

## Interpretação gravimétrica da Bacia do Recôncavo utilizando inversão não linear

Raphael Di Carlo Silva dos Santos, Darcicléa Ferreira Santos, João Batista Corrêa da Silva – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

We present a gravity interpretation of the Recôncavo basin basement relief. To estimate the Bouguer anomaly produced by the sediment-basement interface, the robust polynomial fitting method was applied to the original Bouguer gravity data corrected for the gravity effect to the crust-mantle interface. We interpreted two gravity profiles across the basin strike using the smoothness constraint. We obtained an average estimated basement depth of about 6.32 km indicating a deep basement.

### Introdução

A bacia do Recôncavo, localizada no Estado da Bahia, é um hemi-graben, ocupando uma área de aproximadamente 11500 km<sup>2</sup>. Estima-se que a seção sedimentar preservada possua uma espessura máxima da ordem de 6900 m, no Baixo de Camaçari (ARAGÃO, 1994). Seus limites são dados pelo Alto de Aporá a norte e noroeste, pelo sistema de falhas da Barra a sul, pela falha de Maragogipe a oeste e pelo sistema de falhas de Salvador, a leste.

As interpretações gravimétricas sobre a bacia do Recôncavo visam delinear o relevo do embasamento e localizar corpos intrasedimentares. Estas interpretações gravimétricas auxiliam na localização de alvos exploratórios para a prospecção de petróleo e contribuem com informações sobre estruturas geológicas em subsuperfície da região. Menezes (1990), por exemplo, aplicou o método do ajuste robusto de polinômios (BELTRÃO et al., 1991) a dados gravimétricos da Bacia do Recôncavo interpretando separadamente o efeito gravimétrico de fontes regionais (profundas) e residuais (rasas). Leão et al. (1996) obteve a estimativa do relevo do embasamento da Bacia do Recôncavo através de uma metodologia baseada na continuação para baixo. Barbosa et al. (1997) e Silva et al. (2006) apresentam uma interpretação gravimétrica da Bacia do Recôncavo usando a metodologia de inversão não linear vinculada pela informação sobre a profundidade do embasamento obtida através de furos de sondagem.

Neste trabalho apresentamos a interpretação de dois perfis gravimétricos da Bacia do Recôncavo na direção SW-NE. Utilizamos a técnica do ajuste robusto de polinômios (BELTRÃO et al., 1991) para obter a anomalia gravimétrica devida apenas à bacia. Obtivemos as interpretações dos perfis gravimétricos através da

metodologia de inversão não linear com vínculo de suavidade. Para a interpretação dos dois perfis gravimétricos adotamos um nível de base de 6,46 mGal. A interpretação gravimétrica dos dois perfis produz uma profundidade média do relevo do embasamento de 6,32 km, indicando um embasamento profundo.

### Dados Gravimétricos

Para o tratamento dos dados gravimétricos da Bacia do Recôncavo (Figura 1) foram utilizados os dados corrigidos da influência gravimétrica da interface Crosta-Manto (Figura 2) apresentado no trabalho de Menezes (1990). Menezes (op.cit.) adotou um polinômio de grau 4 nos dados gravimétricos do estado da Bahia para remover o efeito gravimétrico da Moho.



Figura 1 – Localização e limites da Bacia do Recôncavo. Segundo Milhomem et al. (2003).

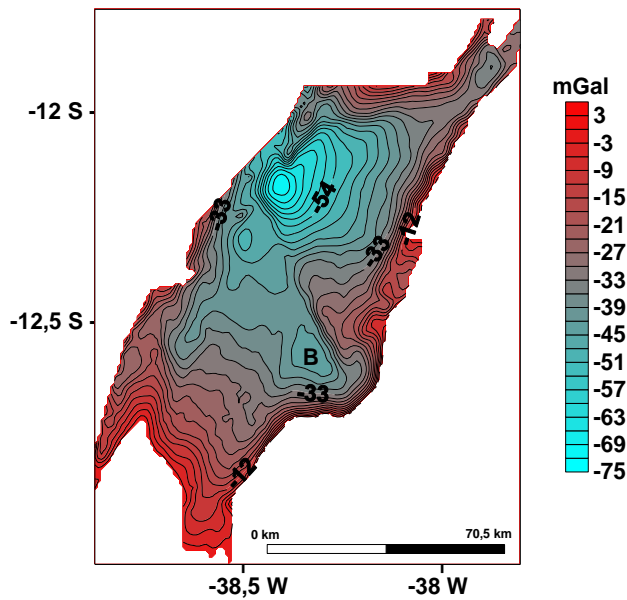


Figura 2 – Anomalia Bouguer corrigida do efeito da interface Crosta-Manto. A letra B indica a localização do Baixo de Camaçari. Intervalo de contorno de 3 mGal, (Menezes, 1990).

### Separação regional-residual

Para a confecção do mapa de anomalia Bouguer devida ao pacote sedimentar, utilizamos a separação regional-residual através do ajuste robusto de polinômios (BELTRÃO et al., 1991). Para obter a ordem do polinômio que melhor ajusta a anomalia regional reproduzimos o procedimento adotado por Leão et al. (1996)

1 - Calculamos treze anomalias regionais, uma para cada ordem do polinômio de um a treze;

2 –A ordem treze foi escolhida porque ela permitiu melhor delimitação do depocentro da bacia (Baixo de Camaçari indicada pela letra B na Figura 2). A anomalia gravimétrica devida ao pacote sedimentar é mostrada na Figura 3.

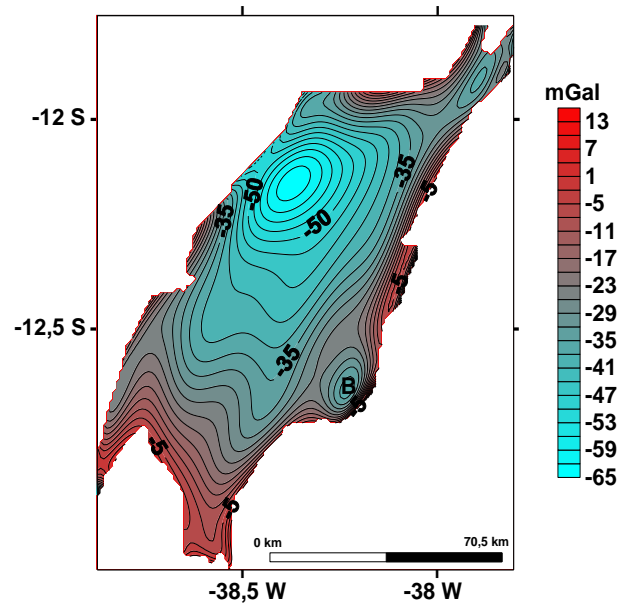


Figura 3 – Anomalia Bouguer devida ao pacote sedimentar da Bacia do Recôncavo obtida através do ajuste robusto de um polinômio de ordem treze. A letra B indica o Baixo de Camaçari. Intervalo de contorno de 3 mGal.

### Inversão não linear com vínculo de suavidade

Para delinear a interface de separação S (Figura 4) entre o embasamento e o pacote sedimentar a partir de um perfil gravimétrico presumimos:

- (1) Que o contraste de densidade  $\Delta\rho$  entre o embasamento e os sedimentos é constante e conhecido.
- (2) Que o relevo do embasamento pode ser aproximado por um modelo interpretativo formado por um conjunto de M prismas bidimensionais verticais, justapostos (Figura 4), cujas espessuras representam as profundidades a ser estimadas a partir da anomalia gravimétrica.

O problema de estimar as espessuras dos M prismas (Figura 4) é não linear. Além disso, ele é um problema mal-posto no sentido de Hadamard (HADAMARD, 1902), uma vez que não apresenta *solução estável*.

Assim para garantir a estabilidade da solução adicionamos informação geológica a priori sobre a suavidade do relevo do embasamento. Essa informação é traduzida em termos de um funcional matemático denominado Funcional Estabilizador de Tikhonov de Primeira Ordem, conhecido também por suavidade global (TIKHONOV; ARSENIN, 1977).

Este funcional estabelece que as estimativas das espessuras dos prismas, especialmente contíguos, devem estar próximas entre si, introduzindo um grau de

suavidade na estimativa do relevo do embasamento.

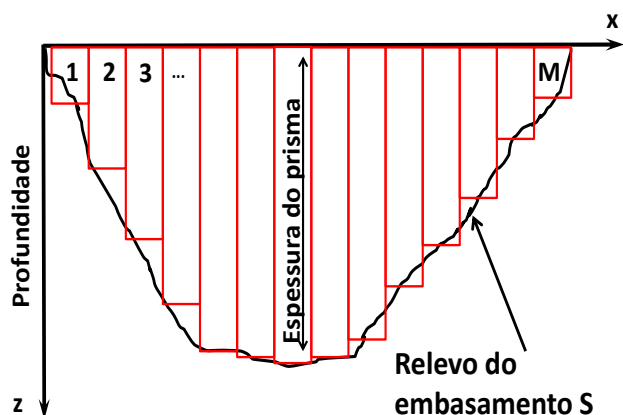


Figura 4 – Modelo interpretativo da metodologia não linear em que as espessuras dos M prismas bidimensionais são os parâmetros a ser estimados.

A inversão gravimétrica não linear para estimar as espessuras dos prismas do modelo interpretativo é resolvida através do algoritmo de Marquardt (MARQUARDT, 1963).

O grau de suavidade imposto à estimativa do relevo do embasamento é controlado pelo parâmetro escalar de regularização  $\mu$ . Quanto maior o valor de  $\mu$ , maior o grau de suavidade.

Para obter uma solução estável adotamos o seguinte procedimento:

- (1) Contaminamos as observações gravimétricas com várias sequências de ruído pseudo-aleatório;
- (2) Adotamos como valor de  $\mu$  o menor valor que produz estimativas estáveis do relevo. Uma solução é considerada estável quando as estimativas, obtidas com todas as sequências de ruído, usando o mesmo valor de  $\mu$  estão próximas.

## Resultados

Com o propósito de estimarmos a profundidade do relevo do embasamento da Bacia do Recôncavo, interpretamos dois perfis gravimétricos, R1R1' e R2R2', de direção SW-NE mostrados na Figura 5. O perfil R1R1' possui 164 observações localizadas entre as coordenadas (-38,74°W, -12,73°S) e (-38,23°W, -11,93°S) e o perfil R2R2' possui 114 observações localizadas entre as coordenadas (-38,57°W, -12,22°S) e (-37,91°W, -11,97°S). O ponto P1 de intersecção entre os dois perfis possui coordenadas de (-38,37°W, -12,14°S).

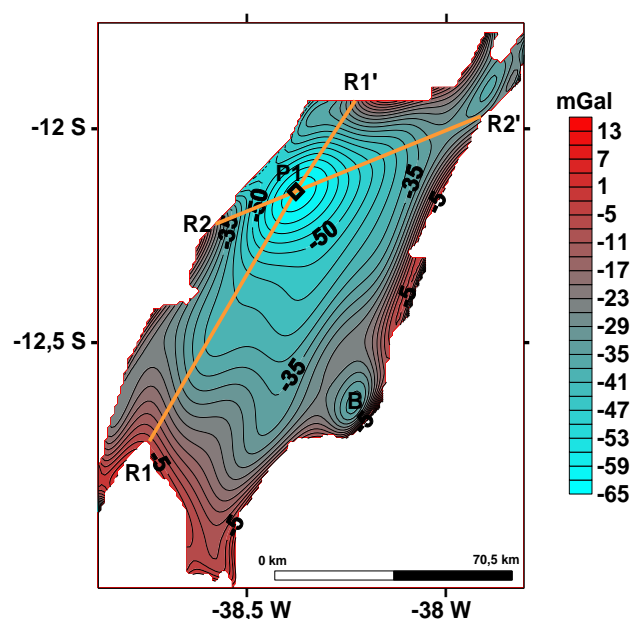


Figura 5 - Anomalia Bouguer regional da Bacia do Recôncavo apresentando as posições dos perfis R1R1' e R2R2'. As letras B e P1 indicam, respectivamente, as localizações do Baixo de Camaçari e do ponto de intersecção entre os perfis. Intervalo de contorno de 3 mGal.

Para realizarmos o procedimento de inversão não linear introduzimos um nível de base para todos os perfis localizados na Figura 5. Para estimarmos o valor do nível de base verificamos que o perfil R1R1' está próximo aos limites horizontais da borda da bacia do Recôncavo. O valor da anomalia gravimétrica do perfil R1R1' apresenta valor de -6,46 mGal na extremidade R1 (Figura 5). Como nas bordas da bacia o valor da anomalia deveria ser próxima a 0 mGal acrescentamos o valor constante de 6,46 mGal aos dados gravimétricos dos perfis R1R1' e R2R2'. Adotamos assim o valor constante de 6,46 mGal para o nível de base.

No procedimento de inversão não linear, adotamos o contraste de densidade de -0,26 g/cm<sup>3</sup> entre o pacote sedimentar e o embasamento estimado por Barbosa et al. (1997).

Para verificar a estabilidade das soluções adicionamos às observações gravimétricas, diversas sequências de ruído pseudo-aleatório Gaussiano com média nula e desvio padrão 0,1 mGal e seguimos o procedimento descrito anteriormente. Entretanto, as interpretações foram feitas através da anomalia Bouguer sem adição de ruído. Para todos os perfis utilizamos o modelo interpretativo de 200 prismas. O relevo estimado do embasamento é definido pelas estimativas das espessuras dos prismas do modelo interpretativo. O parâmetro de regularização da suavidade encontrado para obter soluções estáveis, foi de  $\mu=2,5$  para ambos os perfis R1R1' e R2R2'.

A interpretação do perfil gravimétrico R1R1' (Figura 6a) mostra uma profundidade máxima de 6,19 km na coordenada de 85,73 km (Figura 6b) do ponto de intersecção P1. O perfil gravimétrico R2R2' (Figura 7a) mostra uma profundidade máxima de 6,32 km na

coordenada de 26,14 km no ponto de intersecção P1 (Figura 7b). Notamos que as estimativas das profundidades no ponto de intersecção P1 nas Figuras 6b e 7b apresentam uma diferença de aproximadamente 0,13 km evidenciando que a escolha do nível de base de 6,46 mGal foi razoável.

### Conclusões

Neste trabalho apresentamos a interpretação gravimétrica de dois perfis localizados na Bacia do Recôncavo.

Para confeccionarmos o mapa Bouguer residual somente devido à interface pacote sedimentar-embasamento aplicamos o método de ajuste robusto de polinômios ao mapa Bouguer corrigido da influência da interface Crosta-Manto. Adicionamos o valor de nível de base constante de 6,46 mGal aos dados gravimétricos. Utilizamos a metodologia de inversão não linear acoplada ao vínculo de suavidade global para estimarmos a profundidade do relevo do embasamento. Os resultados apontaram uma profundidade máxima de 6,32 km para o relevo do embasamento.

Análises futuras da interpretação de dado gravimétricos da Bacia do Recôncavo poderão incluir inversão 3D incorporando vínculo de variação total para estimar estruturas descontínuas do relevo do embasamento com melhor resolução. Este tipo de interpretação é compatível com o sistema de falhas escalonadas da Bacia do Recôncavo.

### Agradecimentos

Os autores foram financiados nesta pesquisa por bolsa de estudo (R.D.C.S.S.) do Programa de Geofísica e Geologia Aplicado à Caracterização de Reservatório de Hidrocarbonetos (PRH-06) da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e bolsa de pesquisa (J.B.C.S.) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

### Referências

- ARAGÃO, M. A. N. F. Arquitetura, estilos tectônicos e evolução da Bacia do Recôncavo, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCIO NO BRASIL, 3., 1994, Rio Claro. UNESP/IGCE, 1994, Boletim de Resumos, p. 165-167.
- BARBOSA, V.C.F.; SILVA, J.B.C; MEDEIROS, W.E. Gravity inversion of basement relief using approximate quality constraints on depths. *Geophysics*. v.62, n.6, p.1745-1757. 1997.
- BELTRÃO, J.F.; SILVA, J.B.C; COSTA, J.C. Robust polynomial fitting method for regional gravity estimation. *Geophysics*. v.56, n.1, p. 80-89. 1991.
- HADAMARD, J. Sur les problèmes aux dérivées partielles et leur signification physique. *Bull Princeton Univ.*, v. 13, p. L-20. 1902.
- LEÃO, J.W.D.; MENEZES, P.T.L.; BELTRÃO, J.F.; SILVA, J.B.C. Gravity inversion of basement relief by the knowledge of depth at isolated points. *Geophysics*. v.61, n.6, p. 1702-1714. 1996.

MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal Of The Society For Industrial And Applied Mathematics*. v. 11, n. 2, p. 431-441.1963.

MENEZES, P.T.L. Uma nova abordagem em interpretação de anomalias gravimétricas em bacias sedimentares – Exemplo da Bacia do Recôncavo, Bahia, Brasil. 1990. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1990.

MILHOMEM, P. S.; MAMAN, E. J.; OLIVEIRA, F. M.; CARVALHO, M. S. S.; SOUZA-LIMA, W. Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia do Recôncavo. Phoenix. Ano 5, n. 11, mar. 2003.

SILVA, J. B. C.; COSTA, D. C. L.; BARBOSA, V. C. F. Gravity inversion of basement relief and estimation of density contrast variation with depth: *Geophysics*, v. 71, p. 51-58, 2006.

TIKHONOV, A. N.; ARSENIN, V. Y. Solutions of ill-posed problems. Washington: V. H. Winston & Sons, 1977. 258p.

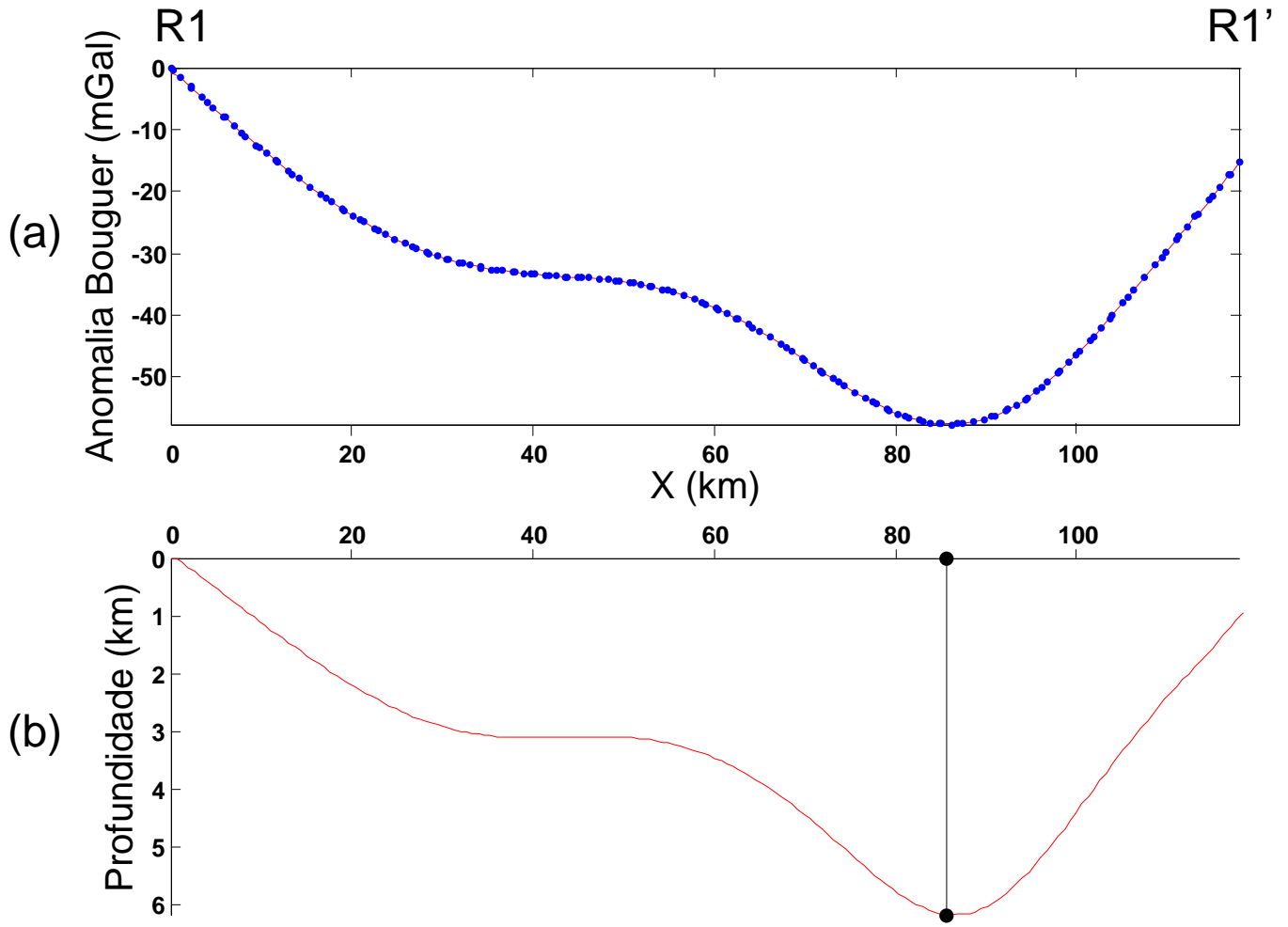


Figura 6 – Perfil gravimétrico R1R1'. (a) Os pontos em azul indicam a anomalia Bouguer observada e a linha vermelha indica a anomalia Bouguer ajustada. (b) Linha vermelha indica o relevo do embasamento estimado. A linha preta indica a posição do ponto P1 de intersecção entre os dois perfis.

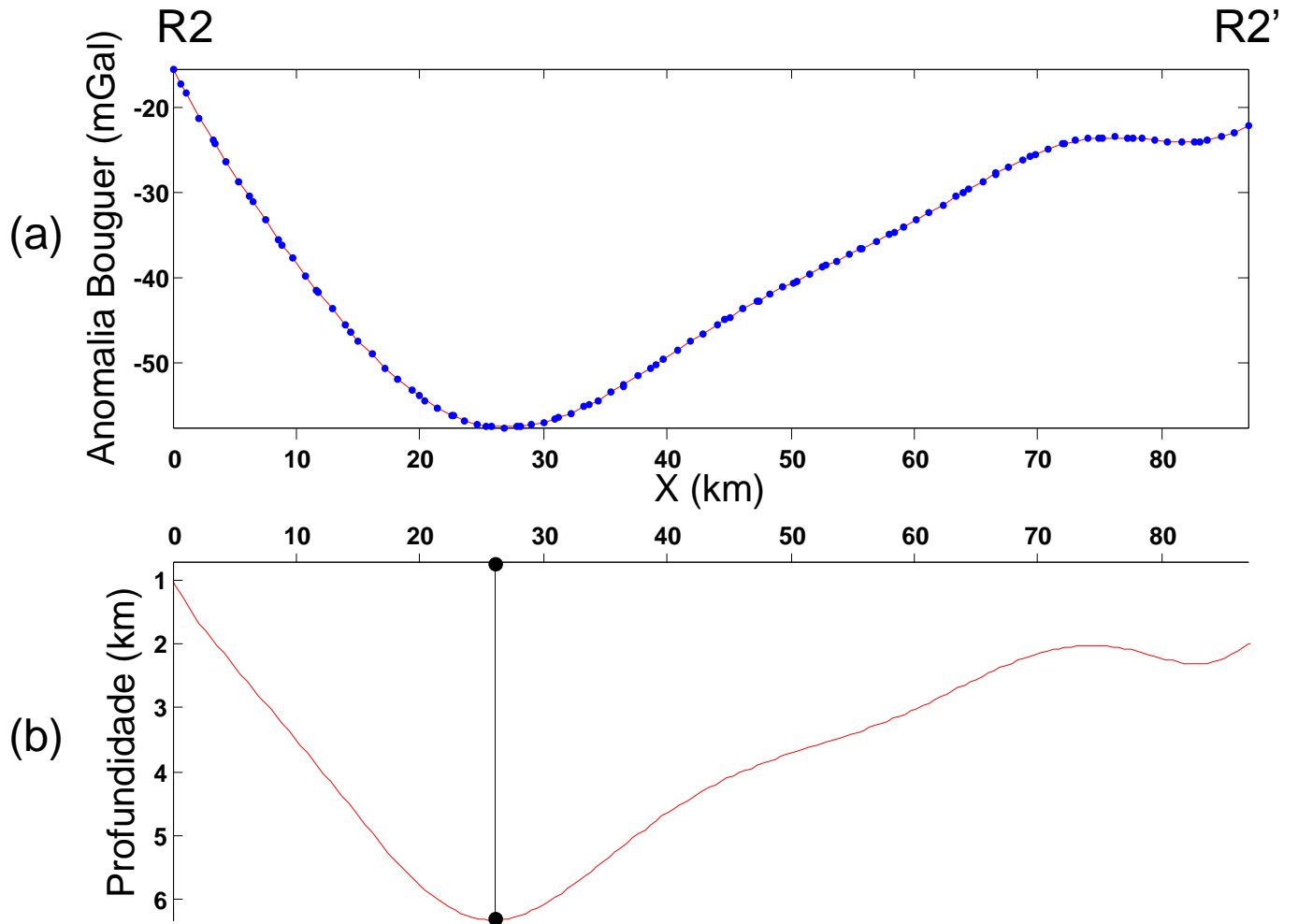


Figura 7 – Perfil gravimétrico R2R2'. (a) Os pontos em azul indicam a anomalia Bouguer observada e a linha vermelha indica a anomalia Bouguer ajustada. (b) Linha vermelha indica o relevo do embasamento estimado. A linha preta indica a posição do ponto P1 de intersecção entre os dois perfis.