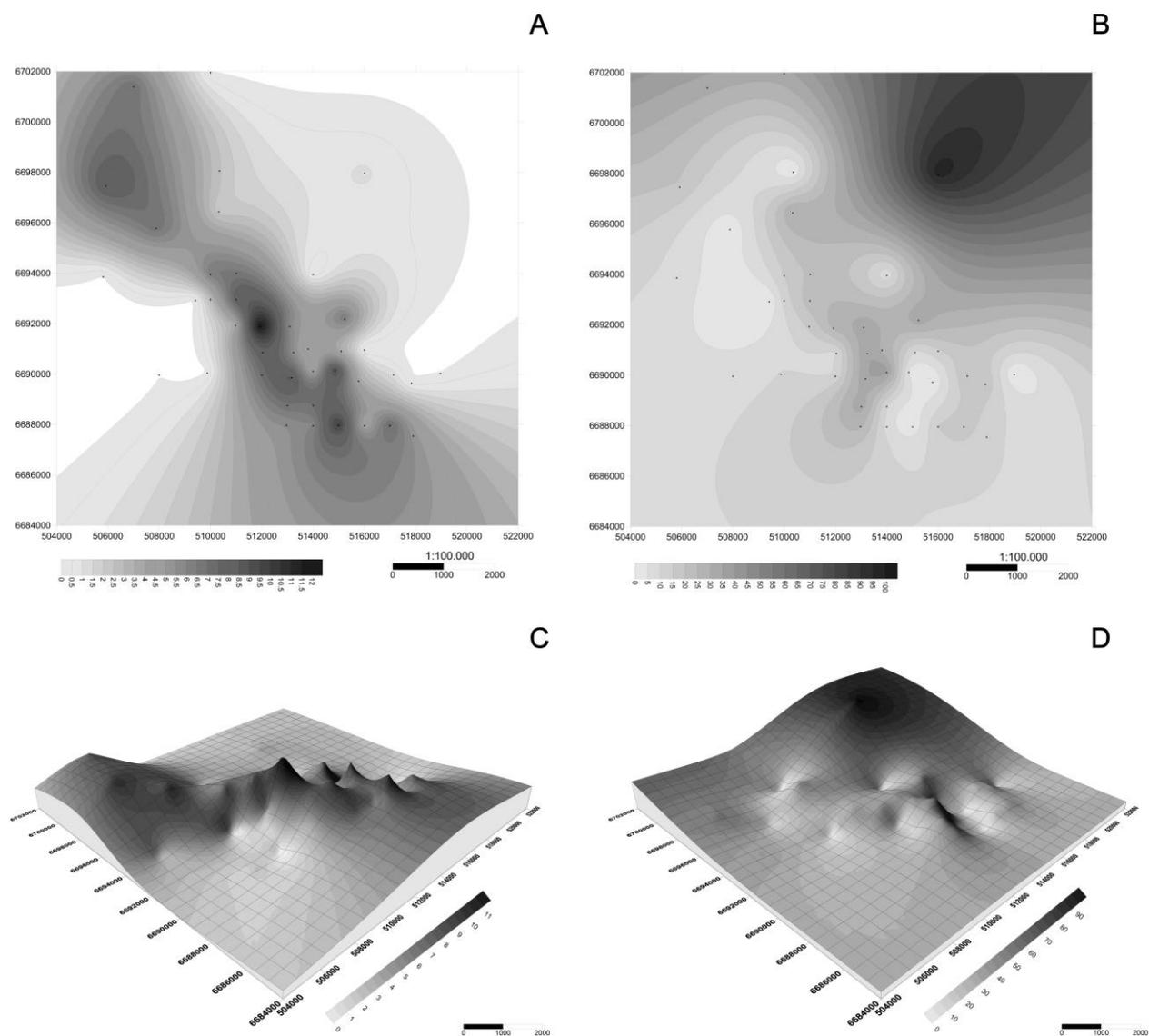
359

360 Figura 3. Mapas de sondagem e gravimetria da área Morungava. A) Sondagens; B) Anomalia
361 Bouguer com localização da aquisição gravimétrica; C) Filtro gaussiano; D) Filtro 1^a
362 derivada.

363 *Figure 3. Drilling maps and gravimetry of Morungava area. A) Drilling; B) Bouguer*
364 *anomaly with location gravimetric acquisition; C) Gaussian filter; D) Filter first derivative.*

365

366 Na área Morungava há disponibilidade de 41 perfis de furos de sondagem (40
 367 provenientes da CPRM e um do NCRGP/UFRGS). Destes 41, em dois ocorre somente
 368 carvão, em nove somente diabásio, em 31 ocorrem carvão e diabásio, e em dois não ocorrem
 369 nem carvão e nem diabásio. A espessura cumulativa do carvão varia entre 0,12 a 12,39 m.
 370 Observa-se que as maiores espessuras ocorrem a noroeste, sudoeste e sudeste, e são zoneadas
 371 por decréscimo de espessura. As menores espessuras ocorrem em duas pequenas áreas a
 372 sudeste (Fig. 4A e 4C). A espessura cumulativa do diabásio varia entre 1,10 a 98,64 m, com
 373 as maiores espessuras concentradas a nordeste (Fig. 4B e 4D).
 374



375
 376
 377 Figura 4. Espessura cumulativa de carvão e diabásio da área Morungava. A) Espessura
 378 cumulativa do carvão com a localização dos furos de sondagem; B) Espessura cumulativa do

379 diabásio com a localização dos furos; C) Ilustração tridimensional da espessura cumulativa do
380 carvão; D) Ilustração tridimensional da espessura cumulativa do diabásio.

381 *Figure 4. Cumulative thickness of coal and diabase of Morungava area A) Cumulative coal*
382 *thickness with the location of the drilling holes; B) Cumulative diabase thickness with the*
383 *location of the drilling holes; C) Three-dimensional illustration of cumulative coal thickness;*
384 *D) Three-dimensional illustration of cumulative diabase thickness.*

385

386 3.2 Chico Lomã

387

388 Dos 41 furos de sondagem da área Chico Lomã, 33 estão distribuídos no polígono da
389 aquisição gravimétrica. Destes, em nove ocorrem somente carvão, em dois somente diabásio,
390 em 19 carvão e diabásio, e em três não ocorrem nem carvão e nem diabásio (Fig. 5A).

391 No mapa da anomalia Bouguer sem filtro as medidas variam entre -27.8016 e -7.3576
392 mGal, com os valores altos concentrados a noroeste e a sudoeste, com orientação NE-SO, e os
393 mais baixos a sudeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas alongadas
394 e/ou achatadas, com dimensão variável de 1x1 km até 7,2x18,4 km (Fig. 5B).

395 O mapa da anomalia Bouguer residual gerado pela aplicação do filtro gaussiano possui
396 medidas que variam entre -1.7554 a 1.4314 mGal. Os valores altos estão concentrados a
397 noroeste e a sudoeste, com orientação NE-SO, enquanto os valores baixos estão bastante
398 dispersos, porém mais concentrados a sudoeste. A geometria das anomalias é esférica, e por
399 vezes esféricas alongadas e/ou achatadas, com dimensão variável entre 0,2x0,2 km e 5,3x18,8
400 km (Fig. 5C).

401 No mapa anomalia da Bouguer residual obtido pelo filtro da 1ª derivada, as medidas
402 variam entre -0.0062 a 0.0069 mGal. Os valores altos estão concentrados a noroeste e a
403 sudoeste, com orientação NE-SO, enquanto os mais baixos são bastante dispersos, porém
404 mais concentrados a sudoeste. A geometria das anomalias é esférica, e por vezes esféricas
405 alongadas e/ou achatadas, com dimensão entre 0,05x0,05 km e 7,2x18,8 km (Fig. 5D).

406 Nos resultados da aquisição gravimétrica é observada uma extensa área com o
407 alinhamento de anomalias de valores altos, formando um *trend* com orientação NE-SO nas
408 anomalias gravimétricas da área Chico Lomã.

409

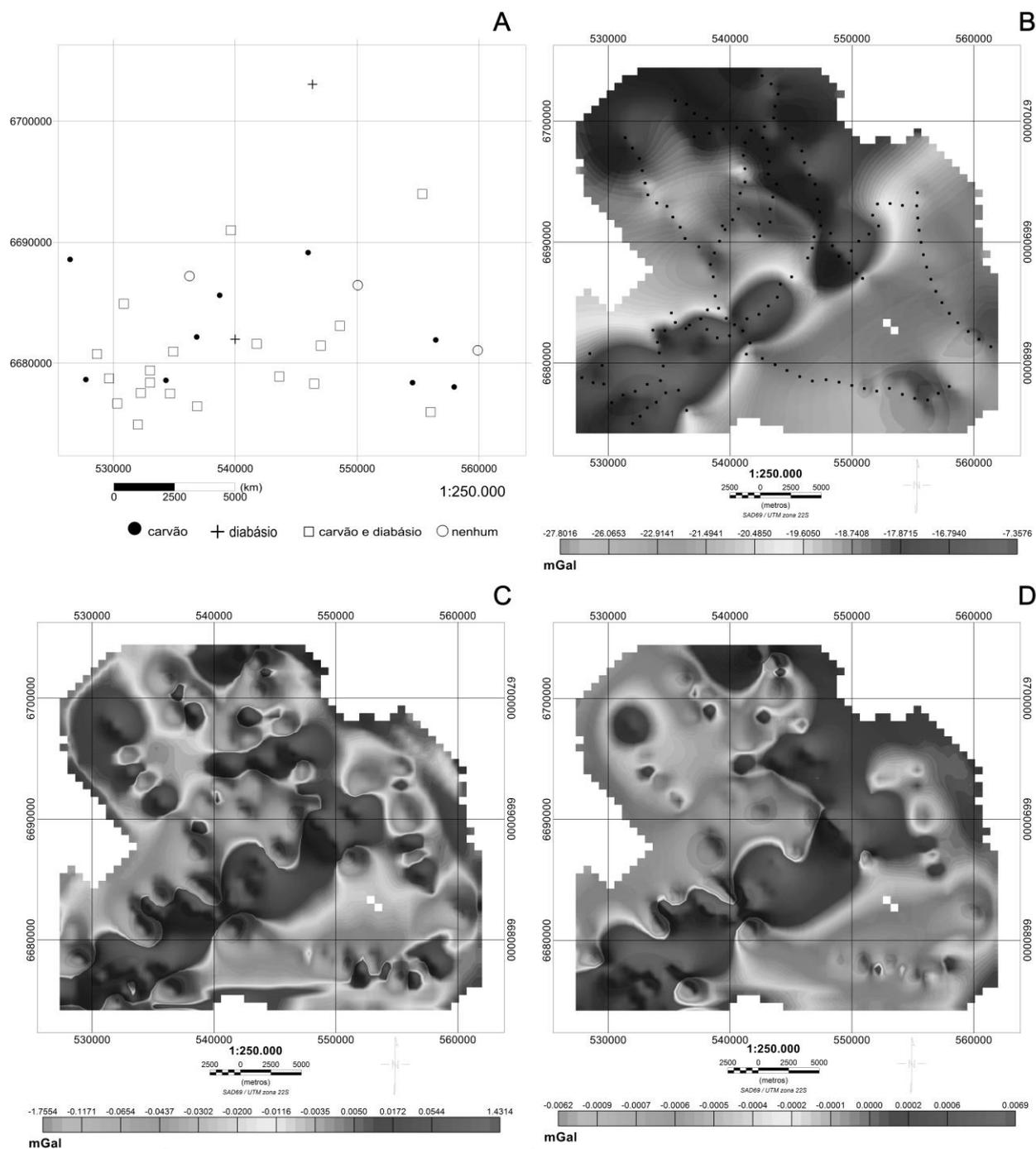
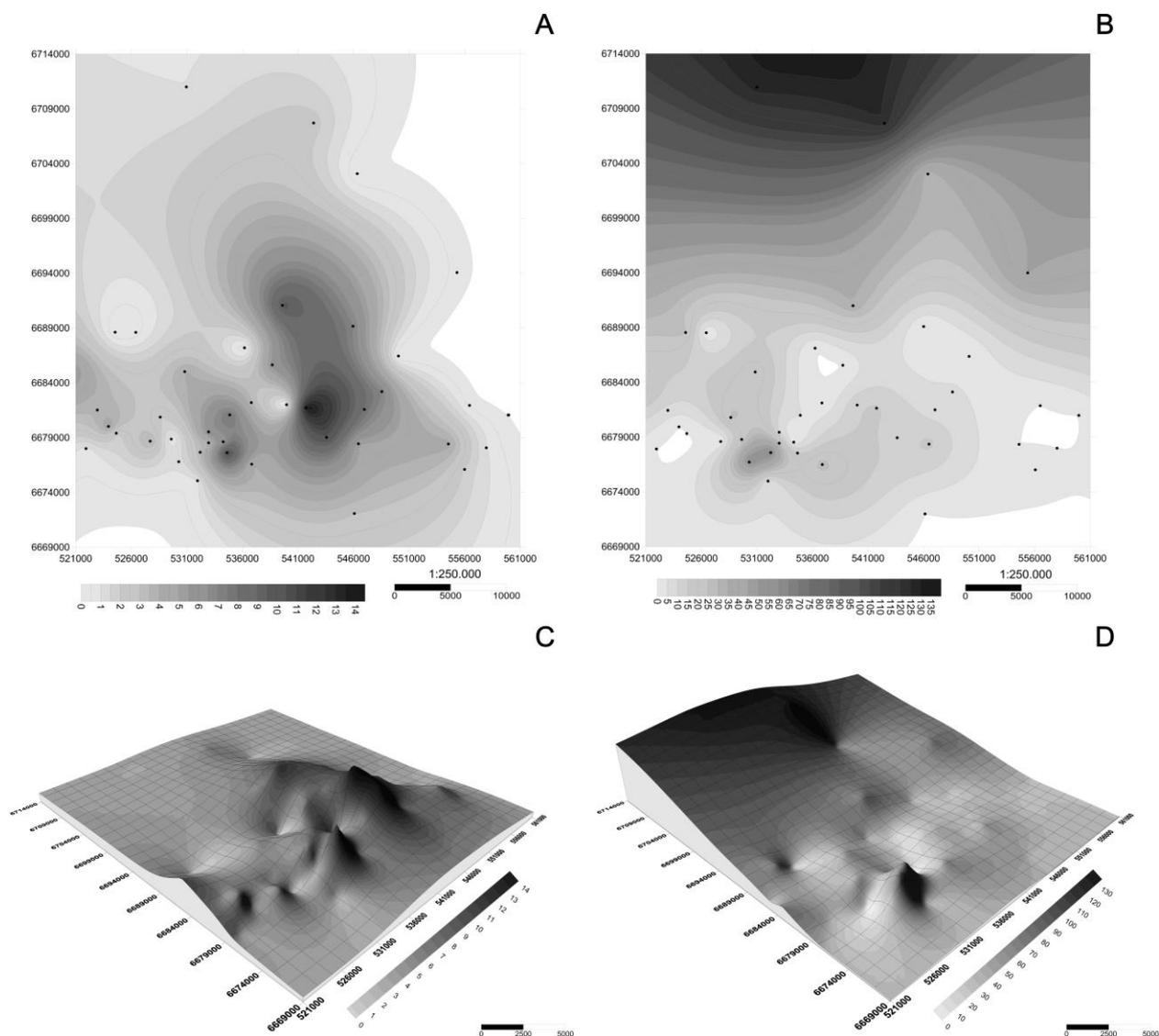


Figura 5. Mapas de sondagens e gravimetria da área Chico Lomã. A) Sondagens; B) Anomalia Bouguer com localização da aquisição gravimétrica; C) Filtro gaussiano; D) Filtro 1ª derivada.

Figure 5. Drilling maps and gravimetry of Chico Lomã area. A) Drilling; B) Bouguer anomaly with location gravimetric acquisition; C) Gaussian filter; D) Filter first derivative.

418 Na área Chico Lomã há disponibilidade de 41 perfis de furos de sondagem (40
 419 provenientes da CPRM e um do NCRGP/UFRGS). Destes 41, em 13 ocorre somente carvão,
 420 em três somente diabásio, em 24 carvão e diabásio, e em três não ocorrem nem carvão e nem
 421 diabásio. A espessura cumulativa do carvão varia entre 0,30 a 14,21 m, com as maiores
 422 espessuras concentradas ao sul e em uma pequena área a sudoeste, zoneadas por decréscimo
 423 progressivo de espessura (Fig. 6A e 6C). Já a espessura cumulativa do diabásio varia entre
 424 2,10 e 127,23 m, podendo-se identificar espessuras progressivamente maiores de sul para
 425 norte (Fig. 6B e 6D).



427
 428
 429 Figura 6. Espessuras cumulativas de carvão e diabásio da área Chico Lomã. A) Espessura
 430 cumulativa do carvão com localização dos furos de sondagem; B) Espessura cumulativa do

431 diabásio com localização dos furos; C) Ilustração tridimensional da espessura cumulativa do
432 carvão; D) Ilustração tridimensional da espessura cumulativa do diabásio.

433 *Figure 6. Cumulative thickness of coal and diabase of Chico Lomã area A) Cumulative coal*
434 *thickness with the location of the drilling holes; B) Cumulative diabase thickness with the*
435 *location of the drilling holes; C) Three-dimensional illustration of cumulative coal thickness;*
436 *D) Three-dimensional illustration of cumulative diabase thickness.*

437

438 **4 Discussão dos resultados**

439

440 Para cada área, Morungava e Chico Lomã, os resultados obtidos através dos dados
441 gravimétricos e dos furos de sondagem foram analisados e correlacionados entre si e com a
442 geologia da área.

443

444 *4.1 Morungava*

445

446 Em Morungava, as sondagens estão mais concentradas na região sudeste, com um
447 alinhamento NO-SE (Fig. 3A), enquanto os pontos de aquisição do mapa gravimétrico (Fig.
448 3B) estão bem distribuídos e em sua maioria com espaçamento constante. Há um predomínio
449 da ocorrência de carvão e diabásio, podendo-se observar uma relação da ocorrência de carvão
450 e diabásio com os altos gravimétricos (Figs. 3B, 3C e 3D). Há, em duas sondagens a sudoeste
451 da área, a ocorrência de diabásio (Fig. 3A) correspondendo a valores elevados no mapa do
452 filtro gaussiano (Fig. 3C) e da 1ª derivada (Fig. 3D).

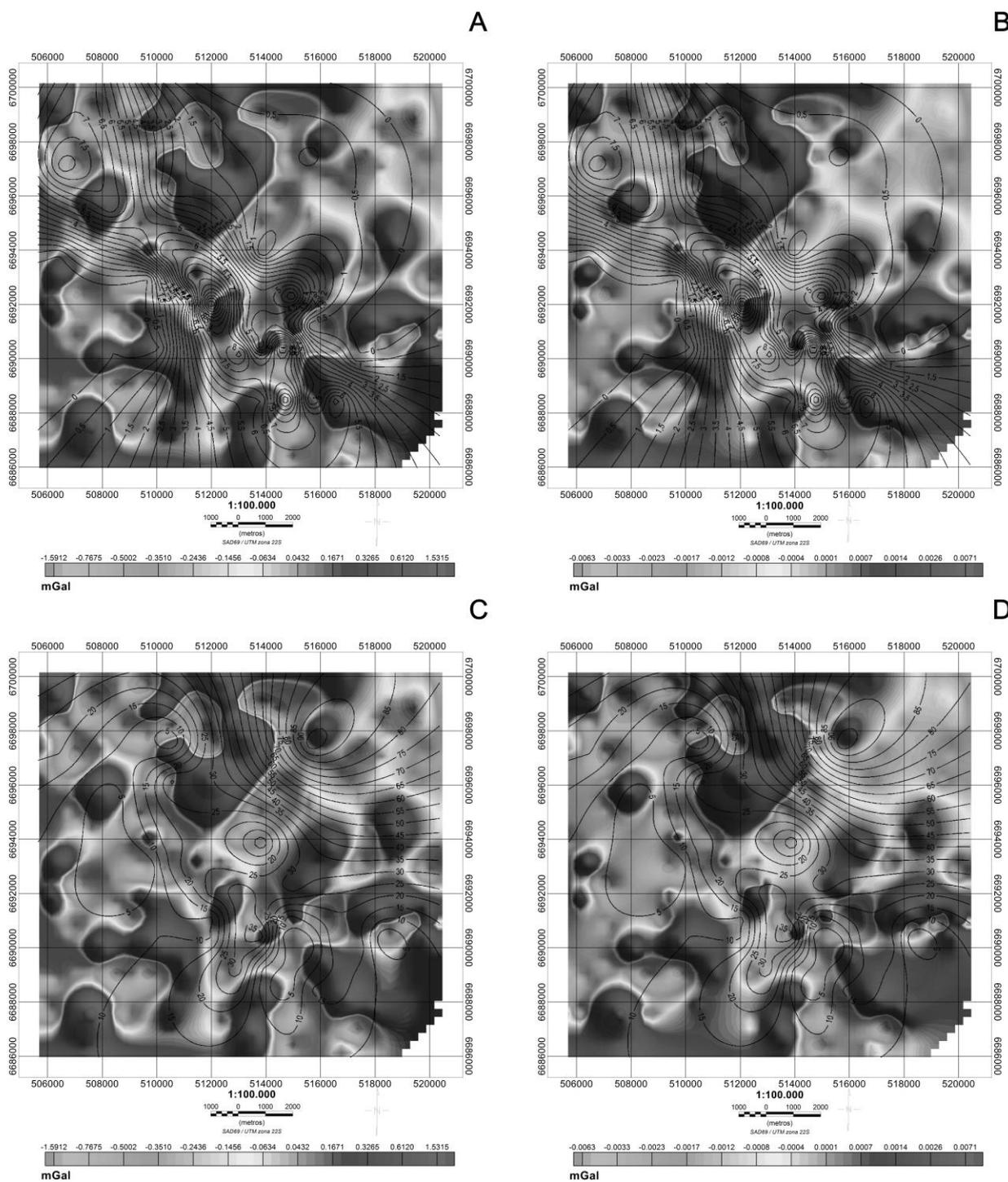
453 No mapa da anomalia Bouguer (Fig. 3B), uma extensa anomalia com valores mais
454 elevados, localizada na porção norte, foi compartimentada em duas anomalias positivas,
455 reveladas após a filtragem. Além desta, outras duas anomalias positivas ocorrem no sul e
456 sudeste (Figs. 3C e 3D). Nos mapas filtrados, observa-se uma clara orientação NO-SE e NE-
457 SO, onde as anomalias possuem bordas definidas. No mapa da 1ª derivada (Fig. 3D), de uma
458 forma geral, há menos áreas com valores elevados em relação ao mapa filtro gaussiano (Fig.
459 3C), além de observar-se uma diminuição na dimensão das anomalias, principalmente a
460 noroeste (Fig. 3D). O filtro gaussiano mostra anomalias provenientes de fontes mais
461 profundas, enquanto o filtro 1ª derivada destaca as de fonte mais rasa. Como houve uma
462 diminuição na ocorrência e na dimensão da área das anomalias no filtro 1ª derivada, é
463 provável que a maioria das anomalias provenha de fontes mais profundas.

464 Ao compararem-se os mapas de espessuras cumulativas, há uma relação inversa entre
465 as maiores espessuras de carvão e de diabásio (Fig. 4). Na área nordeste do mapa da anomalia
466 Bouguer (Fig. 3B), os altos gravimétricos correspondem, de forma geral, à área com maiores
467 espessuras de diabásio (Figs. 4B e 4D). Observa-se que há orientação preferencial das
468 anomalias e que as mesmas são oriundas de fontes rasas e profundas, o que sugere a
469 ocorrência de diques e/ou soleiras, preferencialmente sobre os altos gravimétricos.

470 Para a avaliação das correlações entre a distribuição das espessuras cumulativas de
471 carvão e de diabásio com os mapas de anomalia Bouguer residuais (filtro gaussiano e 1^a
472 derivada) foram elaboradas ilustrações para a área de Morungava com a sobreposição das
473 isolinhas de espessuras cumulativas sob os mapas (Fig. 7). A aquisição gravimétrica
474 corresponde, nos mapas de espessuras cumulativas do carvão e do diabásio, ao polígono com
475 os limites entre as coordenadas UTM 504923 mE a 521208 mE e 6685223 mN a 6700926
476 mN. As seguintes relações foram analisadas: espessura cumulativa do carvão *versus* anomalia
477 Bouguer residual - filtro gaussiano; espessura cumulativa do carvão *versus* anomalia Bouguer
478 residual - filtro 1^a derivada; espessura cumulativa do diabásio *versus* anomalia Bouguer
479 residual - filtro gaussiano; e espessura cumulativa do diabásio *versus* anomalia Bouguer
480 residual - 1^a derivada. As sobreposições elaboradas permitem indicar se áreas com maiores
481 espessuras cumulativas de carvão correspondem a áreas onde ocorrem anomalias negativas de
482 gravidade nos mapas. Outra possibilidade é a indicação de áreas com maiores espessuras
483 cumulativas de diabásio, as quais poderiam ser correlacionadas a áreas onde há ocorrência de
484 anomalias positivas de gravidade.

485 A distribuição dos furos de sondagem na área do polígono da aquisição gravimétrica
486 forma um *trend* de direção NO-SE (Fig. 3A). O mesmo ocorre para a distribuição das
487 concentrações das espessuras cumulativas do carvão, onde se destacam cinco áreas com a
488 ocorrência das maiores espessuras, com uma variação de 6 a 11,5 m. A primeira ocorrência
489 está localizada a sudeste com uma espessura cumulativa do carvão correspondente a 7 m. A
490 próxima área destacada está a oeste da anterior e possui dois picos máximos de espessura de
491 9,5 e 9 m. A terceira área concentrou máximos de 8,5 e 11,5 m e se estende do sul ao centro.
492 A leste da área anterior o carvão atinge uma espessura de 6 m e no extremo noroeste ele
493 atinge 8 m de espessura cumulativa. Mais afastado do *trend* a sudeste do mapa é encontrada
494 uma ocorrência com 1 m de espessura cumulativa de carvão.

495



496

497

498 Figura 7 – Sobreposição área Morungava. A) Espessura cumulativa do carvão *versus* filtro
 499 gaussiano; B) Espessura cumulativa do carvão *versus* filtro 1ª derivada; C) Espessura
 500 cumulativa do diabásio *versus* filtro gaussiano; D) Espessura cumulativa do diabásio *versus*
 501 filtro 1ª derivada.

502 *Figure 7 – Override Morungava area. A) Cumulative coal thickness versus Gaussian filter;*
503 *B) Cumulative coal thickness versus filter first derivative; C) Cumulative diabase thickness*
504 *versus Gaussian filter; D) Cumulative diabase thickness versus filter first derivative.*

505

506 As concentrações de maiores espessuras de carvão podem ser associadas às anomalias
507 gravimétricas negativas nos mapas filtrados, sendo que o filtro da 1ª derivada vertical
508 apresentou melhor correlação devido à dimensão das anomalias positivas terem diminuído em
509 relação ao mapa com o filtro gaussiano. Desta forma, há um posicionamento mais
510 centralizado dos picos com maiores espessuras cumulativas do carvão no mapa da 1ª
511 derivada.

512 Das cinco áreas com concentrações de carvão, três podem ser correlacionadas a áreas
513 com anomalias Bouguer negativas. A área a sudeste, com picos de 9,5 e 9,0 m; a ocorrência
514 que se estende do sul ao centro com picos de 8,5 e 11,5 m; e a do noroeste com 8 m de
515 espessura cumulativa de carvão. Ainda, a ocorrência de 1 m de espessura cumulativa do
516 carvão localizada a sudeste (afastada do *trend*) possui correlação com uma anomalia negativa
517 no mapa do filtro gaussiano.

518 A espessura cumulativa do diabásio é decrescente de nordeste para sudoeste, atingindo
519 uma espessura máxima de 95 m e diminuindo progressivamente até 5 m. Destaca-se, também,
520 uma concentração que se estende do sul ao centro da área com um pico 35 m de espessura. Na
521 Fig. 7 pode ser observada a correlação entre a ocorrência de diabásio com 95 m de espessura
522 cumulativa com uma anomalia positiva em ambos os mapas residuais.

523

524 *4.2 Chico Lomã*

525

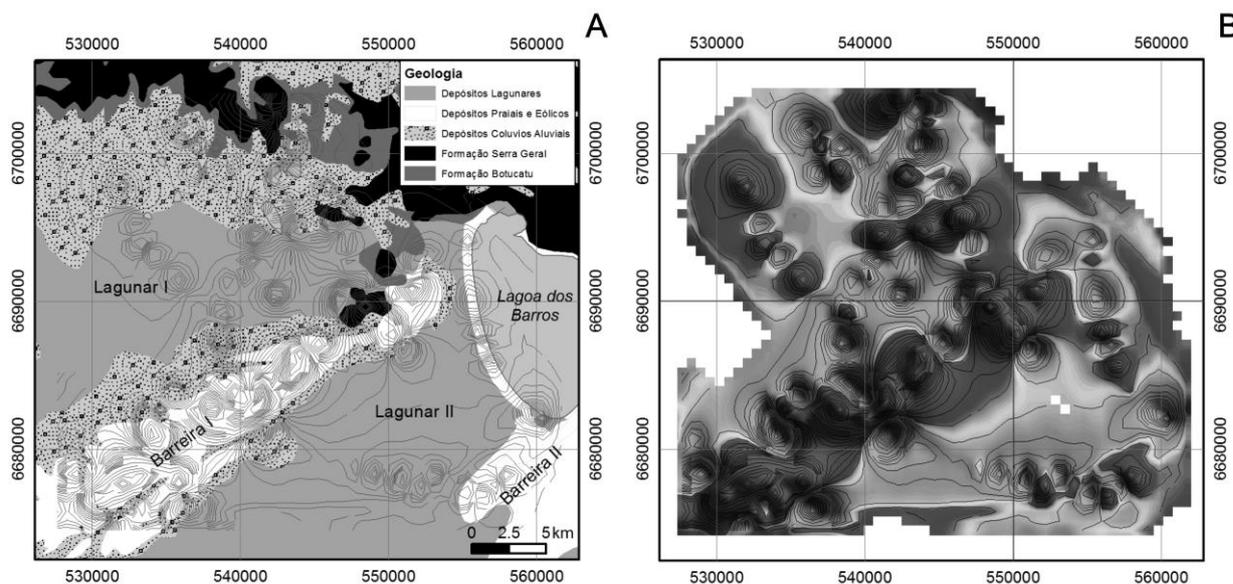
526 Em Chico Lomã, os furos (Fig. 5A) concentram-se a sul, predominando a ocorrência
527 conjunta de carvão e diabásio. Na porção sudoeste, há uma correlação de altos gravimétricos
528 com estas ocorrências (Figs. 5B, 5C e 5D), enquanto na região sudeste a ocorrência de carvão
529 está associada com uma anomalia gravimétrica negativa. Uma anomalia gravimétrica de
530 valores mais altos (tons mais escuros de cinza) ocorre ao longo de uma extensa área com
531 alinhamento NE-SO; um segundo alto gravimétrico é observado na porção noroeste, com
532 alinhamento NO-SE (Fig. 5B). Após a aplicação dos filtros gaussiano e da 1ª derivada, estas
533 anomalias foram desmembradas em anomalias menores, com valores positivos (Figs. 5C e
534 5D).

535 No mapa da 1ª derivada há menos áreas com valores altos e uma diminuição na
536 dimensão das anomalias, principalmente a nordeste e a sudoeste, que no mapa do filtro
537 gaussiano (Figs. 5C e 5D). Porém, no mapa 1ª derivada (Fig. 5D) a anomalia positiva
538 localizada a noroeste teve sua dimensão aumentada e geometria alterada de esférica para
539 esférica alongada, quando comparada ao mapa filtro gaussiano (Fig. 5C). De forma
540 semelhante, uma anomalia localizada no extremo nordeste do *trend* de anomalias positivas
541 com orientação NE-SO possui maior dimensão no mapa 1ª derivada (Figs. 5C e 5D). Como o
542 filtro gaussiano destaca anomalias proveniente de fontes mais profundas, e a nordeste e
543 sudoeste haja uma diminuição das anomalias presentes neste mapa, pode-se interpretar que
544 estas sejam de fontes mais profundas. Por outro lado, nas anomalias do setor noroeste-norte e
545 ao longo do *trend* de anomalias com orientação NE-SO, há um aumento da área das
546 anomalias no mapa 1ª derivada em relação ao mapa gaussiano, indicando que as fontes dessas
547 anomalias sejam de origem mais rasa, mais próxima a subsuperfície.

548 As maiores espessuras cumulativas de carvão ocorrem, em termos gerais, onde há
549 menores espessuras de diabásio (Fig. 6). Na região sudoeste da área ocorrem altos
550 gravimétricos (Figs. 5B, 5C e 5D), os quais correspondem somente a uma área isolada com
551 maiores espessuras de diabásio (Figs. 6B e 6D). Porém, há uma correspondência entre os
552 baixos gravimétricos em ambas as extremidades do *trend* de anomalias NE-SO com menores
553 espessuras de diabásio (Figs. 6B e 6D).

554 Ao comparar os mapas gravimétricos com a geologia da Planície Costeira do Rio
555 Grande do Sul (PCRS) observa-se uma correlação entre as anomalias e as unidades
556 geológicas (Fig. 8). A anomalia gravimétrica positiva, com orientação NE-SO, corresponde à
557 Barreira I, enquanto os baixos gravimétricos a oeste e a leste desta anomalia positiva
558 correspondem aos Sistemas Lagunares I e II, respectivamente. Tais correspondências
559 poderiam indicar que a morfologia do embasamento exerça um controle sobre o
560 posicionamento destas unidades, com baixios relacionados aos sistemas lagunares e uma
561 elevação à barreira. A Barreira I, conhecida na região como “Barreira das Lombas” é uma
562 unidade peculiar da planície costeira do Rio Grande do Sul, devido a sua altimetria
563 (Tomazelli & Villwock, 2000). Com uma extensão de aproximadamente 250 km, largura
564 média de 5 a 10 km e elevações que podem atingir até, aproximadamente, 100 m, é provável
565 que esta barreira seja composta, principalmente, por depósitos eólicos assentados sobre altos
566 do embasamento (Tomazelli & Villwock, 2000). Estes altos são representados por rochas
567 sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná.

568



569

570

571 Figura 8. Correlação entre as anomalias e as unidades geológicas da Planície Costeira do Rio
 572 Grande do Sul (PCRS). A) Sobreposição das isolinhas mapa anomalia Bouguer - filtro
 573 gaussiano versus geologia da PCRS; B) Mapa com isolinhas da anomalia Bouguer - filtro
 574 gaussiano.

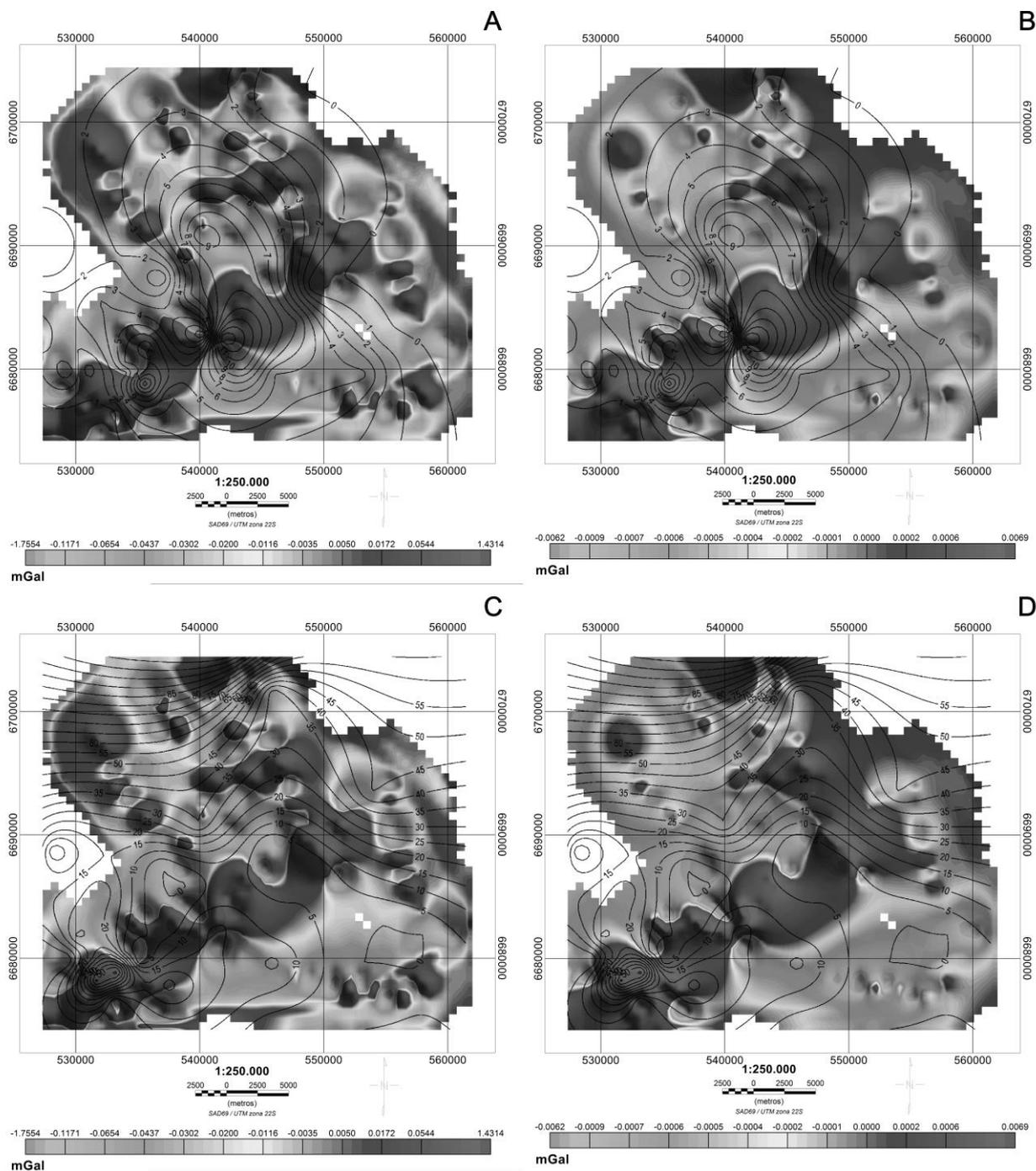
575 *Figure 8. Correlation between the anomalies and geological units of the Coastal Plain of Rio*
 576 *Grande do Sul (PCRS). A) Overriding isolines map Bouguer anomaly – gaussian filter versus*
 577 *PCRS geology; B) Map with isolines of Bouguer anomaly - gaussian filter.*

578

579 No mapa da 1ª derivada há menos áreas com valores altos e uma diminuição na
 580 dimensão das anomalias, principalmente a nordeste e a sudoeste, que no mapa do filtro
 581 gaussiano (Figs. 5C e 5D). Porém, no mapa 1ª derivada (Fig. 5D) a anomalia positiva
 582 localizada a noroeste teve sua dimensão aumenta

583 Na área de Chico Lomã também foram avaliadas as correlações entre a distribuição
 584 das espessuras cumulativas de carvão e diabásio com os mapas de anomalia Bouguer
 585 residuais (filtro gaussiano e 1ª derivada) através da sobreposição das isolinhas de espessuras
 586 cumulativas sob os mapas (Fig. 9). A aquisição gravimétrica corresponde, nos mapas de
 587 espessuras cumulativas do carvão e diabásio, ao polígono com os limites entre as coordenadas
 588 UTM 525477 mE a 563842 mE e 6672368 mN a 6706301 mN. As seguintes relações foram
 589 analisadas: espessura cumulativa do carvão *versus* anomalia Bouguer residual - filtro
 590 gaussiano; espessura cumulativa do carvão *versus* anomalia Bouguer residual - filtro 1ª
 591 derivada; espessura cumulativa do diabásio *versus* anomalia Bouguer residual - filtro

592 gaussiano; e espessura cumulativa do diabásio *versus* anomalia Bouguer residual - 1^a
 593 derivada.
 594



595
 596
 597 Figura 9 – Sobreposição área Chico Lomã. A) Espessura cumulativa do carvão *versus* filtro
 598 gaussiano; B) Espessura cumulativa do carvão *versus* filtro 1^a derivada; C) Espessura
 599 cumulativa do diabásio *versus* filtro gaussiano; D) Espessura cumulativa do diabásio *versus*
 600 filtro 1^a derivada.

601 *Figure 9 – Override Chico Lomã area. A) Cumulative coal thickness versus Gaussian filter;*
602 *B) Cumulative coal thickness versus filter first derivative; C) Cumulative diabase thickness*
603 *versus Gaussian filter; D) Cumulative diabase thickness versus filter first derivative.*

604

605 A concentração de maior espessura cumulativa de carvão pode ser observada nas Figs.
606 6A e 6C, em uma área que se estende de sul a nordeste, com orientação NO-SE, onde a
607 espessura cumulativa do carvão corresponde a 8 m. Nessa área ocorre o aumento progressivo
608 da espessura em duas regiões subordinadas: a primeira ao sul, onde o carvão atinge uma
609 espessura de 13 m, e a segunda a noroeste, onde a espessura atinge 9 m. Essa área apresenta
610 um decréscimo em suas extremidades até chegar ao valor nulo das espessuras. Ao leste, esse
611 decréscimo ocorre de maneira nítida e sem interrupções, porém, a oeste, ocorre uma segunda
612 área com maior espessura e três áreas intercaladas com espessura nula de carvão. A outra área
613 com maior espessura está localizada sudoeste, com orientação N-S, onde a espessura
614 cumulativa do carvão corresponde a 6 m, onde ocorrem picos de 10 e 7 m.

615 A correlação entre as concentrações de carvão e as áreas com anomalias Bouguer
616 negativas ocorre somente na região sudoeste, onde há 8 m de espessura cumulativa de carvão
617 e há uma anomalia negativa no mapa da 1ª derivada vertical. Outra correlação observada nas
618 sobreposições é a sudeste, entre a isolinha de 4,5 m de espessura e uma área de anomalia
619 negativa de gravidade. Para essa área há um aumento na dimensão da anomalia negativa no
620 mapa da 1ª derivada em comparação ao gaussiano.

621 As maiores espessuras de diabásio podem ser compartimentadas em duas áreas: uma
622 localizada ao norte a outra ao sul no polígono. Ao norte, na região noroeste há a ocorrência de
623 espessura cumulativa máxima do diabásio de 110 m, com o decréscimo progressivo no
624 sentido sul. Ao nordeste é encontrada uma espessura cumulativa de diabásio de 60 m com o
625 mesmo comportamento de decréscimo progressivo nos sentidos sul e noroeste. A partir da
626 espessura de 60 m de diabásio há um decréscimo progressivo das espessuras de diabásio,
627 atingindo espessuras entre 25 e 30 m.

628 Ao sul destacam-se duas áreas onde são observadas correlações entre os mapas: na
629 região sudeste, onde a espessura cumulativa do carvão é pouco representativa,
630 compreendendo uma extensa área com um máximo de 5 m de espessura e ocorrência de um
631 pico de 15 m; na região sudoeste, onde ocorrem espessuras cumulativas de diabásio no
632 extremo sudoeste com dois máximos de 30 e um de 55 m. Para ambas as áreas, além da
633 observação da relação entre espessuras cumulativas do carvão com anomalias negativas e de
634 espessuras cumulativas do diabásio com anomalias positivas, pode ser observado o

635 comportamento nos diferentes filtros. Essa observação é necessária visto que o filtro
636 gaussiano revela anomalias mais profundas, enquanto a 1ª derivada vertical revela anomalias
637 mais rasas.

638 Tendo em vista que anomalias positivas possuem correlação com a ocorrência de
639 diabásio, a sua identificação auxilia no mapeamento da distribuição de intrusões ígneas. O
640 nível de carbonificação pode ser anormalmente alto próximo a corpos magmáticos e a
641 ocorrência dessas intrusões tanto em um folhelho, como no carvão, afeta o nível de
642 maturação, notados através da alteração dos valores da refletância da vitrinita próxima a
643 corpos intrusivos (Bartenstein & Teichmüller, 1974; Kern, 2002; Kalkreuth *et al.* 2003;
644 Levandowski, 2013).

645 As temperaturas associadas às rochas ígneas são estimadas entre 700 a 1200 °C
646 (Vasconcelos *et al.*, 2003) e as distâncias relatadas de rochas afetadas termicamente em
647 contato com as intrusões são de 6,5 a 19,5 m (Anjos & Guimarães, 2003; Souza, Mendonça
648 Filho & Menezes, 2008). Este efeito é gerado devido à espessura da rocha ígnea, à
649 temperatura do corpo ígneo, à profundidade de ocorrência da intrusão e à condutividade
650 térmica de rochas sobrejacentes (Corrêa, 2007).

651 Relatórios da CPRM indicam a presença de soleiras, corpos de diabásio, falhas,
652 derrames basálticos, intrusões de diabásio e afloramento de diabásio na área da jazida
653 Morungava-Chico Lomã (CPRM, 1978, 1980, 1981, 1983, 1984). Em furos de sondagem
654 realizados pela CPRM há relatos de camadas de carvão destruídas e afetadas por intrusões de
655 diabásio, comprometendo o valor econômico do carvão. Em campanhas geofísicas foi relatada
656 a interferência das intrusões na aquisição de dados de resistividade elétrica (alta resistividade
657 do diabásio) e de dados sísmicos (definição de refletores), comprometendo a qualidade dos
658 dados (CPRM, 1978, 1984). Os relatórios também sugerem que o comportamento estrutural
659 da área segue as orientações NE-SO e NO-SE, os quais podem ser observados pela orientação
660 preferencial das anomalias gravimétricas identificadas no presente estudo.

661 Estudos anteriores indicam como as intrusões podem interferir no nível de maturação.
662 Em escala regional, foi observado no oeste da Alemanha um padrão concêntrico em um mapa
663 com isolinhas de refletância da vitrinita, obtido através da análise de matéria orgânica
664 dispersa. Este padrão foi interpretado como sendo causado por uma grande massa intrusiva,
665 posteriormente identificada como um batólito. As isolinhas de refletância da vitrinita
666 indicaram que a carbonificação aumenta de hulha betuminosa na margem do corpo intrusivo
667 para antracito na região superior da intrusão (Bartenstein, Teichmüller & Teichmüller, 1974).

668 A alteração dos valores da refletância da vitrinita no carvão, próximo a intrusões
669 também foi estudada no nordeste da Inglaterra, em carvões adjacentes a uma soleira (*sill*). Foi
670 constatado que as vitrinitas termicamente metamorfozadas refletem a mudança no *rank* antes e
671 depois da intrusão. Como resultado da ocorrência da intrusão e do fluxo de calor elevado, os
672 estratos adjacentes foram mais metamorfozados e localmente houve a formação de grafite
673 junto ao contato da soleira (Bartenstein & Teichmüller, 1974).

674 Na área de estudo, o primeiro trabalho regional sobre variações na refletância vitrinita
675 e a alteração térmica da matéria orgânica em contato com rochas ígneas nas jazidas
676 Morungava-Chico Lomã e Santa Terezinha foi publicado por Kern (2002) e Kalkreuth *et al.*
677 (2003). A refletância da vitrinita aumenta de oeste para o leste; em camadas não afetadas o
678 carvão foi caracterizado como alto betuminoso volátil. Nos furos de sondagem, onde o carvão
679 foi localmente afetado pelo contato das intrusões, a refletância da vitrinita atinge valores
680 maiores que 5.0 Rrandom % (meta antracito).

681 Em 2013 foi publicada a tese de doutorado de Levandowski (2013) realizada na área
682 de Chico Lomã. Na pesquisa foi gerado um modelo geológico 3D para calcular o volume de
683 carvão na jazida, seguido por uma avaliação do volume de gás associado com carvão. Os
684 resultados indicaram uma espessura cumulativa de 11,46 m de carvão no furo de sondagem,
685 denominado CBM 001-CL-RS, associado a uma intrusão ígnea com 11 m de espessura. As
686 análises mostraram um aumento na refletância da vitrinita na zona de contato, transformando
687 parcialmente carvão em coque natural em distâncias menores que 2 m da intrusão, o que
688 gerou aumento do *rank* em direção ao diabásio.

689

690 **5 Conclusões**

691

692 Os mapas de anomalia Bouguer filtrados, aliados à sobreposição das isolinhas de
693 espessura cumulativa do carvão e do diabásio, apresentaram interessantes correlações e
694 auxiliaram a interpretar os dados gravimétricos (Figs. 7 e 9), tendo em vista que na grande
695 maioria dos furos de sondagem há a ocorrência conjunta de carvão e diabásio (Figs. 3A e 5A).

696 Embora a aquisição gravimétrica tenha sido dividida em duas áreas com diferentes
697 escalas e diferentes malhas, a escolha dos filtros propiciou a diferenciação entre anomalias de
698 fontes mais profundas e mais rasas. Em ambas as áreas, a orientação preferencial
699 predominante das anomalias observada foi NE-SW, proveniente tanto de fontes rasas, quanto
700 profundas. Além desta, observa-se também a ocorrência de alinhamentos com direção NW-

701 SE. A orientação preferencial das anomalias sugere um controle estrutural sobre a ocorrência
702 de diques e/ou soleiras, posicionados preferencialmente sobre os altos gravimétricos.

703 Na área do depósito de Morungava, a espessura cumulativa do carvão variou de 0,12 a
704 12,39 m, e a espessura cumulativa do diabásio de 1,10 a 98,64 m. Houve uma relação inversa
705 entre a localização das maiores espessuras de carvão e diabásio (Fig. 4). Oito locais na área de
706 Morungava com as maiores espessuras cumulativas do carvão correspondem a sondagens
707 com ocorrência conjunta de carvão e diabásio; destas, quatro apresentaram correspondência
708 com baixos gravimétricos e podem ser associadas a anomalias negativas no mapa da 1ª
709 derivada (Fig. 7B). O filtro 1ª derivada apresentou melhor correlação em relação ao gaussiano
710 devido à dimensão das anomalias positivas terem diminuído, propiciando um posicionamento
711 mais centralizado dos picos de maiores espessuras de carvão, o que sugere que essas
712 anomalias são provenientes de fontes mais rasas.

713 Em Morungava, um dos locais com maiores espessuras cumulativas do diabásio
714 apresentou correspondência com uma anomalia gravimétrica positiva (Figs. 7C e 7D). Apesar
715 de haver uma localização similar da anomalia positiva em ambos os mapas residuais, o filtro
716 gaussiano apresentou melhor correlação em relação ao 1ª derivada, devido ao aumento da
717 dimensão das anomalias positivas onde a espessura cumulativa de diabásio é de 95 m. Na Fig.
718 3A, a sudoeste, dois furos de sondagem possuem ocorrência de diabásio, os quais são
719 relacionáveis a espessuras cumulativas entre 10 e 15 m (Figs. 7C e 7 D).

720 Ainda que tenham sido observadas correlações, estas não ocorrem em toda a área de
721 Morungava, o que pode ser atribuído à distribuição dos furos de sondagem em relação à
722 aquisição gravimétrica. Enquanto as sondagens estão limitadas a um *trend* com orientação
723 NW-SE (Fig. 3A), os altos gravimétricos ocorrem de forma dispersa no polígono da área (Fig.
724 3B).

725 Na área do depósito de Chico Lomã, a espessura cumulativa do carvão variou de 0,30
726 a 12,21 m, enquanto a espessura cumulativa do diabásio possui entre 2,10 e 127,23 m. Em
727 termos gerais, onde há maiores espessuras de carvão, também ocorrem as menores espessuras
728 de diabásio (Fig. 6). Em áreas onde são encontradas as maiores espessuras cumulativas do
729 carvão, há ocorrência conjunta de carvão e diabásio; destas, duas apresentaram
730 correspondência com baixos gravimétricos e podem ser associadas a anomalias negativas no
731 mapa da 1ª derivada (Fig. 9B). Novamente, o filtro 1ª derivada apresentou melhor correlação
732 com a posição das espessuras cumulativas, quando comparado ao gaussiano, devido à
733 dimensão das anomalias positivas terem diminuído, propiciando um posicionamento mais

734 centralizado dos picos de maiores espessuras de carvão, o que sugere que essas anomalias são
735 provenientes de fontes mais rasas.

736 Dentre os seis locais de maiores espessuras cumulativas do diabásio, quatro
737 apresentam correspondência com anomalias gravimétricas positivas (Figs. 9C e 9D). Um pico
738 a noroeste apresentou melhor correlação com o mapa gaussiano, em relação ao 1ª derivada,
739 onde a espessura cumulativa de diabásio é de 110 m. Já nos picos a nordeste (60 m) e a
740 sudoeste (30 e 55 m), o mapa da 1ª derivada apresentou um posicionamento mais centralizado
741 de forma que a melhor correlação indica que essas anomalias são provenientes de fontes mais
742 rasas.

743 Na área de Chico Lomã, foram obtidas melhores correlações que na área de
744 Morungava. Ainda assim, a limitação em algumas correlações pode ser, novamente, atribuída
745 à distribuição dos furos de sondagem que ficaram limitadas à região sul do polígono da
746 aquisição gravimétrica (Fig. 5A). Outra limitação pode ser relacionada à malha de aquisição
747 que, por questões logísticas, contemplou estradas vicinais e gerou uma distribuição
748 heterogênea, com espaçamento nem sempre regular dos pontos medidos (Fig. 5B).

749 Em Chico Lomã, a ocorrência de uma extensa anomalia Bouguer positiva forma um
750 *trend* de orientação NE-SW (Fig. 5), a qual pode ser correlacionada com o controle do
751 embasamento sobre unidades geológicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Figs. 2 e
752 8). Altos gravimétricos (*trend* NE-SW) caracterizaram a Barreira I, enquanto baixos
753 gravimétricos, ao oeste e ao leste do *trend*, estão posicionados junto aos Sistemas Lagunares I
754 e II respectivamente. Essa relação sugere um controle morfológico exercido por altos do
755 embasamento sob a ocorrência de depósitos eólicos da Barreira I (Barreira das Lombas), e de
756 baixios relacionados ao posicionamento dos sistemas lagunares.

757 A Jazida Morungava-Chico Lomã, descoberta nos anos 1970, está localizada na região
758 sul, de onde provêm 89% das reservas de carvão do país. Embora nunca minerada, a jazida
759 representa uma potencial fonte para termelétricas e indústria metalúrgica, já que em Chico
760 Lomã há ocorrência de carvão coqueificável. No presente estudo, o método gravimétrico se
761 mostrou eficaz para a caracterização da jazida, por meio da correlação de anomalias
762 gravimétricas positivas com a ocorrência de diabásio, que indica a distribuição de intrusões
763 ígneas. Essas intrusões afetam o nível de maturação do carvão, atribuído pelo grau de
764 carbonificação (*rank*) e determinado através da alteração dos valores da refletância da vitrinita
765 (Kern, 2002; Kalkreuth *et al.*, 2003, Levandowski, 2013). Desta forma, a geofísica é uma
766 ferramenta não evasiva, que deve ser utilizada como parâmetro inicial de avaliação de áreas

767 promissoras, visto que intrusões sob e/ou próximas às camadas de carvão comprometem o seu
768 valor econômico.

769

770 Agradecimentos. Os autores agradecem ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobrás
771 (PRH-PB 215), pela bolsa de mestrado da 1ª autora e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do
772 Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo auxílio financeiro (PRONEX 10/0025-9).

773

774

775 **Referências bibliográficas**

776

777 Anjos, C. W. D. & Guimarães, E. M. 2008. Metamorfismo de Contato nas Rochas da
778 Formação Irati (Permiano), Norte da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de*
779 *Geociências*, 4(38): 629-641.

780 Bartenstein, H., Teichmüller M. & Teichmüller R. 1971. *Die Umwandlung der organischen*
781 *Substanz im Dach des Bramscher Massivs. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf*, 18, p.
782 501-538.

783 Bartenstein, H. & T Teichmüller, R. 1974. *Inkohlungsutersuchungen, ein Schlüssel zur*
784 *Prospektierung von Paläozoischen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten? Fortschr. Geol.*
785 *Rheinld. u. Westf.*, 24, p. 129-160.

786 Corrêa, L. 2007. *Avaliação de Efeito Térmico das Soleiras nas Rochas Geradoras da*
787 *Formação Irati através de Técnicas de Modelagem Numérica*. Rio de Janeiro, 96 f.
788 Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de
789 Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

790 CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 1978. *Projeto Geofísica Terrestre para*
791 *o Carvão em SC e RS*. Porto Alegre: CPRM, 2 v.

792 CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 1980. *Projeto Torres – Gravataí –*
793 *Relatório Bloco Banhado Grande*. Porto Alegre: CPRM, 4 v.

794 CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 1981. *Projeto Torres – Gravataí –*
795 *Relatório Bloco Banhado dos Touros*. Porto Alegre: CPRM, 3 v.

796 CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 1983. *Projeto Torres – Gravataí –*
797 *Relatório Bloco Banhado dos Pachecos*. Porto Alegre: CPRM, 3 v.

798 CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 1984. *Projeto Torres – Gravataí – Área*
799 *C – Sísmica de Alta Resolução*. Porto Alegre: CPRM, 4 v.

800 DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. 2015. *Sumário Mineral*. Brasília:
801 DNPM, v. 35, 135 p. Disponível em:

- 802 <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>>. Acesso em: 30
803 jun. 2016.
- 804 Gomes, A. P. *et al.* 1998. Carvão Fóssil. *Estudos Avançados*, 12(33): 89-106.
- 805 Holz, M., Vieira, P. E. & Kalkreuth, W. 2000. The Early Permian Coal-bearing Sucession of
806 the Paraná Basins in Southernmost Brazil: Depositional Model and Sequence
807 Stratigraphy. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3): 425-426.
- 808 IEO. International Energy Outlook. 2016. *International Energy Outlook: With Projections to*
809 *2040*. Washington: IEO, 291 p. Disponível em: <www.eia.gov/forecasts/ieo>. Acesso
810 em: 30 jun. 2016.
- 811 ISO 1176. International Organization for Standardization. 2005. ISO 1176: *Classification of*
812 *Coals*. Geneva: ISO, 1. ed., 9 p.
- 813 Kalkreuth, W. *et al.* 2003. The Coalbed Methane Potential of the Paraná Basin, Brazil. *In:*
814 CONGRESSO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...*
815 Rio de Janeiro: UFRJ. 1 CD-ROM.
- 816 Kalkreuth, W. *et al.* 2008. O Potencial de Coalbed Methane (CBM) na Jazida da Santa
817 Terezinha-Modelagem 3D e Avaliação do Poço de Exploração CBM001-ST-RS.
818 *Revista Brasileira de Geociências*, 2(38): 3-17.
- 819 Kalkreuth, W. *et al.* 2013. The Coalbed Methane (CBM) Potential and CO₂ Storage Capacity
820 of the Santa Terezinha Coalfield, Paraná Basin, Brazil - 3D Modelling, and Coal and
821 Carbonaceous Shale Characteristics and Related Desorption and Adsorption
822 Capacities in Samples from Exploration Borehole CBM001-ST-RS. *Energy,*
823 *Exploration & Exploitation*, 31(4): 485-528.
- 824 Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2009. *Geofísica de Exploração*. São Paulo: Oficina de
825 Textos, 438 p.
- 826 Kern, M. 2002. *Avaliação do Potencial Gerador de Metano das Jazidas de Chico Lomã e*
827 *Santa Terezinha, Nordeste do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 183 f. Dissertação de
828 Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências,
829 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 830 Levandowski, J. H. 2013. *Características Petrográficas e Geoquímicas das Camadas de*
831 *Carvão do Poço CBM 001-CL-RS, Jazida Chico Lomã, e sua Relação com Coalbed*
832 *Methane Associado*. Porto Alegre, 170 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós
833 Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio
834 Grande do Sul.
- 835 Luiz, J. G. & Silva, L. M. C. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Belém: Cejup, v. 1, 311 p.

- 836 Milani, E. J. et al. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2): 265-
837 287.
- 838 Milani, E. J. 1997. *Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu*
839 *Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica da Gondwana Sul-Occidental*. 1997.
840 Porto Alegre, 2 v. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geociências,
841 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 842 Ramgrab, G. E. et al. 2000. Principais Recursos Minerais do Rio Grande do Sul. In: HOLZ,
843 M. & DE ROS, L. F. (Ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre:
844 CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 407-445.
- 845 Souza, I., Mendonça Filho, J. & Menezes, T. 2008. Avaliação de Efeito Térmico das
846 Intrusivas Ígneas em um Horizonte Potencialmente Gerador da Bacia do Paraná:
847 Formação Irati. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2): 138-148.
- 848 Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da
849 Planície Costeira. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (Ed.). *Geologia do Rio Grande do*
850 *Sul*. Porto Alegre: CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 375-406.
- 851 Vasconcelos, E. et al. 2003. Estudo Petrográfico e Geoquímico de Sills Encaixadas nas
852 Rochas Sedimentares da Formação Irati no Estado do PR. In: CONGRESSO
853 BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. *Anais...* Belém: UFPA, v. 1, p. 642 -
854 644.
- 855 Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J. 1995. *Geologia Costeira do Rio Grande do Sul*. Porto
856 Alegre: Notas Técnicas do CECO, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
857 Rio Grande do Sul, n. 8, 45 p.

REFERÊNCIAS (Capítulo 1 ao 4)

ABOARRAGE, A.M.; LOPES, R.C. **Projeto A Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica**. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1986. 18v. (Inédito).

ANJOS, C. W. D.; GUIMARÃES, E. M. Metamorfismo de Contato nas Rochas da Formação Irati (Permiano), Norte da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 4, n. 38, p.629-641, dez. 2008. Trimestral.

ARAÚJO, C. V.; SILVA, Z. C. C.; RODRIGUES, R. Petrographic and Geochemical Study of Coals from the Santa Terezinha Coalfield, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Latinoamericana de Geoquímica Orgânica**, Caracas, v. 1, n. 1, p.28-45, 1995. Anual.

BARTENSTEIN, H.; TEICHMÜLLER M.; TEICHMÜLLER R. **Die Umwandlung der organischen Substanz im Dach des Bramscher Massivs**. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.,1971. 18, 501-538 p.

BARTENSTEIN, H.; TEICHMÜLLER, R. **Inkohlungsuntersuchungen, ein Schlüssel zur Prospektierung von Paläozoischen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten?** Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.,1974. 24, 129-160 p.

CORRÊA, L. **Avaliação de Efeito Térmico das Soleiras nas Rochas Geradoras da Formação Irati Através de Técnicas de Modelagem Numérica**. 2007. 96 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 738 p.

HOLZ, M.; VIEIRA, P. E.; KALKREUTH, W. The Early Permian Coal-bearing Succession of the Paraná Basins in Southernmost Brazil: Depositional Model and Sequence Stratigraphy. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p.425-426, set. 2000. Trimestral.

KALKREUTH, W. *et al.* The coalbed methane (CBM) potential and CO₂ storage capacity of the Santa Terezinha Coalfield, Paraná Basin, Brazil - 3D modelling, and coal and carbonaceous shale characteristics and related desorption and adsorption capacities in samples from exploration borehole CBM001-ST-RS. **Energy, Exploration & Exploitation**, [s.l.], v. 31, n. 4, p.485-528, ago. 2013.

KALKREUTH, W. *et al.* O Potencial de Coalbed Methane (CBM) na Jazida da Santa Terezinha - Modelagem 3D e Avaliação do Poço de Exploração CBM001-ST-RS. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 2, n. 38, p.3-17, jun. 2008. Trimestral.

KALKREUTH, W. *et al.* The Coalbed Methane Potential of the Paraná Basin, Brazil. In: CONGRESSO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Ufrj, 2003. p. 1 - 6. CD-ROM.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 438 p. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho.

KERN, M. **Avaliação do Potencial Gerador de Metano das Jazidas de Chico Lomã e Santa Terezinha, Nordeste do Rio Grande do Sul**. 2002. 181 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2002.

LEVANDOWSKI, J. H. **Características Petrográficas e Geoquímicas das Camadas de Carvão do Poço CBM 001-CL-RS, Jazida Chico Lomã, e sua Relação com Coalbed Methane Associado**. 2013. 167 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2013.

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. C. **Geofísica de Prospecção: Volume I**. Belém: UFPA Cejup, 1995. 311 p.

MILANI, E. J. *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.265-287, maio 2007. Semestral.

MILANI, E. J. **Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 1997. 225 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 1997.

RAMGRAB, G. E. *et al.* Principais Recursos Minerais do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, Michael; ROS, Luiz Fernando de (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 407-445.

SCHNEIDER, R. L. *et al.* Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** . São Paulo: SBG, 1974. v. 1, p. 41- 64.

SOUZA, I.; MENDONÇA FILHO, J.; MENEZES, T. Avaliação de Efeito Térmico das Intrusivas Ígneas em um Horizonte Potencialmente Gerador da Bacia do Paraná: Formação Irati. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 2, p.138-148, jun. 2008. Trimestral.

TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 p.

TRIGÜIS, J. **In Organic Geochemistry Investigation on Heat-affected Sediments in the Paraná Basin, Brazil**. 1986. 203 p. Tese (Doutorado) - Geology, Institute Of Geoscience, University Of Newcastle, Austrália, 1986.

VASCONCELOS, E. *et al.* Estudo Petrográfico e Geoquímico de Sills Encaixadas nas Rochas Sedimentares da Formação Irati no Estado do PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., 2003, Belém. **Anais...** .Belém: Ufpa, 2003. v. 1, p. 642 - 644.

WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 508 p. Revisão Técnica, Adaptação e Redação Final: Maurício Antônio Carneiro.

ANEXO A - Modelo Tabela Utilizada na Compilação dos Dados Perfis de Sondagem

CHICO-LOMA				
2 - CA 86 - Profundidade 731,60 m				
Município	Localidade	Coordenadas UTM		
Santo Antônio	Campestre	542440	6767700	19,67 m
DIABÁSIO				
Profundidade Inicial	Profundidade Final	Espessura	Rocha	Formação
477,80	561,90	84,10	Diabásio	Irati
679,22	679,85	0,63	Diabásio	Rio Bonito
680,44	680,77	0,33	Diabásio	Rio Bonito
682,15	683,05	0,90	Diabásio	Rio Bonito
688,35	689,24	0,89	Diabásio	Rio Bonito
694,35	731,60	37,25	Diabásio	Rio Bonito
CARVÃO				
Profundidade Inicial	Profundidade Final	Espessura	Rocha	Formação
672,92	673,14	0,22	Carvão	Rio Bonito
673,62	673,74	0,12	Carvão	Rio Bonito
680,10	680,21	0,11	Carvão	Rio Bonito
680,40	680,44	0,04	Carvão	Rio Bonito
680,87	681,16	0,29	Carvão	Rio Bonito
682,00	682,15	0,15	Carvão	Rio Bonito
683,09	683,54	0,45	Carvão	Rio Bonito
688,10	688,35	0,25	Carvão	Rio Bonito
689,24	689,50	0,26	Carvão	Rio Bonito
690,31	690,68	0,37	Carvão	Rio Bonito

ANEXO B - Tabela Dados Perfis de Sondagem - Morungava

DADOS PERFIS DE SONDAEM - ÁREA MORUNGAVA										
Nº	FURO	N	E	PF	POC	ECC	POD	ECD	ECD IRATI	ECD RIO BONITO
1	CA 80	6697500	505920	390,35	148,35	8,31	352,70	19,45	0,00	0,00
2	CA 81	6694000	510000	467,35	317,00	6,47	358,35	15,60	0,00	6,10
3	CA 82	6690000	508000	99,30	36,50	0,00	0,00	7,40	7,40	0,00
4	CA 83	6694000	514000	273,35	115,00	0,00	0,00	6,15	0,00	4,45
5	CA 84	6698000	516000	433,61	154,50	1,12	393,37	98,64	84,00	8,84
6	CA 89	6702000	510000	404,95	291,90	0,00	0,00	33,30	2,10	31,20
7	CA 90	6693900	505810	315,25	82,20	0,00	0,00	8,30	1,80	6,50
8	CA 91	6701440	507000	676,45	121,50	6,92	575,53	32,05	0,00	0,00
9	CA 92	6697680	500900	332,50	47,80	0,00	0,00	24,20	0,00	0,00
10	CA 93	6698100	510350	420,00	0,00	2,55	391,42	0,00	0,00	0,00
11	CA 94	6701370	501470	515,00	127,70	0,00	0,00	44,44	33,84	0,00
12	CA 95	6691970	510970	352,45	145,50	3,77	301,54	16,10	0,00	12,60
13	CA 99	6689771	515782	294,70	0,00	3,83	247,50	0,00	0,00	0,00
14	CA 101	6706309	506159	632,00	371,50	0,00	0,00	61,90	0,00	17,60
15	CA 103	6688010	512970	313,55	119,40	5,57	229,20	26,70	0,00	21,30
16	CA 105	6687590	517900	265,30	120,00	5,28	217,42	11,80	11,80	0,00
17	MS 01	6688800	513000	300,20	106,40	7,01	198,35	33,04	3,45	29,59
18	MS 02	6688800	514000	323,50	243,40	7,04	252,39	9,52	0,00	9,52
19	MS 03	6688000	514000	288,40	232,80	5,98	232,40	7,92	0,00	7,92
20	MS 09	6688000	515000	267,10	45,30	10,12	219,16	1,50	1,50	0,00
21	MS 12	6687999	516000	276,90	234,70	4,12	217,50	15,33	0,00	15,33
22	MS 15	6687999	517000	289,10	149,30	7,38	253,53	17,50	6,10	0,00
23	MS 101	6689906	513163	377,10	152,35	8,80	244,16	34,19	1,14	33,05
24	MS 102	6690167	514858	290,35	151,75	9,66	245,20	3,90	3,90	0,00
25	MS 103	6690013	517138	354,70	80,30	1,23	223,85	20,00	0,00	10,60
26	MS 104	6690070	518966	249,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

27	MS 105	6690159	513996	364,60	139,60	3,97	245,93	37,73	0,00	26,93
28	MS 106	6690902	513236	315,60	257,70	5,45	271,60	35,10	0,00	35,10
29	MS 107	6691041	513808	298,65	153,90	3,96	240,54	28,87	1,40	27,47
30	MS 108	6690952	515094	275,15	95,00	3,42	239,78	8,90	0,00	0,00
31	MS 109	6690000	512000	282,00	152,70	7,20	229,70	10,50	2,00	8,50
32	MS 112	6690907	512032	306,00	164,70	8,31	264,50	9,35	9,35	0,00
33	MS 113	6691908	511923	350,70	192,20	12,39	304,00	26,80	2,30	0,00
34	MS 114	6690089	509879	317,60	100,35	0,00	0,00	10,25	0,00	6,50
35	MS 115	6693000	511000	343,65	211,10	8,17	303,85	23,00	3,40	19,60
36	MS 116	6693000	510000	344,80	192,60	2,92	308,10	12,40	12,40	0,00
37	MS 117	6692963	509413	286,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	MS 118	6689686	517841	295,30	226,50	0,12	261,50	19,50	0,00	19,50
39	MS 119	6691000	516000	237,60	59,70	0,00	0,00	14,80	0,00	14,80
40	MS 120	6691933	513094	356,70	180,00	5,71	313,00	33,50	12,50	21,00
41	MS 122	6694045	511010	409,15	235,00	6,62	364,30	20,68	5,00	15,68
42	MS 123	6696484	510328	411,20	196,35	2,15	384,15	30,85	0,00	16,80
43	MS 124	6695823	507878	383,15	342,50	6,93	337,50	1,10	0,00	1,10
CBM-MO-001	MO 001	6692227	515237	387,30	156,10	6,61	334,05	33,92	10,00	19,22
MÉDIA (m)				344,73	151,16	4,30	217,18	20,60	4,90	10,15

PF - Profundidade Furo

POC - Profundidade da primeira Ocorrência de Carvão

ECC - Espessura Cumulativa de Carvão

POD - Profundidade da primeira Ocorrência de Diabásio

ECD - Espessura Cumulativa de Diabásio

ECD - Espessura Cumulativa de Diabásio Fm. Irati

ECD - Espessura Cumulativa de Diabásio Fm. Rio Bonito

ANEXO C - Tabela Dados Perfis de Sondagem - Chico Lomã

DADOS PERFIS DE SONDAAGEM - ÁREA CHICO LOMÃ										
Nº	FURO	N	E	PF	POC	ECC	POD	ECD	ECD IRATI	ECD RIO BONITO
1	CA 85	6711000	531000	696,80	642,83	1,01	424,40	127,23	101,80	25,43
2	CA 86	6707700	542440	731,60	672,92	2,26	477,80	124,10	84,10	40,00
3	MS 25	6685000	520700	269,70	196,77	5,74	96,50	13,50	0,00	13,50
4	MS 27	6683200	520800	190,00	148,45	4,72	65,00	22,50	0,00	0,00
5	TG 02	6679380	524700	161,85	122,57	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
6	TG 06	6680850	528650	193,10	131,98	1,95	140,00	26,30	0,00	26,30
7	TG 14	6689150	545980	470,00	436,80	7,02	0,00	0,00	0,00	0,00
8	TG 16	6688600	524600	289,00	0,00	0,00	238,50	26,30	0,00	26,30
9	TG 18	6685620	538720	375,55	329,41	5,91	0,00	0,00	0,00	0,00
10	TG 19	6688585	526450	257,80	234,25	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
11	TG 24	6703075	546360	614,80	0,00	0,00	134,00	32,35	0,00	0,00
12	TG 33	6678594	534312	379,60	322,88	6,02	0,00	0,00	0,00	0,00
13	TG 38	6678415	546460	373,15	294,34	4,96	314,50	16,40	0,00	16,40
14	TG 43	6682175	536840	355,90	312,97	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00
15	TG 51	6677600	534650	308,20	272,60	11,02	168,70	15,10	15,10	0,00
16	TG 55	6686425	550060	396,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	TG 57	6676550	536875	265,50	205,63	3,99	209,00	27,50	0,00	27,50
18	TG 60	6672050	546100	305,80	285,35	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00
19	TG 62	6676776	530316	272,80	219,42	1,27	177,70	56,58	0,00	56,58
20	TG 63	6694050	555325	581,25	544,92	0,35	402,00	45,31	0,00	20,63
21	TG 66	6681550	547000	412,10	351,83	7,88	261,42	7,00	7,00	0,00
22	TG 67	6687175	536225	228,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	TG 70	6681925	556450	396,90	373,99	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
24	TG 80	6678650	527750	216,56	156,00	3,78	0,00	0,00	0,00	0,00
25	TG 83	6681700	541750	354,70	303,00	14,21	216,70	15,54	1,80	13,74
26	TG 84	6681050	534900	314,72	280,33	7,67	195,50	5,50	5,50	0,00

27	TG 88	6679000	543600	333,30	287,23	10,39	180,50	12,50	12,50	0,00
28	TG 90	6683180	548570	416,40	370,70	6,97	276,50	6,65	6,30	0,35
29	TG 105	6685000	530850	294,00	230,70	4,08	134,60	24,10	14,60	9,50
30	TG 108	6677974	521980	98,20	49,50	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
31	TG 110	6681985	540006	371,00	0,00	0,00	269,30	14,00	10,70	0,00
32	TG 113	6666125	532235	130,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	TG 114	6677639	532241	324,00	300,60	3,55	207,00	58,00	0,00	58,00
34	TG 118	6678844	529639	206,60	157,40	0,39	130,00	20,00	0,00	20,00
35	TG 121	6678047	557960	445,00	407,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	TG 123	6676075	556007	407,60	388,10	1,90	364,60	2,10	0,00	2,10
37	TG 139	6681500	523001	151,00	107,22	3,44	123,65	8,35	0,00	8,35
38	TG 155	6680000	524000	218,50	141,60	4,57	0,00	0,00	0,00	0,00
39	TG 157	6679500	533000	395,00	318,81	6,20	224,00	8,30	8,30	0,00
40	TG 160	6678500	533000	378,00	276,75	3,71	293,15	26,75	0,00	26,75
41	TG 209	6675041	532002	237,50	217,90	0,89	207,50	5,00	0,00	5,00
42	TG 214	6678397	554548	449,30	407,10	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00
43	TG 221	6681040	559916	342,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CBM-CL-001	CL 001	6691049	539633	440	386,95	9,78	92,6	34,88	4,9	10,58
MÉDIA (m)				342,06	247,44	3,65	136,93	17,77	6,20	9,25

PF - Profundidade Furo

POC - Profundidade da primeira Ocorrência de Carvão

ECC - Espessura Cumulativa de Carvão

POD - Profundidade da primeira Ocorrência de Diabásio

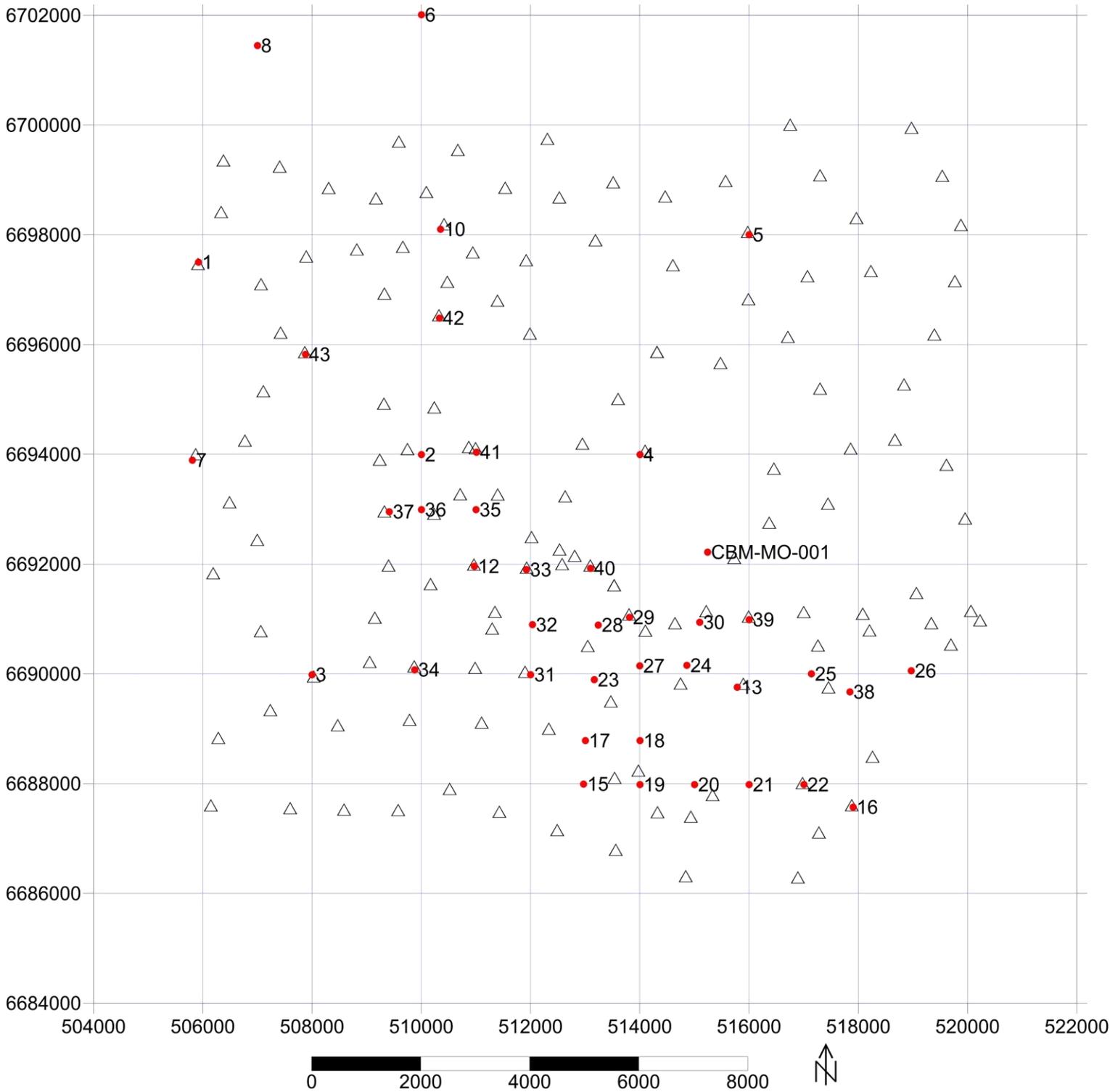
ECD - Espessura Cumulativa de Diabásio

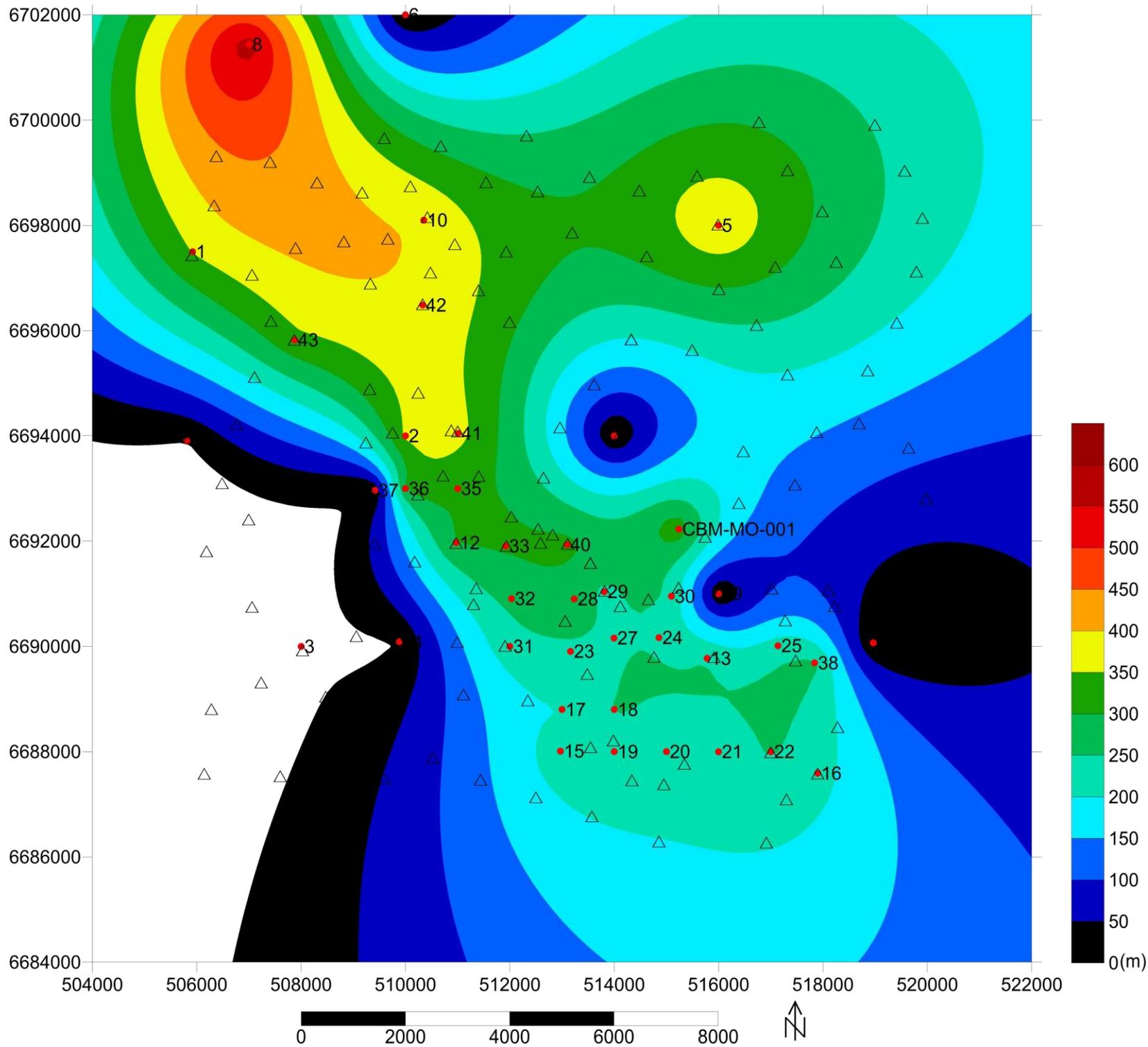
ECD - Espessura Cumulativa de Diabásio Fm. Irati

ECD - Espessura Cumulativa de Diabásio Fm. Rio Bonito

Localização Furos de Sondagem
Morungava
1:100.000

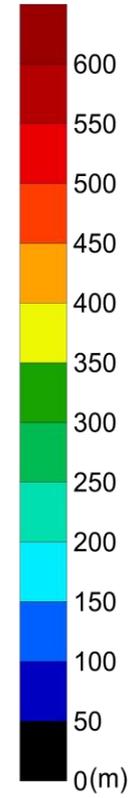
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

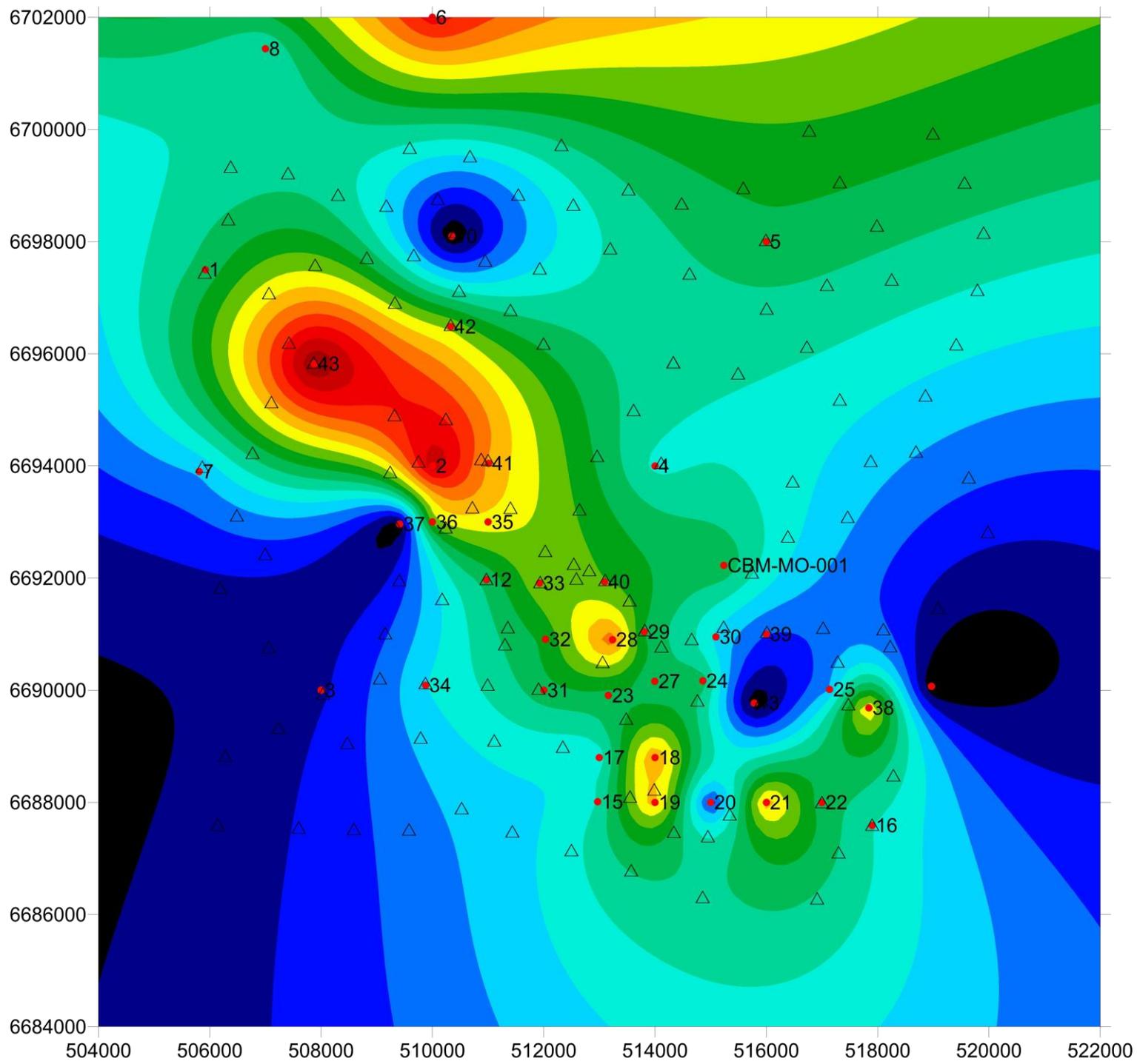




Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão Morungava 1:100.000

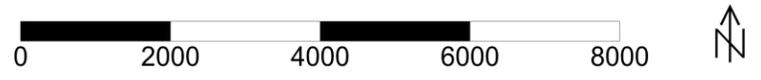
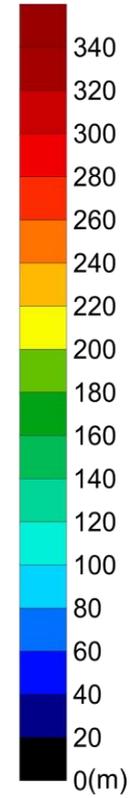
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

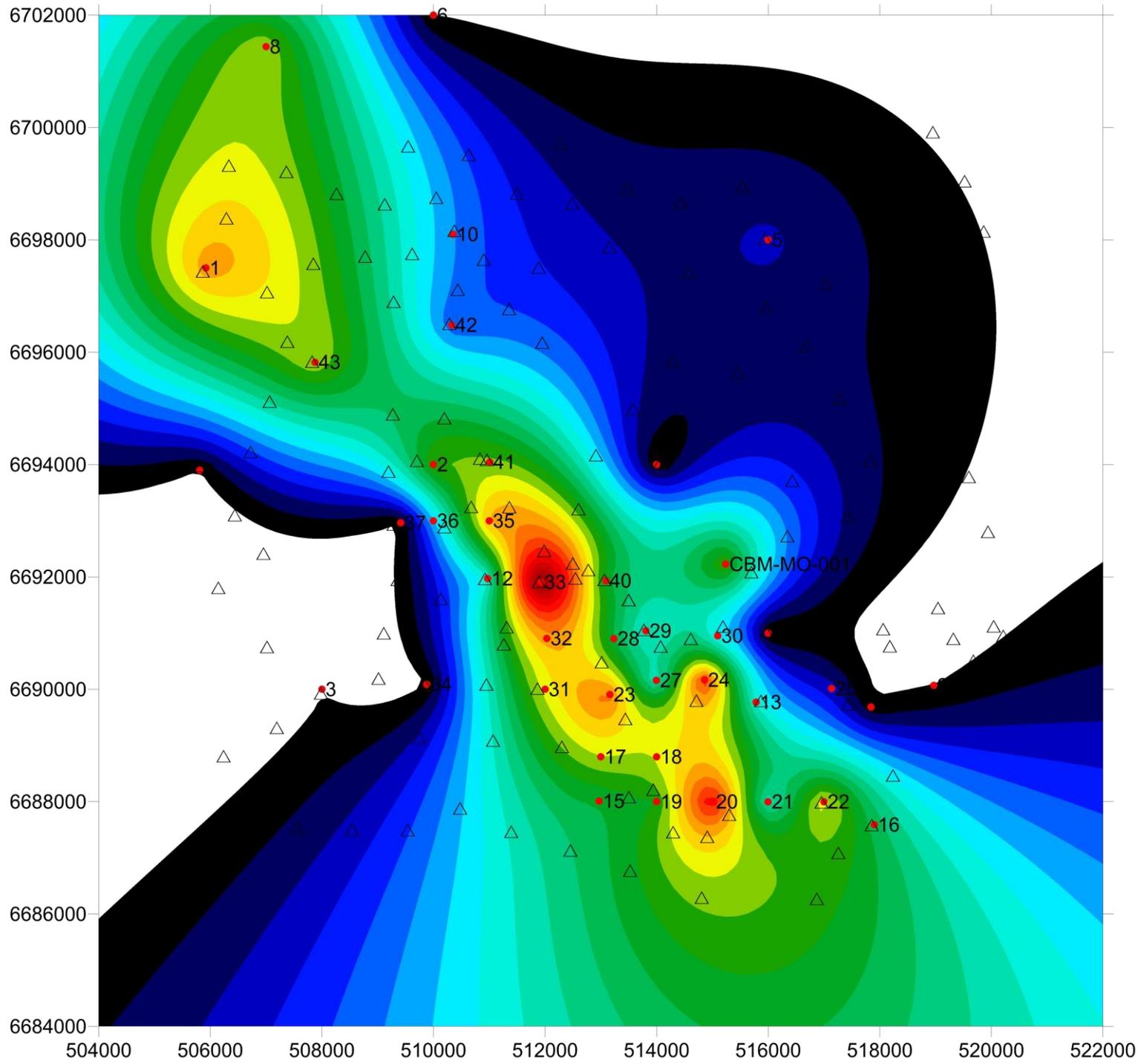




Profundidade Primeira Ocorrência de Diabásio Morungava 1:100.000

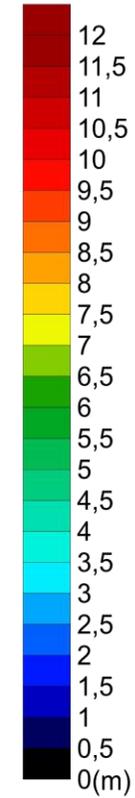
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

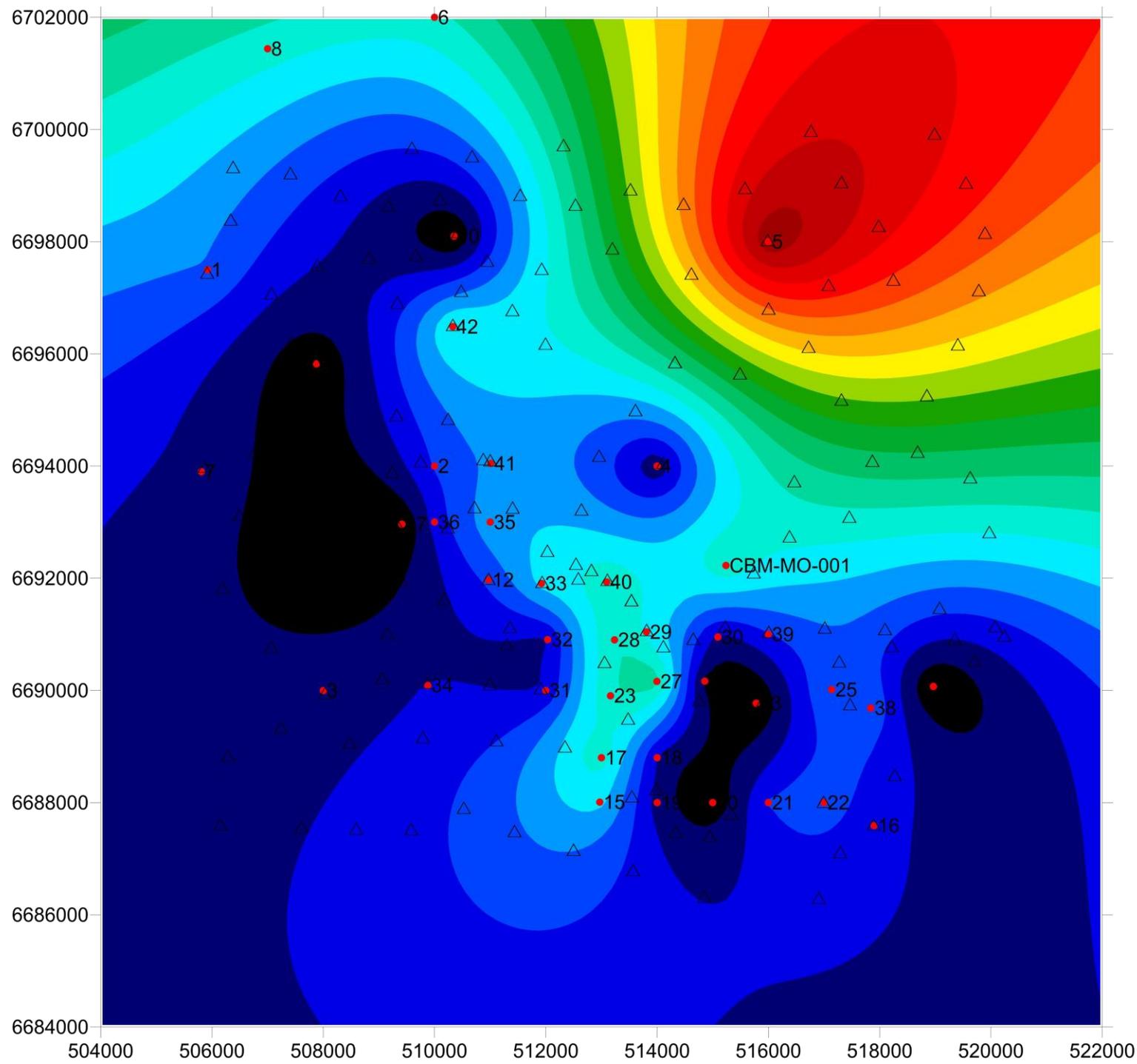




Espeçura Cumulativa do Carvão
Morungava
1:100.000

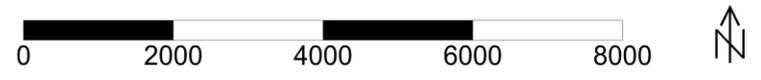
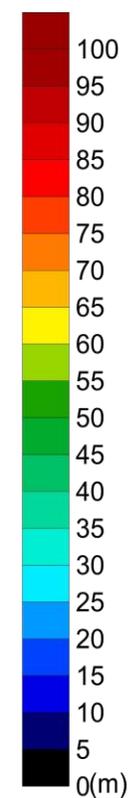
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

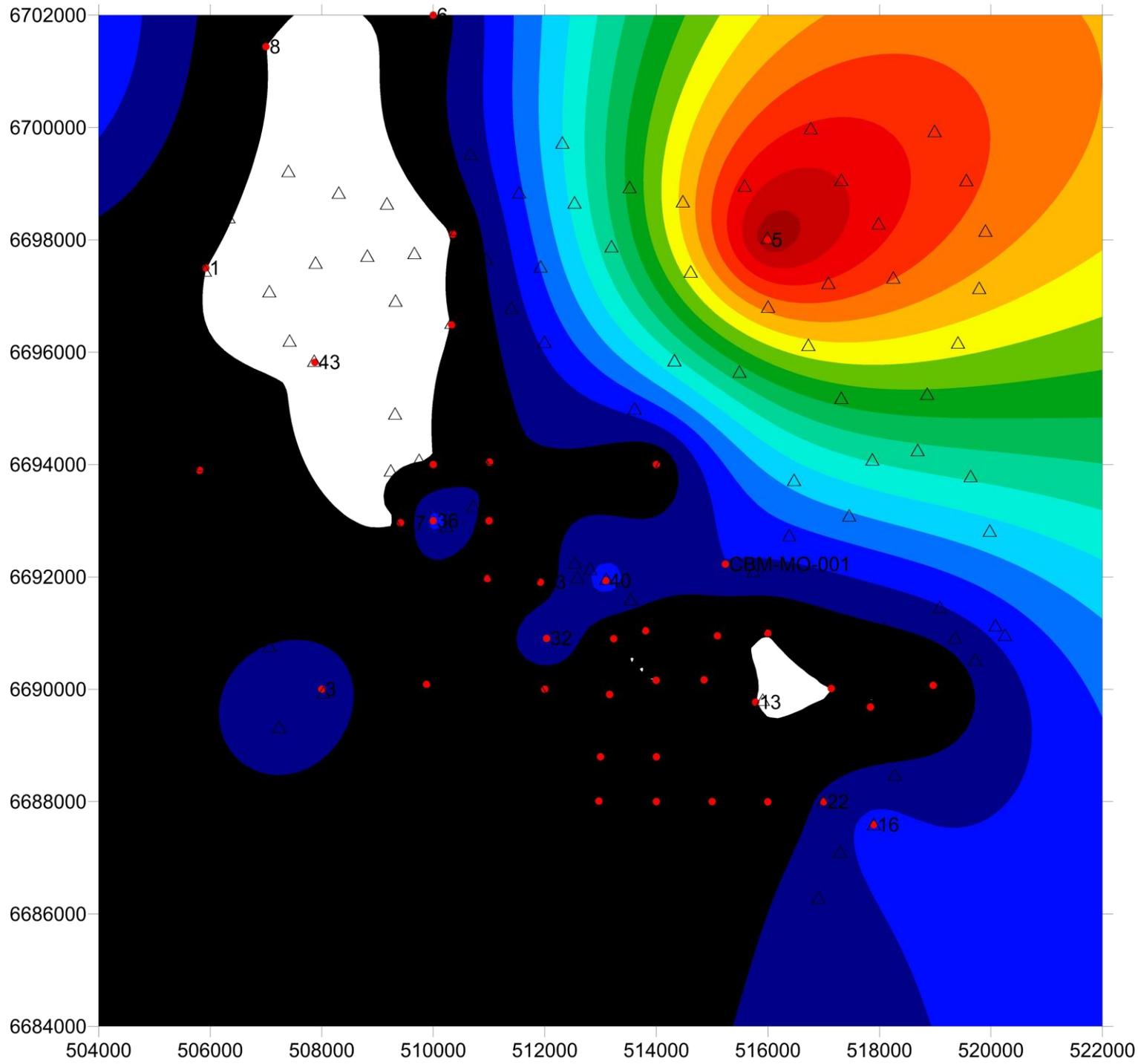




Espeçura Cumulativa do Diabásio
Morungava
1:100.000

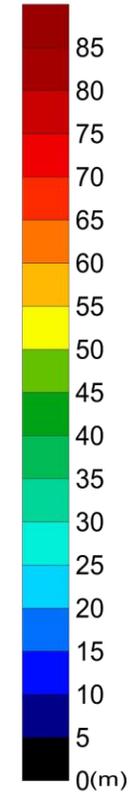
- Furos de Sondagem
- △ Aquisiçã Gravimétrica

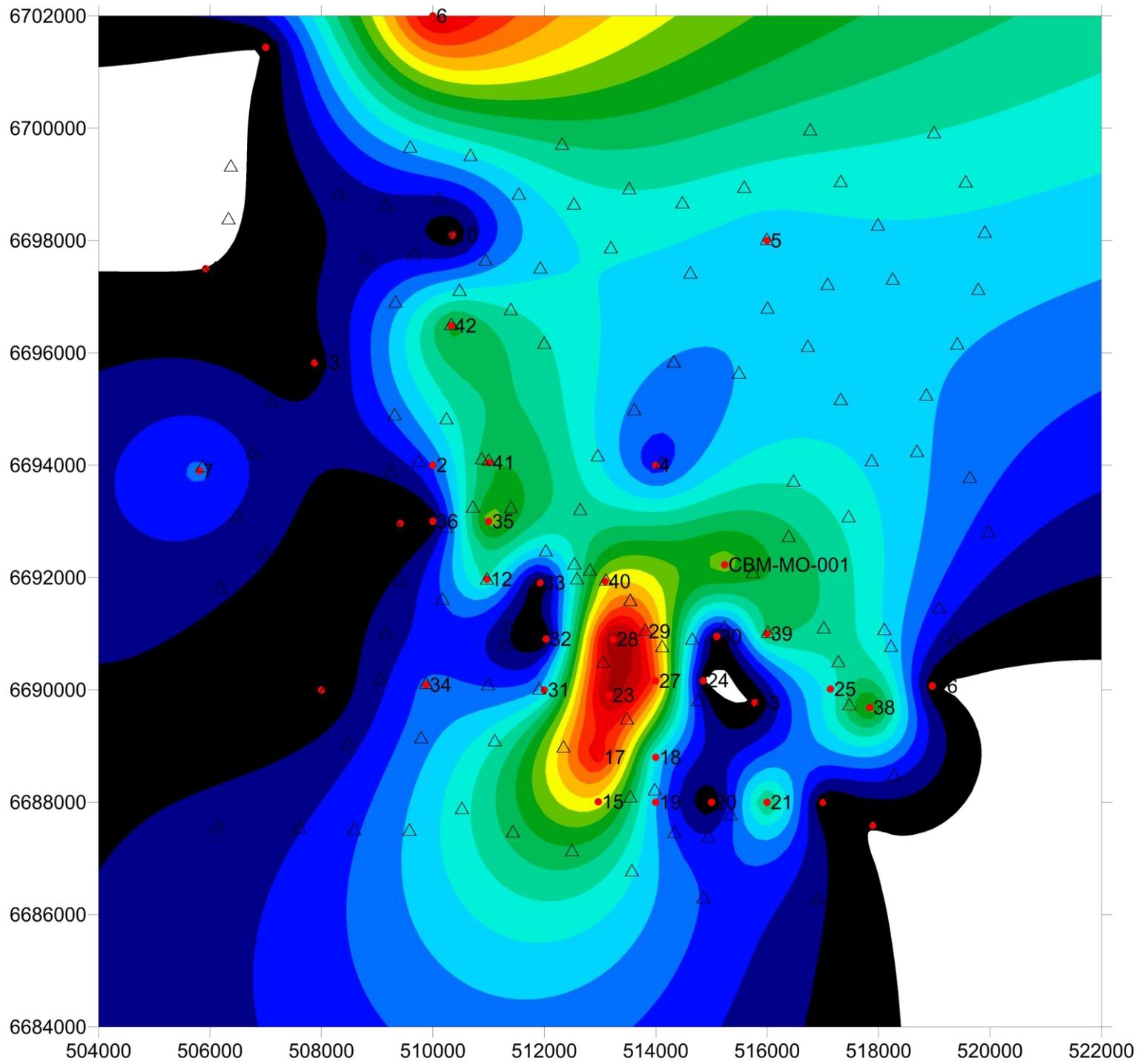




Espeçura Cumulativa do Diabásio
Fm. Irati
Morungava
1:100.000

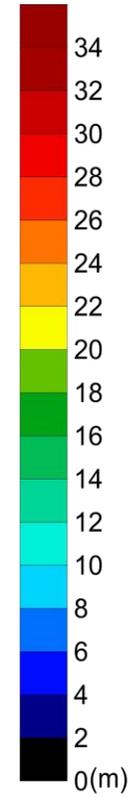
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

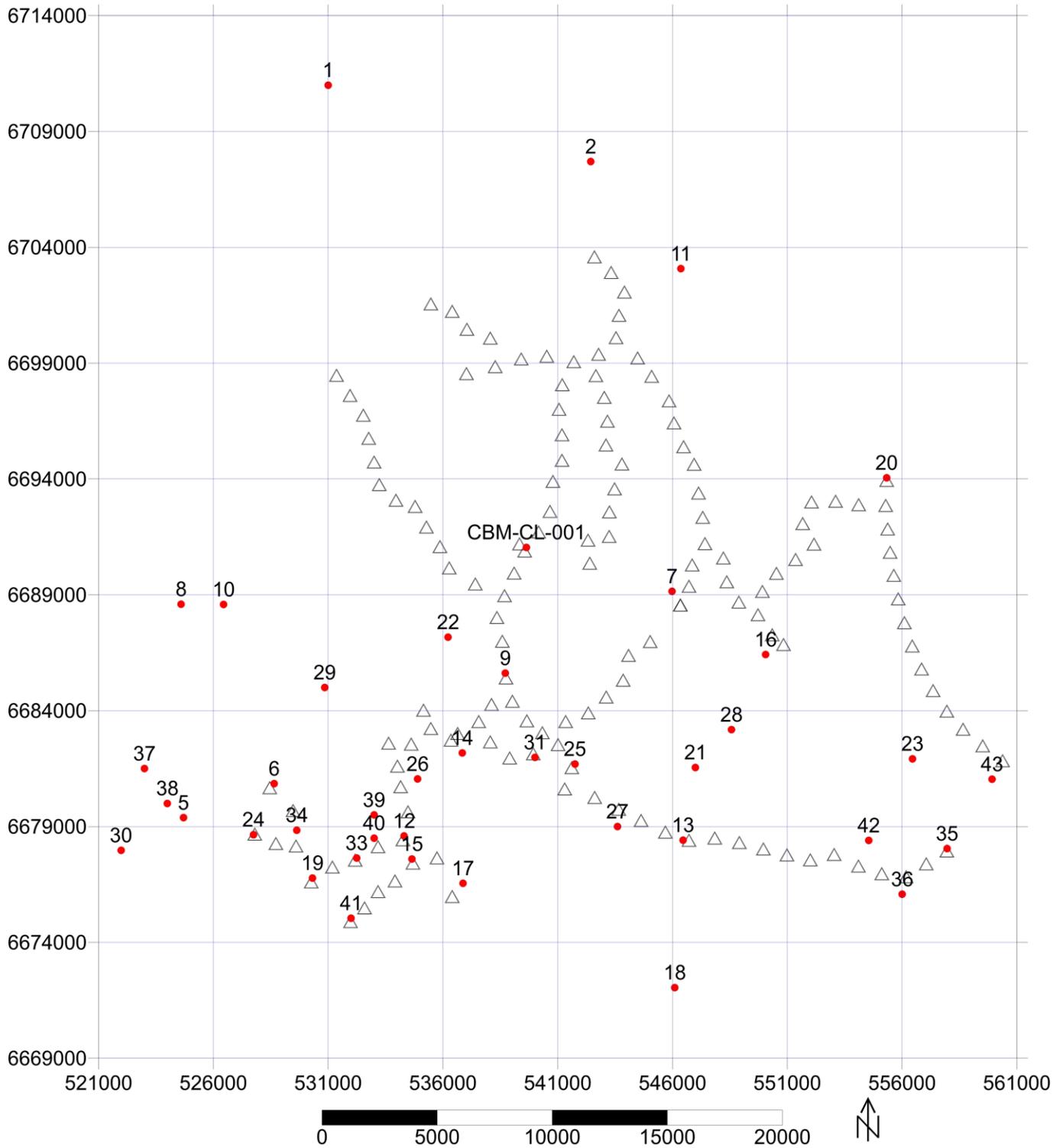




EspeSSura Cumulativa do Diabásio
Fm. Rio Bonito
Morungava
1:100.000

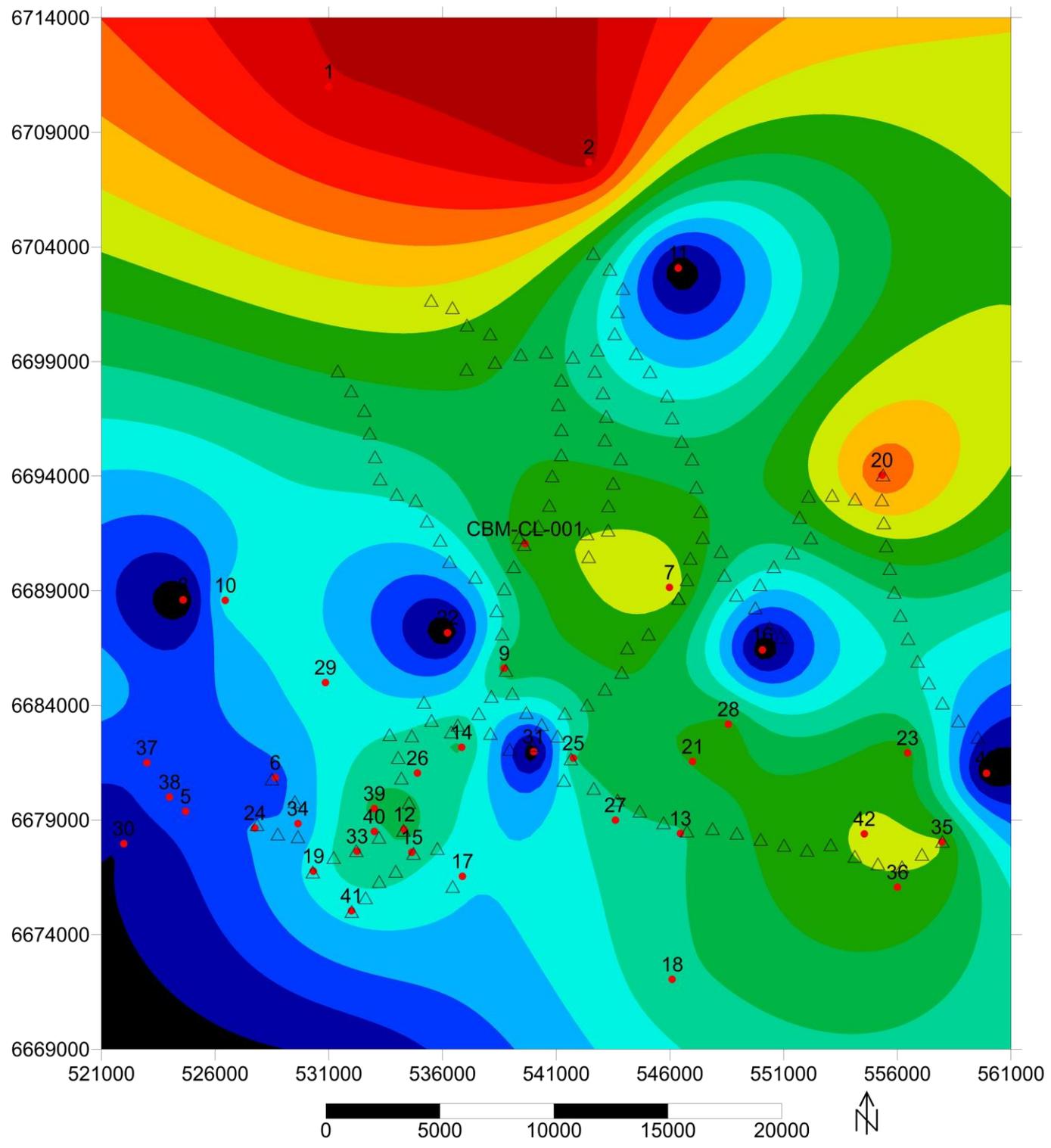
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica





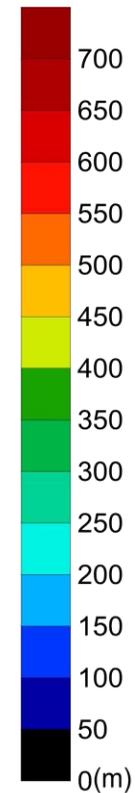
Localização Furos de Sondagem
Chico Lomã
1:250.000

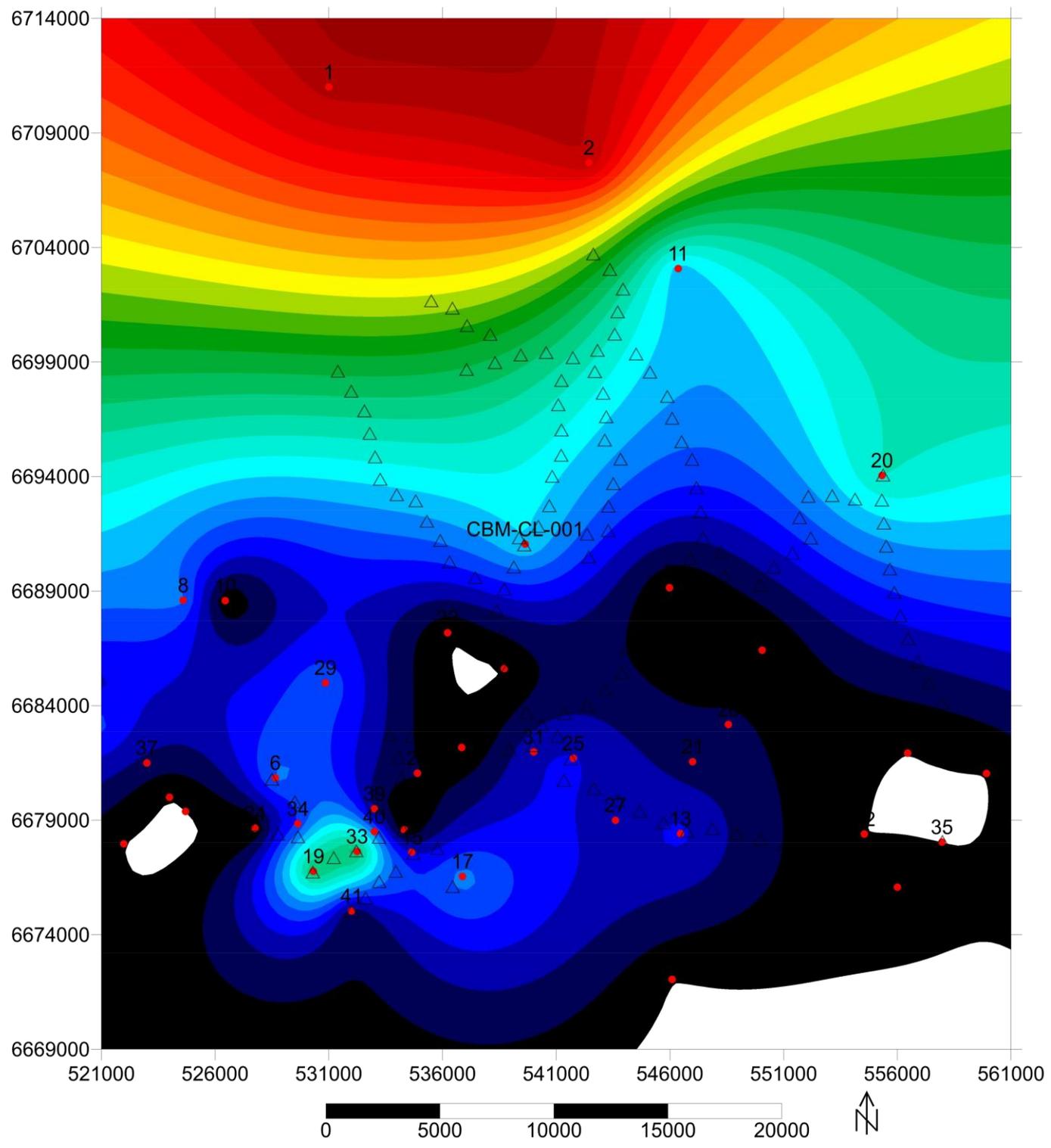
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica



Profundidade Primeira Ocorrência de Carvão Chico Lomã 1:250.000

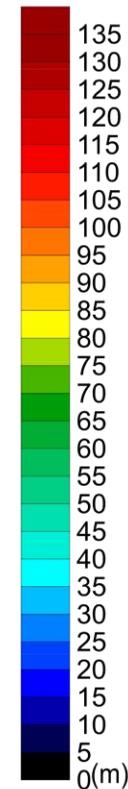
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

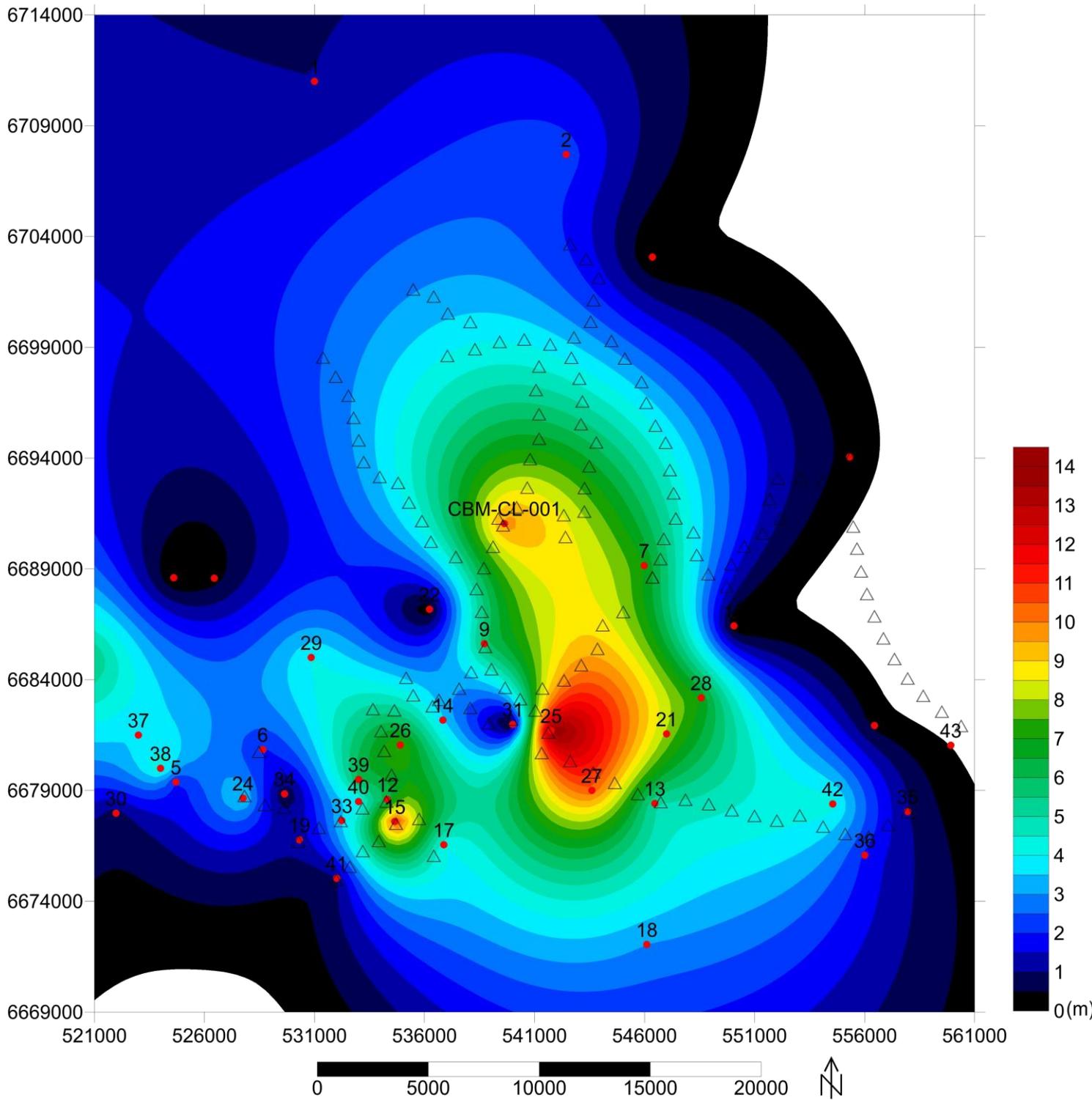




Profundidade Primeira
Ocorrência do Diabásio
Chico Lomã
1:250.000

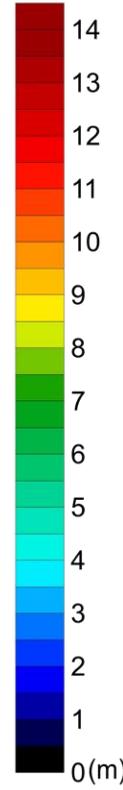
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

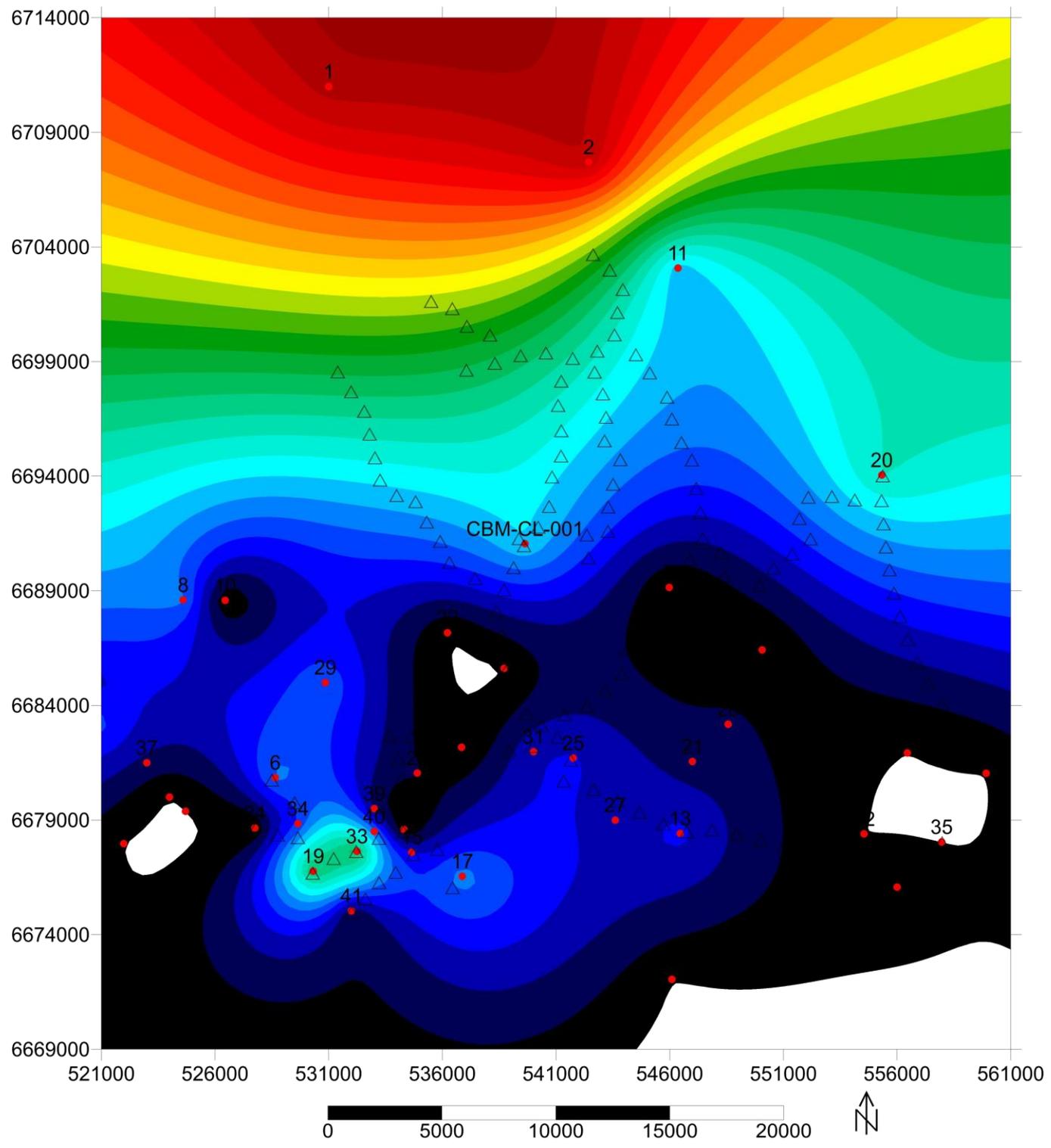




Espeçura Cumulativa do Carvão
Chico Lomã
1:250.000

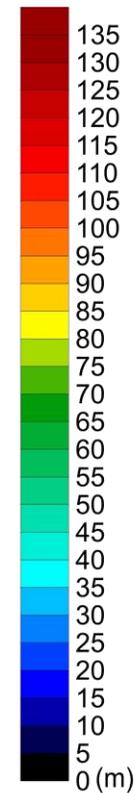
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

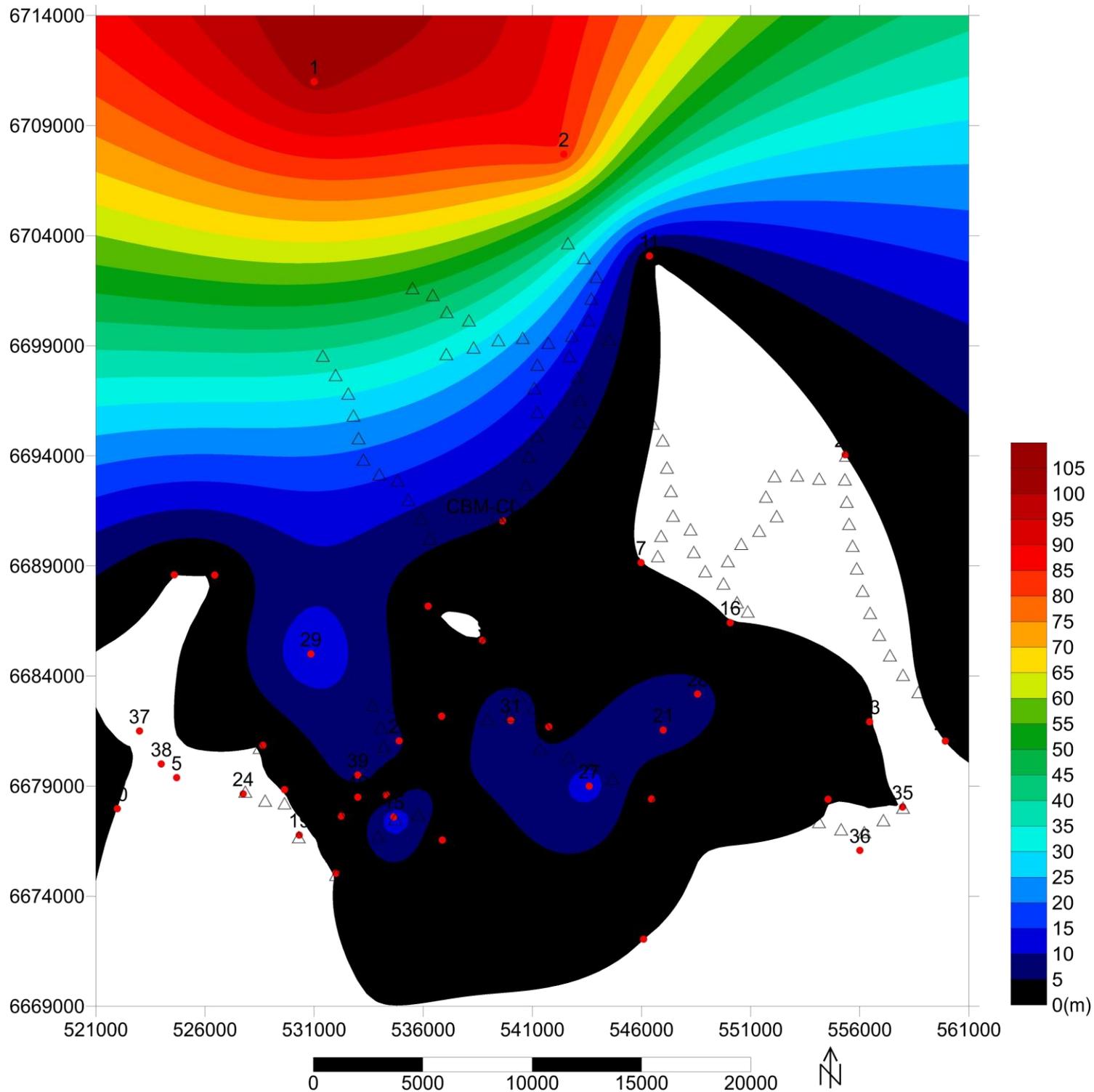




Espessura Cumulativa do Diabásio
Chico Lomã
1:250.000

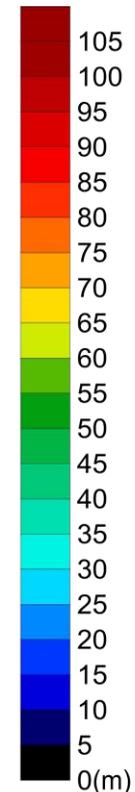
- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

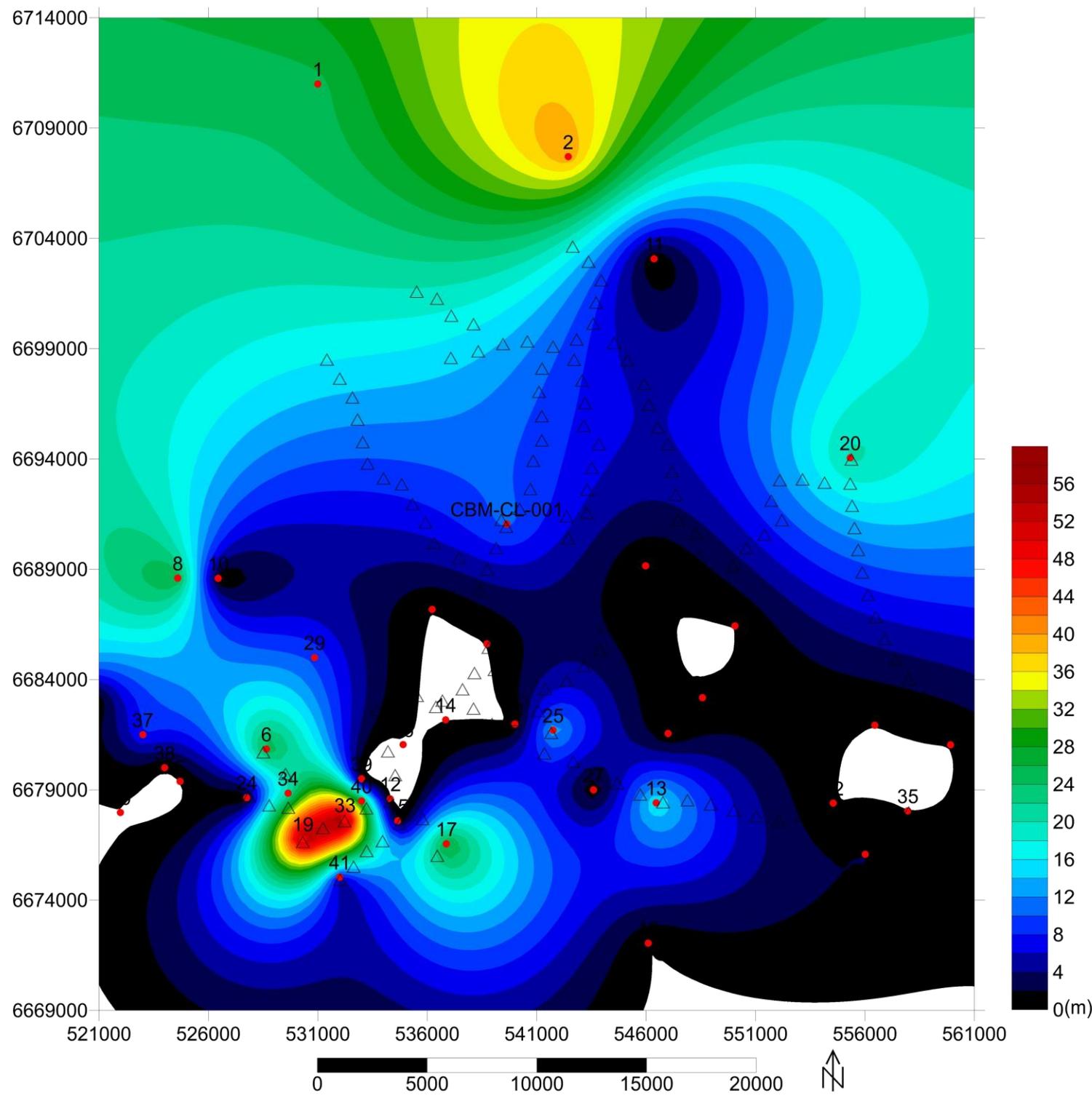




Espessura Cumulativa do Diabásio
Fm. Irati
Chico Lomã
1:250.000

- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica





Espeçura Cumulativa do Diabásio
Fm. Rio Bonito
Chico Lomã
1:250.000

- Furos de Sondagem
- △ Aquisição Gravimétrica

ANEXO *



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 23 de setembro de 2016.

À
Mara Lia Dias Cavalheiro

Venho comunicar o recebimento do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição.

Título: Caracterização gravimétrica da Jazida Morungava-Chico Lomã, RS.

Autores: *Maria Lia Dias Cavalheiro, Maria Luiza Correa da Camara Rosa, Robson dos Santos Aquino & Wolfgang Kalkreuth.*

Atenciosamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a vertical stroke followed by a horizontal stroke and a small flourish.

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
Editor Chefe

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br