

Campo

Levantamentos

- *Terrestres*
- *Marinhos*
- *Aéreos*

Campo

Levantamentos Terrestres

- Longo de estradas*
- Margens de rios*

1 - Escolha da estação base: isento de vibrações; vento, árvore ou tráfego;

2 – registra-se a leitura e a hora: estação base e as outras;

3 – a cada 2 ou 3 horas a estação base deve ser reocupada;

4 – grandes distâncias – novas estações base.

5 – o gravímetro deve estar nivelado; em planos inclinados utiliza-se tripé;

6 – a pé: 100 estações e cada 10m ou 60 a cada 50 m; carro: 30 estações a cada 5 km;

7 – acompanha o levantamento altimétrico.

Campo

Levantamentos Marinhos

- Fundo das águas;*
- Superfície das águas.*

Fundo das águas

- 1 – recipiente pressurizado à prova d'água;*
- 2 – embarcação estaciona – unidade de medida desce – nivela automaticamente – retorna (guincho);*
- 3 – profundidade até 800m*
- 4 – operação lenta: 6 a 8 estações por dia;*

Campo

Levantamentos Marinhos

Superfície das águas

- 1 – equipamento montado sobre plataforma estabilizadora;*
- 2 – embarcação em movimento – registro digital;*
- 3 – correção de Eotvos;*
- 4 – erro de 1 mgal;*
- 5 – em águas agitadas suspende-se o levantamento.*

Campo

Levantamentos Aéreos

- 1 – equipamento montado sobre plataforma estabilizadora;*
- 2 – aeronave em movimento – registro digital;*
- 3 – correção de Eotvos; com o termo quadrático;*
- 4 – variações na altura do vôo;*
- 4 – erro superior a 10 mgal;*
- 5 – inadequados para prospecção; servem para escala global e na prospecção de petróleo.*

Campo



Foto 3 - Estação à
margem do Rio Coiana



Foto 4 - Gravímetro La Coste
& Romberg usado no campo

Processamento de dados Geofísicos

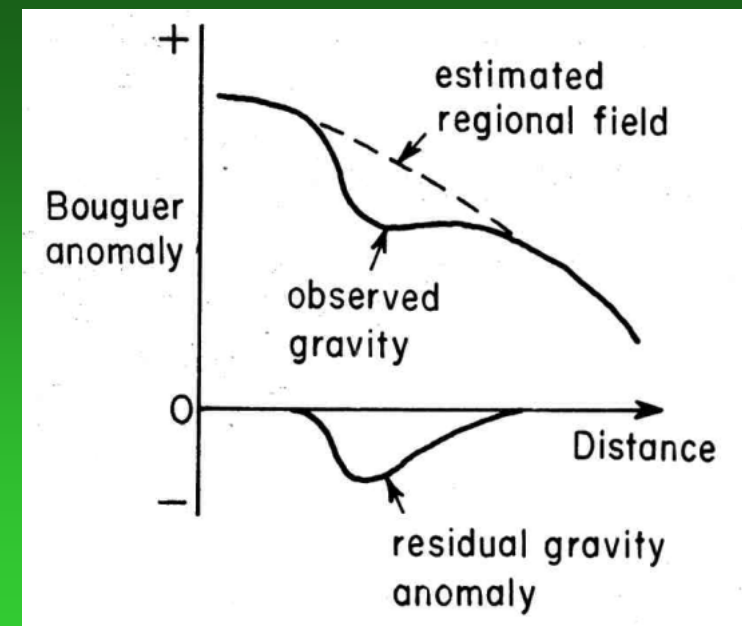
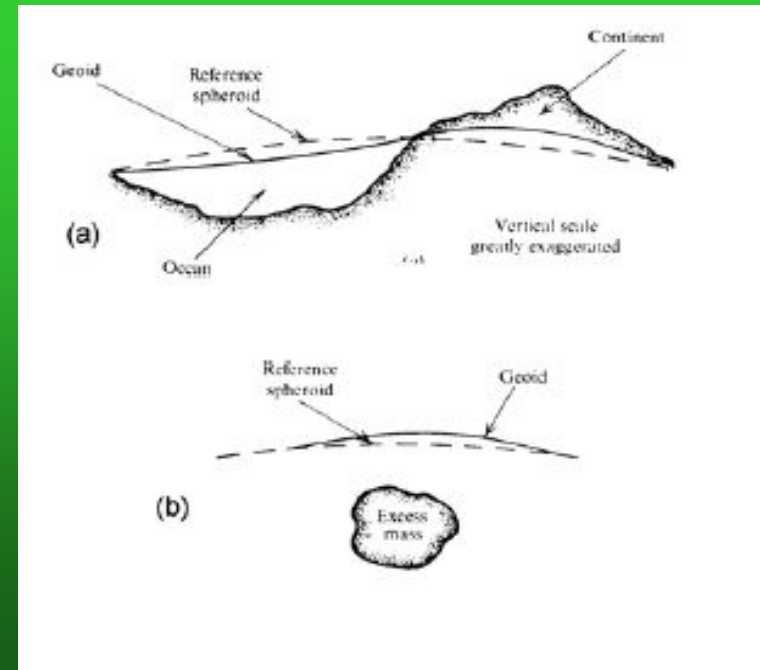
Processamento

Anomalias: desvios significativos do padrão esperado.

Valores altos ou baixos

Processamento

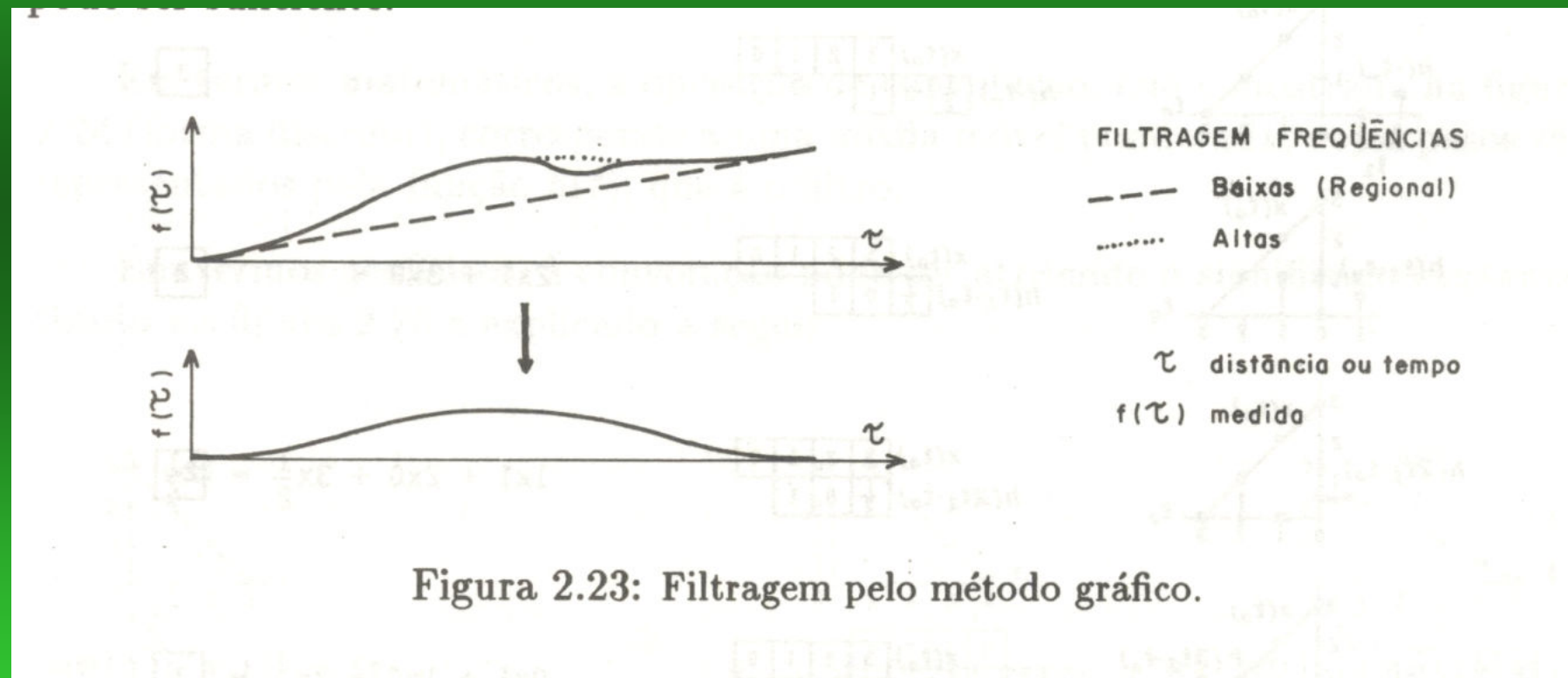
- As anomalias de Bouguer são freqüentemente caracterizadas por terem anomalias de vários comprimentos de onda (várias freqüências). Uma delas poderão ser de caráter regional, às quais podem estar sobrepostas anomalias de menor comprimento de onda, consideradas anomalias locais.
- O modo como se procede à separação entre as anomalias regionais e locais é variável. Podem ser aproximações simples por remoção de superfícies de formas simples (superfícies de um grau qualquer) até às filtragens no domínio da freqüência.



Processamento de dados Geofísicos

Taramento dos dados Geofísicos

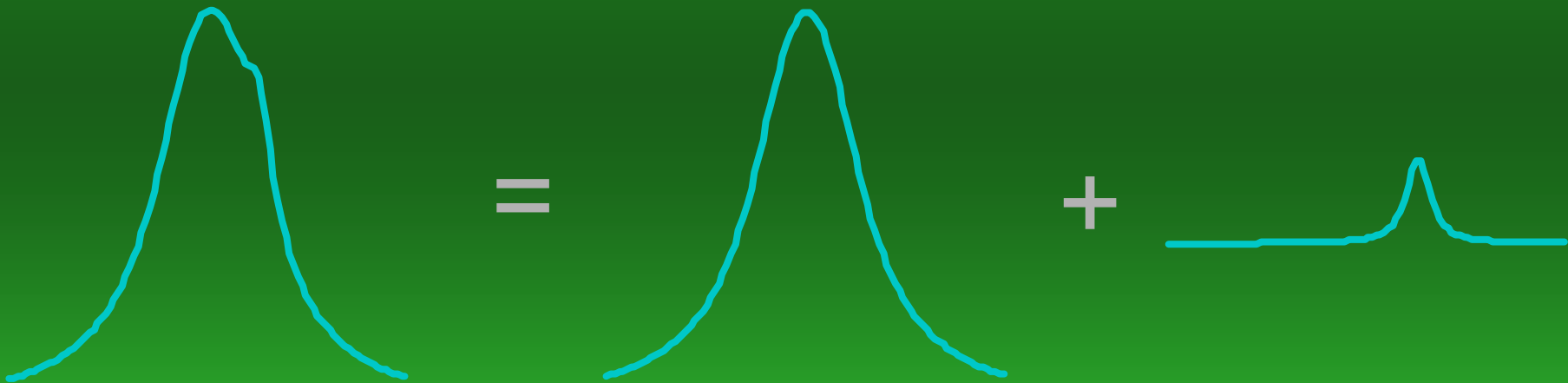
Filtragem gráfica



Métodos Potenciais - Gravimetria

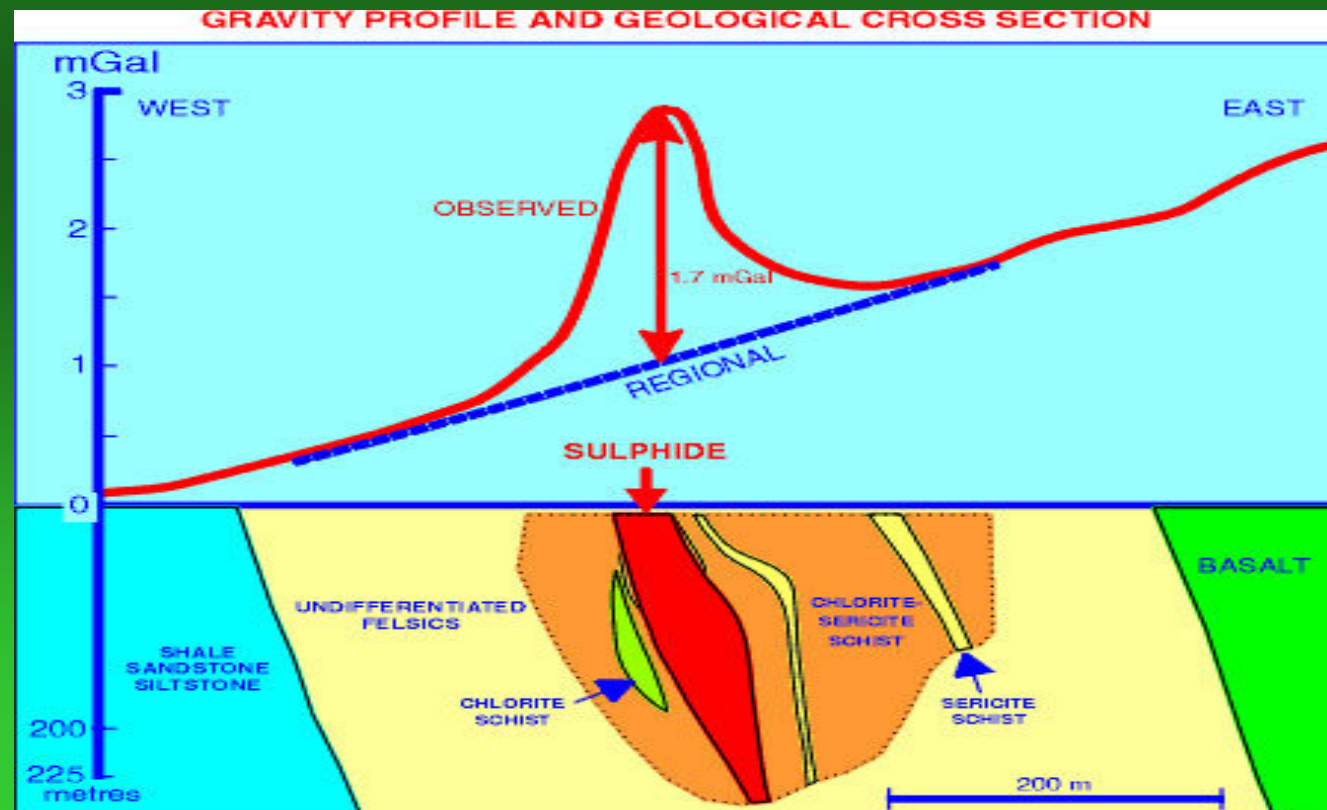
Separar uma anomalia em suas componentes

filtragem



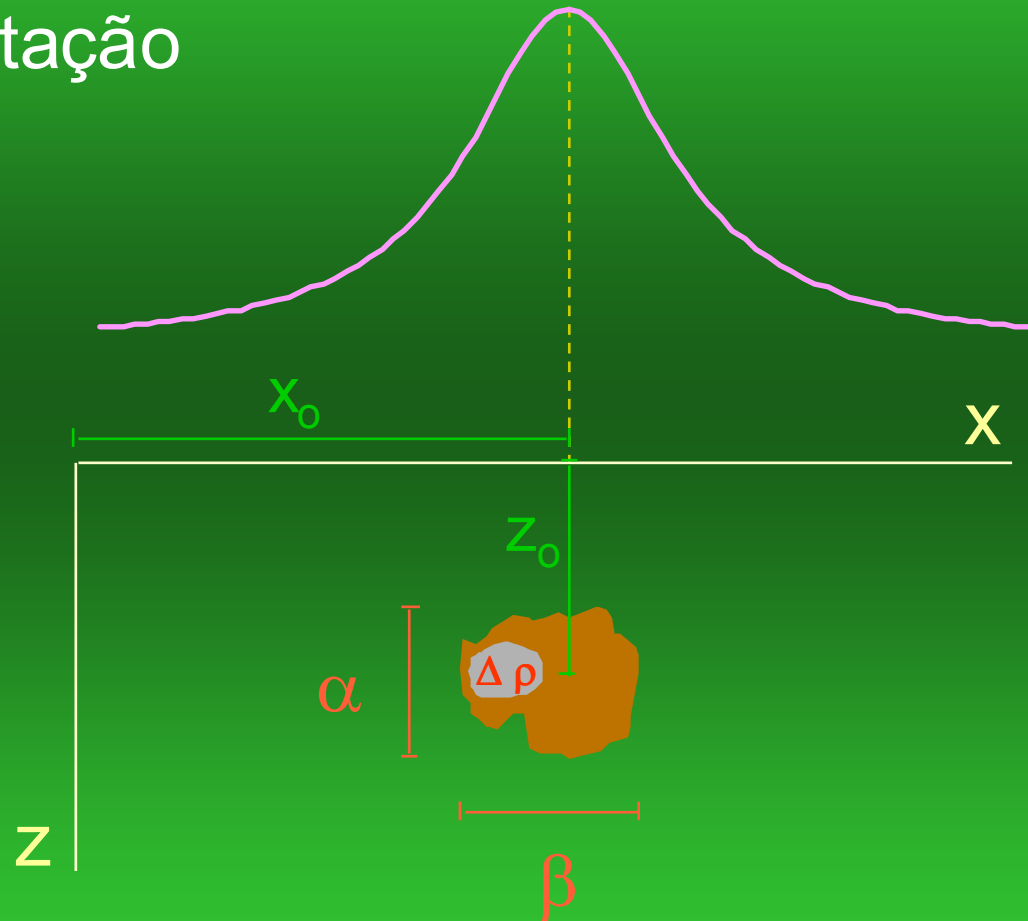
Métodos Potenciais - Gravimetria

- Interpretação
- Regional e residual



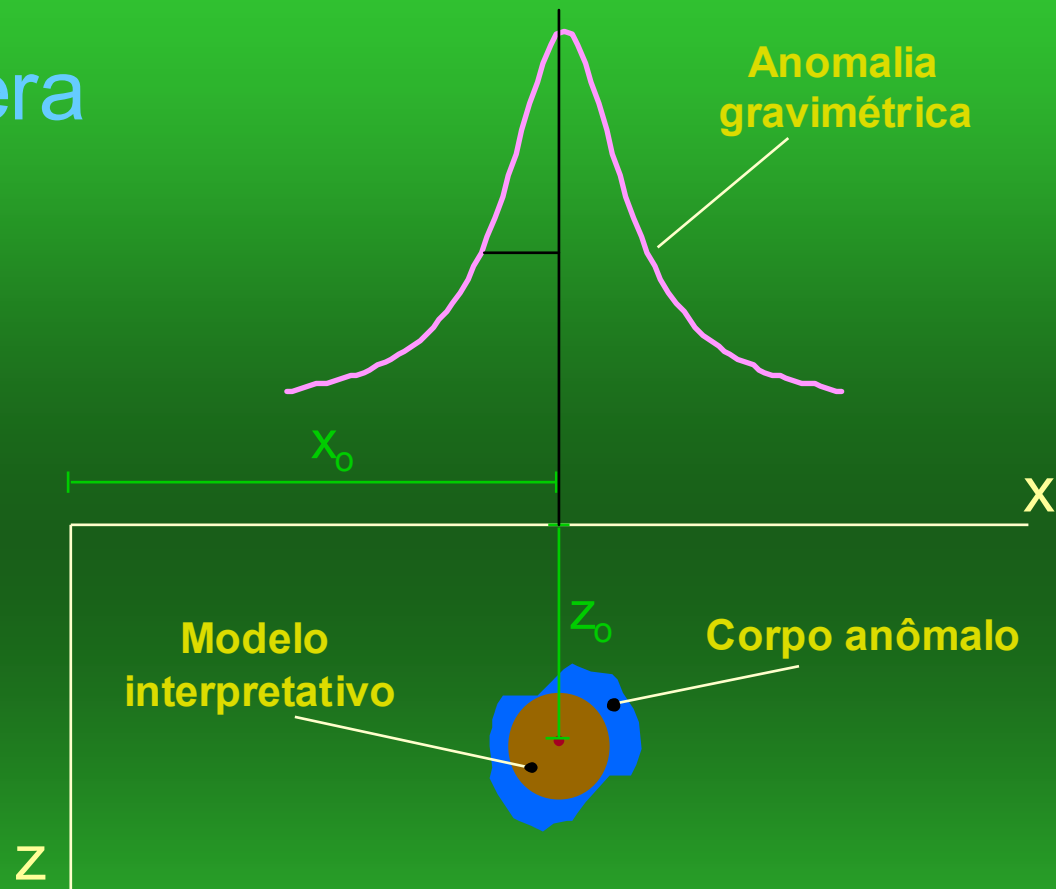
Métodos Potenciais - Gravimetria

- Interpretação



Métodos Potenciais - Gravimetria

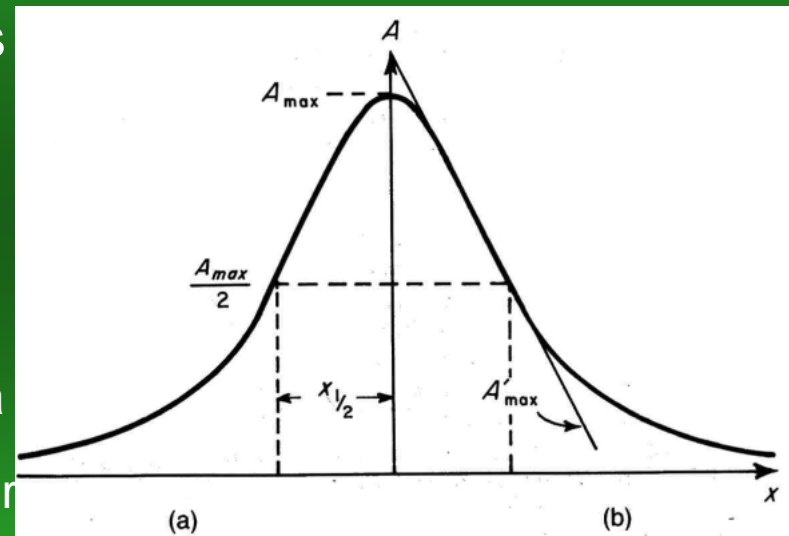
Esfera



$$g = \gamma \rho \cdot V \frac{z - z_0}{\left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

Processamento

- Depois de identificadas as anomalias locais geralmente queremos caracterizar as massas anômalas (as causas das anomalias), o que pode requerer modelagem.
- Lembre-se da ambigüidade! (não unicidade)
- Algumas estimativas preliminares.
 - A profundidade limite é definida como a máxima profundidade a que o topo do corpo pode estar e ainda assim produzir a anomalia observada.
- Estimativa da Profundidade o método da meia largura e a razão gradiente-amplitude.



Processamento

- Método da meia-largura
 - Se a anomalia for tridimensional vamos admitir é que ela resulta do efeito de uma massa pontual .

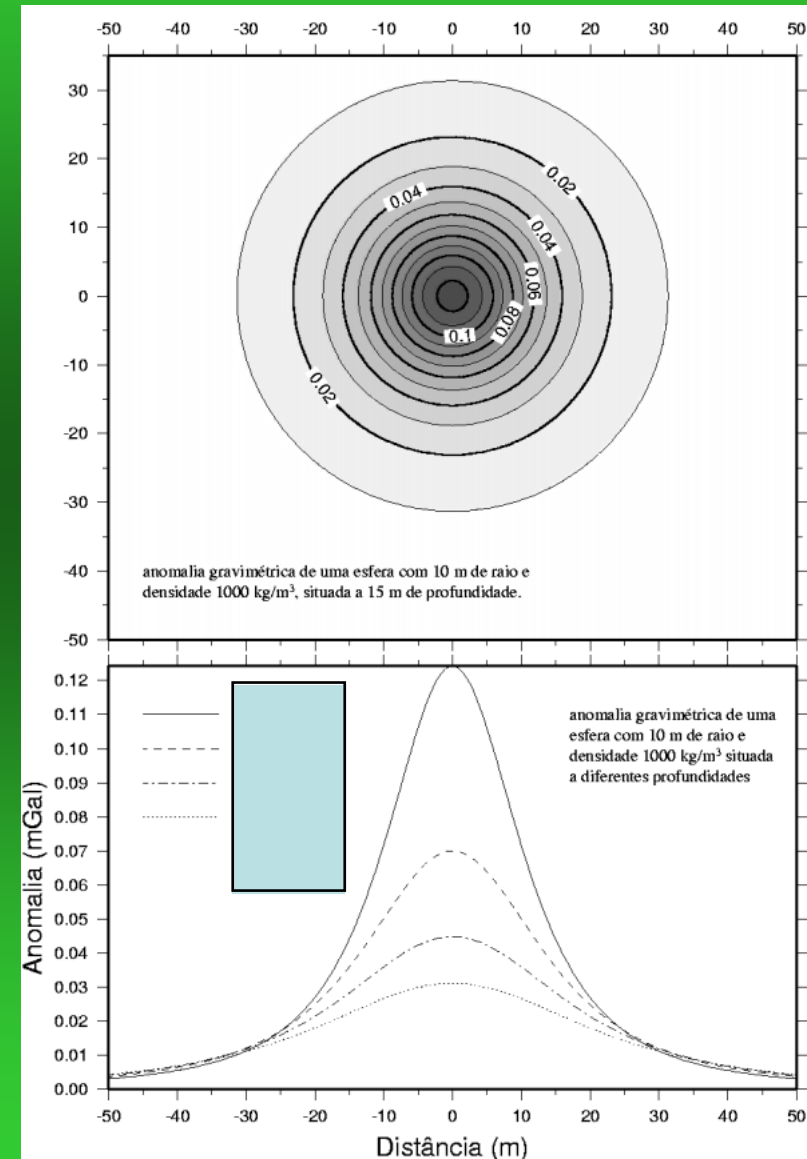
$$z = 1,3x_{1/2}$$

Métodos Potenciais - Gravimetria

Models	Maximum gravity anomaly	Notes
<i>Sphere</i>	$\Delta g_{\max} = (4/3)\pi G \delta \rho r^3 / z^2$	$z = 1.305 x_{1/2} \text{ (m)}$
<i>Horizontal cylinder</i>	$\Delta g_{\max} = 2\pi G \delta \rho r^2 / z$	$z = x_{1/2}$
<i>Vertical cylinder</i>	$\Delta g_{\max} = 2\pi G \delta \rho (s_1 - d)$ $\Delta g_{\max} = 2\pi G \delta \rho r$ $\Delta g_{\max} = 2\pi G \delta \rho (L + s_1 - s_2)$	If $L \rightarrow \text{infinity}$ If $d = 0$ If L finite $z = x_{1/2} \sqrt{3}$
<i>Buried slab</i> (Bouguer plate)	$\Delta g_{\max} = 2\pi G \delta \rho L$	For $L = 1000 \text{ m}$ and $\delta \rho = 0.1 \text{ Mg/m}^3$, $\Delta g_{\max} = 42 \text{ g.u.}$
<i>Infinite slab</i>	$\Delta g_{\max} = 2\pi G \delta \rho (D - d)$	
<i>Horizontal</i> <i>rectangular prism</i>	$\Delta g_p = 2G \delta \rho \left[x \ln \left(\frac{r_1 r_4}{r_2 r_3} \right) \right. \\ \left. + b \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + D(\phi_2 - \phi_4) - d(\phi_1 - \phi_3) \right]$	
<i>Vertical</i> <i>rectangular prism</i>	$\Delta g_{\max} = 2G \delta \rho [b \ln(d/L)]$	$L \gg b$
<i>Step</i>	$\Delta g_{\max} = 2G \delta \rho [x \ln(r_4/r_3) \\ + \pi(D - d) - D\phi_4 + d\phi_3]$	
All distances are in metres unless stated otherwise; Δg_{\max} in mGal and $\delta \rho$ in Mg/m^3 , and the factor $2\pi G = 0.042$.		

Processamento

- Exercício - Estime as profundidades limite das anomalias.



Processamento

- Excesso de massa O excesso de massa refere-se à diferença das massas entre a “rocha regional” e a massa do corpo.
- A área do levantamento é dividida em n células de uma grelha de área Δa e anomalia média Δg . o excesso de massa M_e é dado por
- 1 - $ME=23,9(\sum \Delta g \Delta A)$ (toneladas) – Baseada no teorema de Gauss – Teoria do potencial

$$M_e = \frac{\sum_i^n \Delta g_i \Delta a_i}{2\pi G}$$

$$G = 6,667 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{Mg}^{-1} \text{s}^{-2}$$

- 2 - Obs.: Massa total da esfera: $M \approx 255 \Delta g (x_{1/2})^2$ (toneladas)
- É muito importante que a anomalia residual decaia para zero dentro da zona do levantamento. Para calcular a massa real do corpo (M) as densidades do terreno (ρ_2) e do corpo anômalo (ρ_1) têm que ser conhecidas. Então

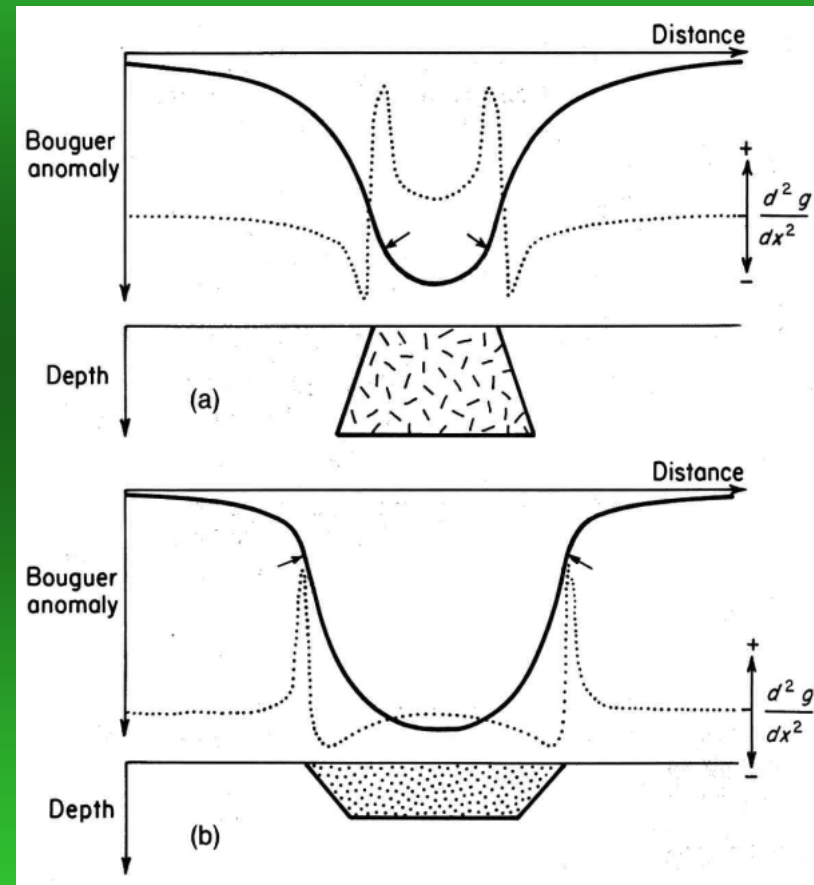
$$M = \frac{\rho_1 M_e}{(\rho_1 - \rho_2)}$$

Processamento

- Exercício 2 –
 - Considere uma cavidade esférica de raio r , inserida numa rocha com densidade de $2,5\text{Mg/m}^3$.
- A) Calcule a profundidade do centro de massa. Dados: $A_{\text{máx}} = 0,048 \text{ mGal}$, $x_{1/2} = 2,2 \text{ m}$.
- $Z = 1,305 \times 2,2 = 2,87 \text{ m}$
- B) Calcule a profundidade do topo da esfera
- $R^3 = 0,048 \times (2,87)^2 / (0,0286 \times 2,5)$
 - $R = 1,77 \text{ m}$
 - $D = 2,87 - 1,77$
- C) Calcule a deficiência/excesso de massa
- $M = \text{densidade} \times \text{volume} = 2,5 \times (4/3)\pi r^3 = 58 \text{ toneladas}$
 - $M = 255 \Delta g (x_{1/2})^2 = 255 \times 0,048 \times (2,2)^2 = 59 \text{ toneladas}$

Processamento

- Ponto de inflexão
 - A localização dos pontos de inflexão (pontos da curva onde a segunda derivada é igual a zero) dos perfis gravimétricos pode fornecer uma informação útil sobre as fronteiras do corpo anômalo.
- Exemplos:
 - Sobre estruturas com “contactos inclinados para fora”, os pontos de inflexão (identificados pelas setas) situam-se na base da anomalia.
 - Sobre estruturas com “contatos inclinados para dentro” (caso de bacias sedimentares) os pontos de inflexão situam-se nas bordas da anomalia.



Processamento

Geophysical modeling of geode in basalts type deposit

4

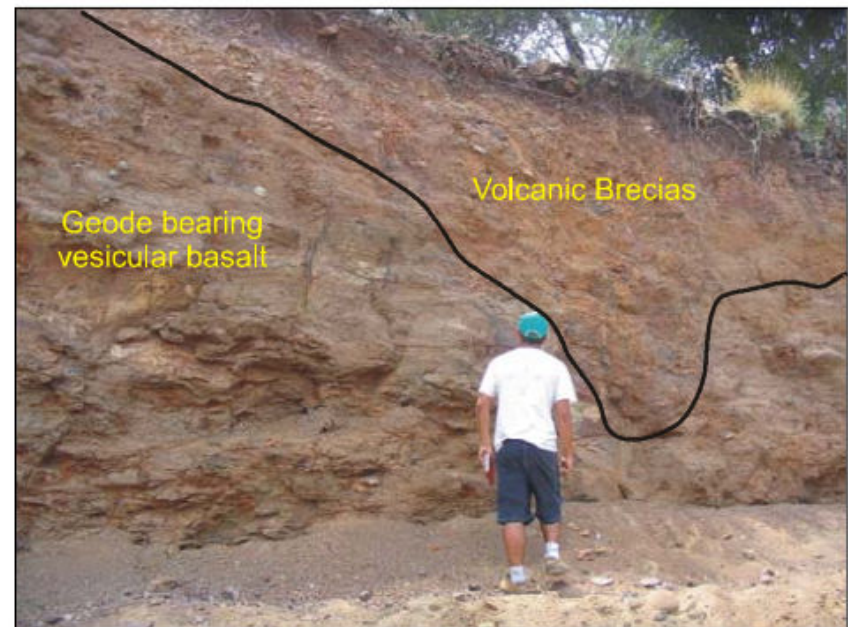
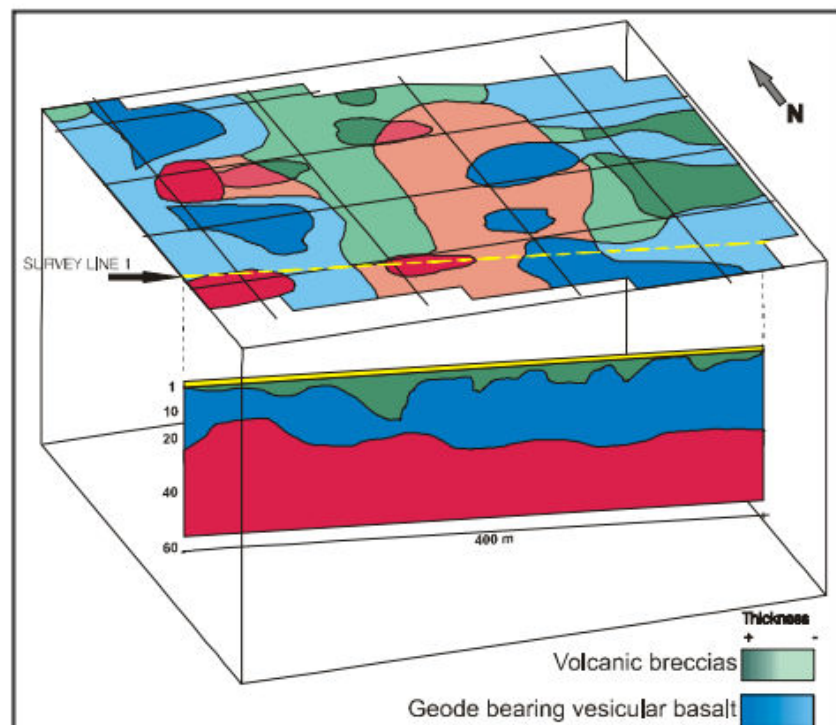


Figure 9. Detail of the observed irregular contact between breccias and geode bearing basalt.

Processamento

- 2ª. derivada

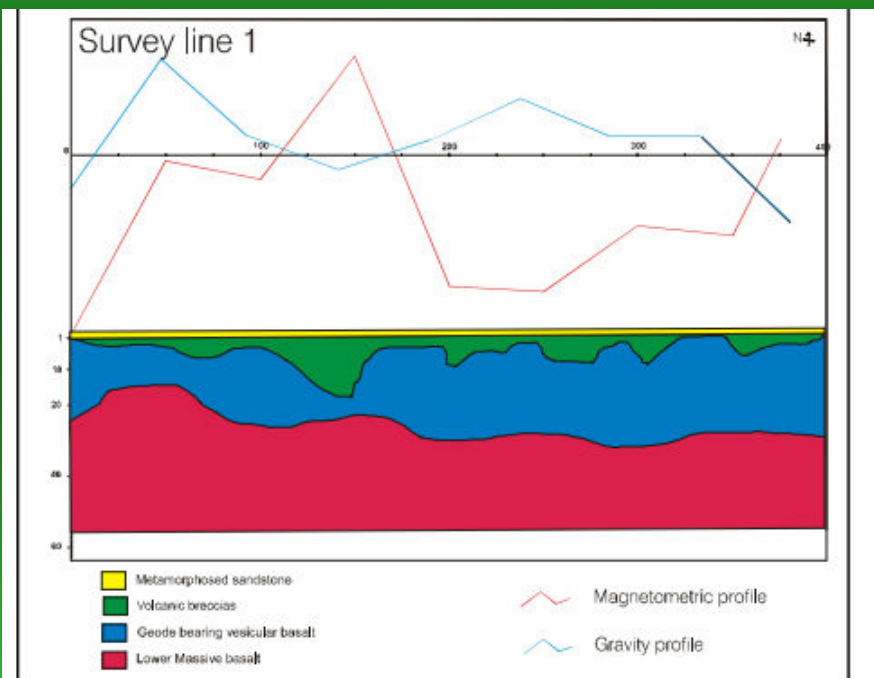


Figure 7. Geophysical model for thickness distribution of most important lithological units contributing for magnetometric and gravimetric anomalies. Survey line 1 model is presented.

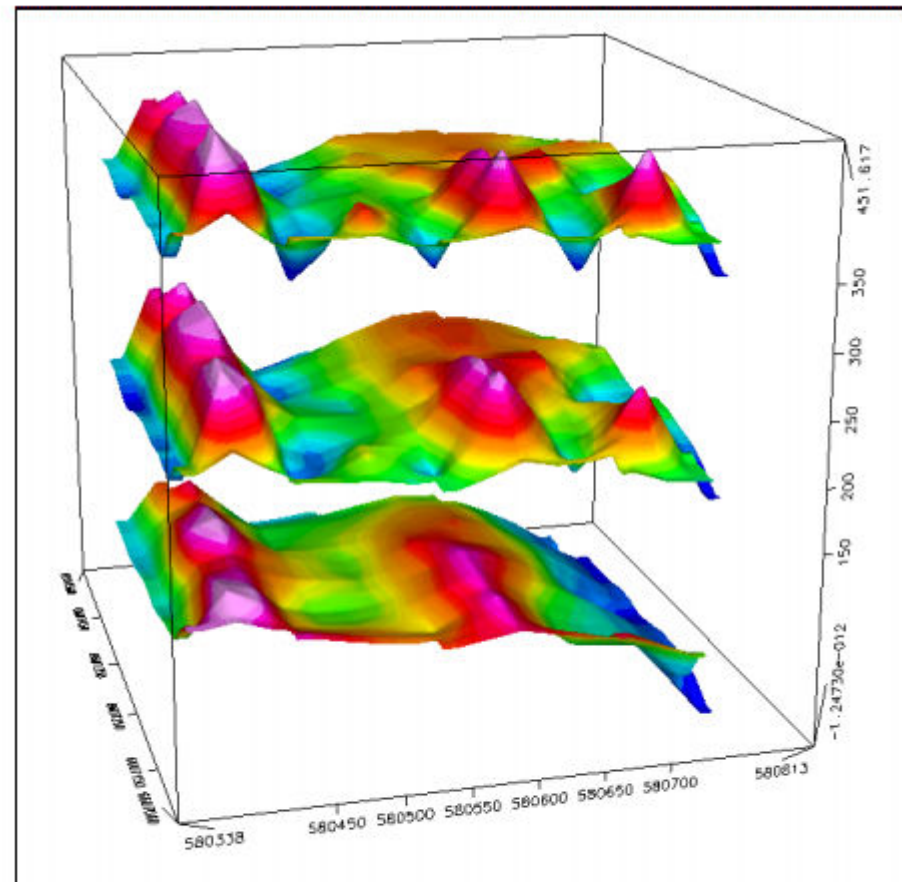
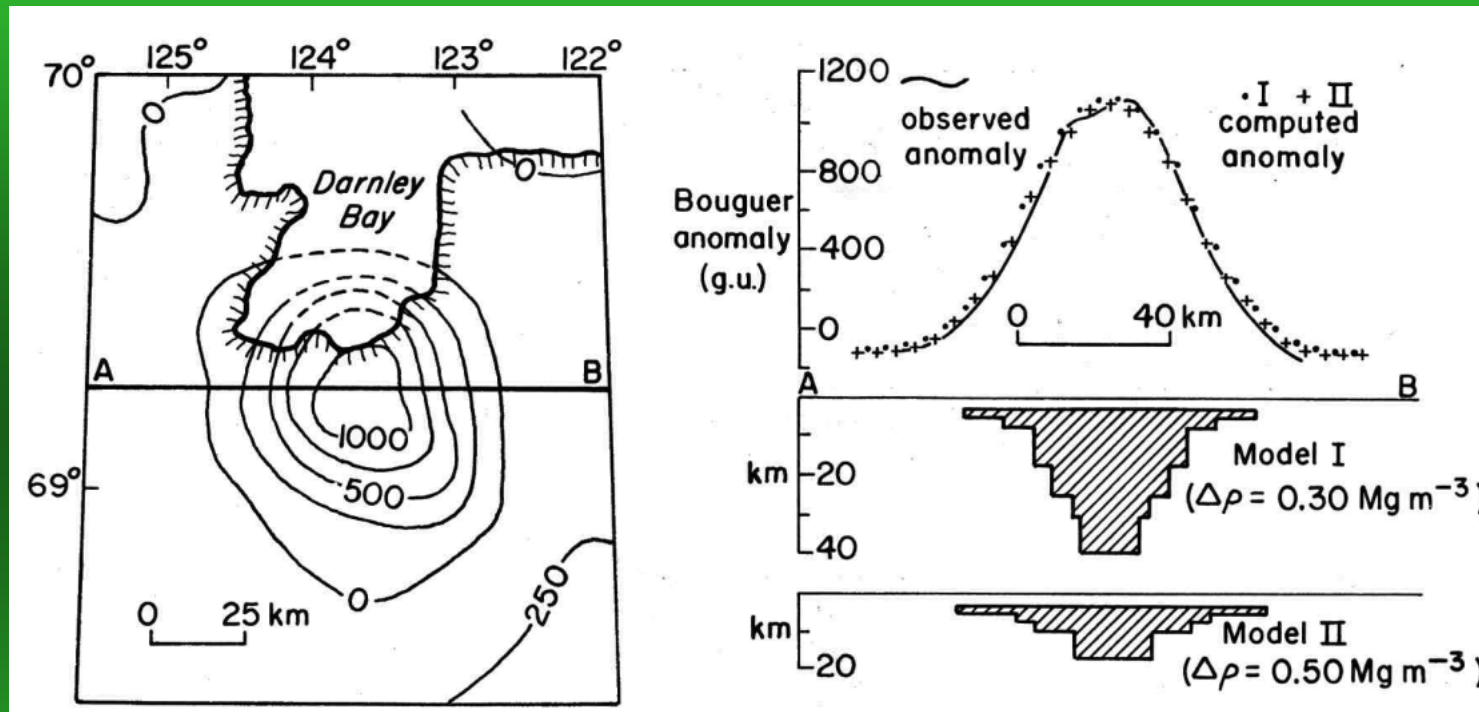


Figure 6. Superposition of gravimetric maps. Bouguer anomaly, first and second vertical derivative maps from the base to top.

Processamento Interpretação

- Pode-se estimar a estrutura abaixo da anomalia através do ajuste direto (conhecido Problema Direto) ou inversão dos dados (Problema inverso)
- Devido à ambigüidade do problema inverso, o modelo obtido não é único. A ambigüidade só pode ser diminuída usando restrições (baseadas em informação de outra natureza) sobre a forma do corpo anômalo

Processamento Interpretação



- Uma anomalia gravimétrica circular. Duas interpretações possíveis em termos de um modelo calculado a partir de um conjunto de cilindros verticais e coaxiais.

Processamento Interpretação

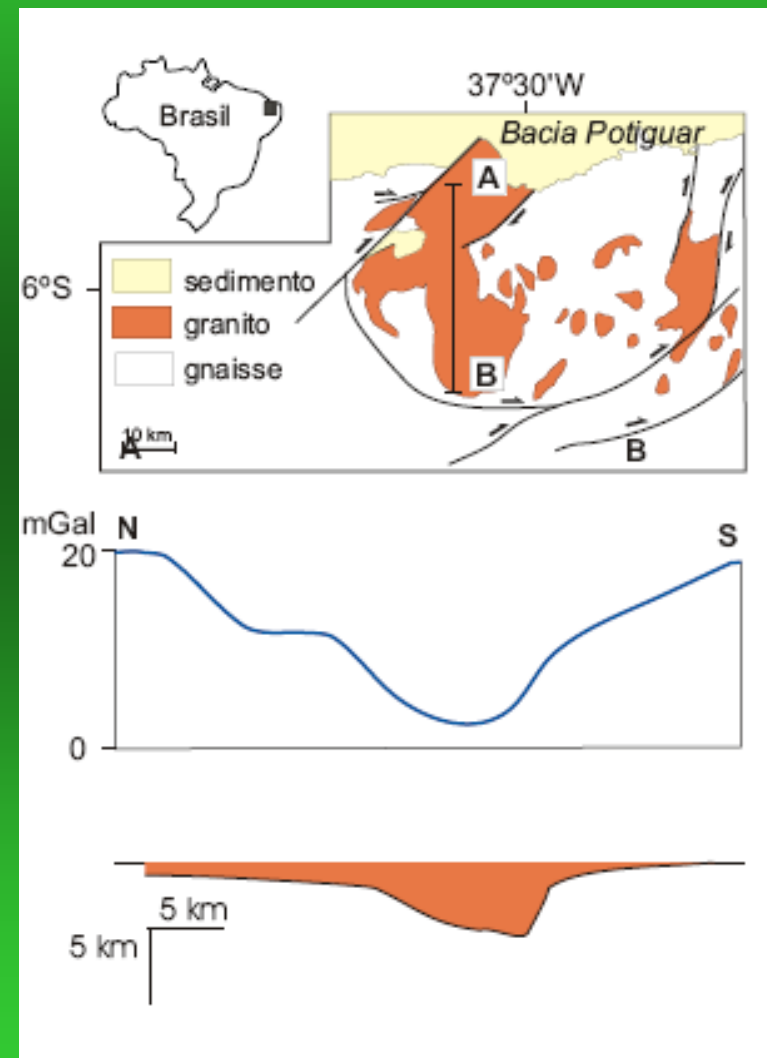
- Os levantamentos gravimétricos são também usados na localização de bacias sedimentares com uma relação estreita a problemas de hidrologia (determinar a forma de potenciais aquíferos).
- O que causa anomalia negativa?
 - Em grande escalas, pequenas anomalias negativas são associadas com domos de sal, ou seja, por rochas com densidade relativamente baixa ou sedimentos localizados na sub-superfície, em contato com outras rochas de maior densidade existente no substrato. Grandes anomalias são encontradas em cadeias montanhosas ou associado a material intrusivo de baixa densidade.

Processamento Interpretação

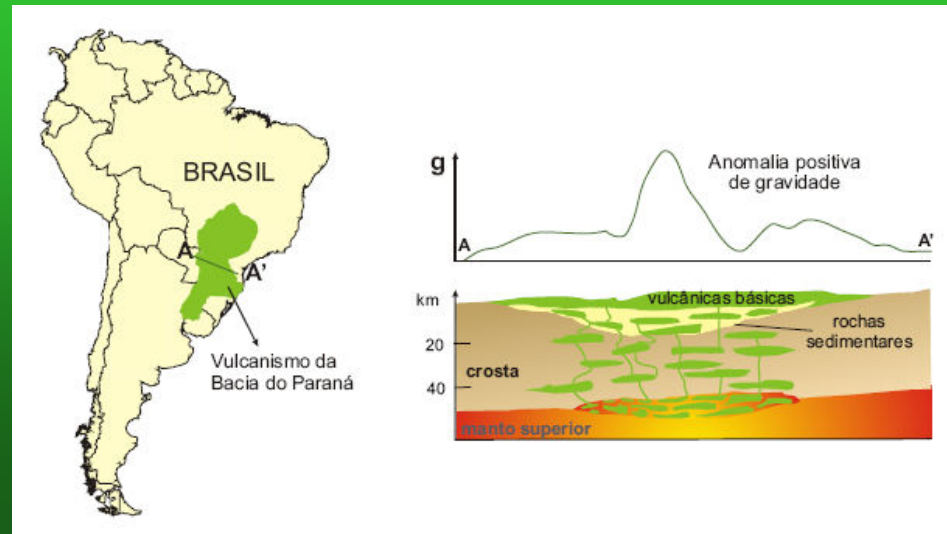
- Os levantamentos gravimétricos são também usados na localização de bacias sedimentares com uma relação estreita a problemas de hidrologia (determinar a forma de potenciais aquíferos).
- O que causa anomalia negativa?
 - Em grande escalas, pequenas anomalias negativas são associadas com domos de sal, ou seja, por rochas com densidade relativamente baixa ou sedimentos localizados na sub-superfície, em contato com outras rochas de maior densidade existente no substrato. Grandes anomalias são encontradas em cadeias montanhosas ou associado a material intrusivo de baixa densidade.

Interpretação

- Anomalia de gravidade causada pelo granito Tourão (situado no RN). O perfil A-B mostra uma acentuada queda no valor de gravidade que coincide com o setor de maior profundidade do granito, menos denso que as rochas encaixantes.



Interpretação



- Anomalias Positivas → ocorrem quando os valores de gravidade medidos são maiores do que os previstos e são causados pela presença de material com alta densidade na superfície ou em profundidade.
- Materiais metálicos de alta densidade localizados em sub-superfície.

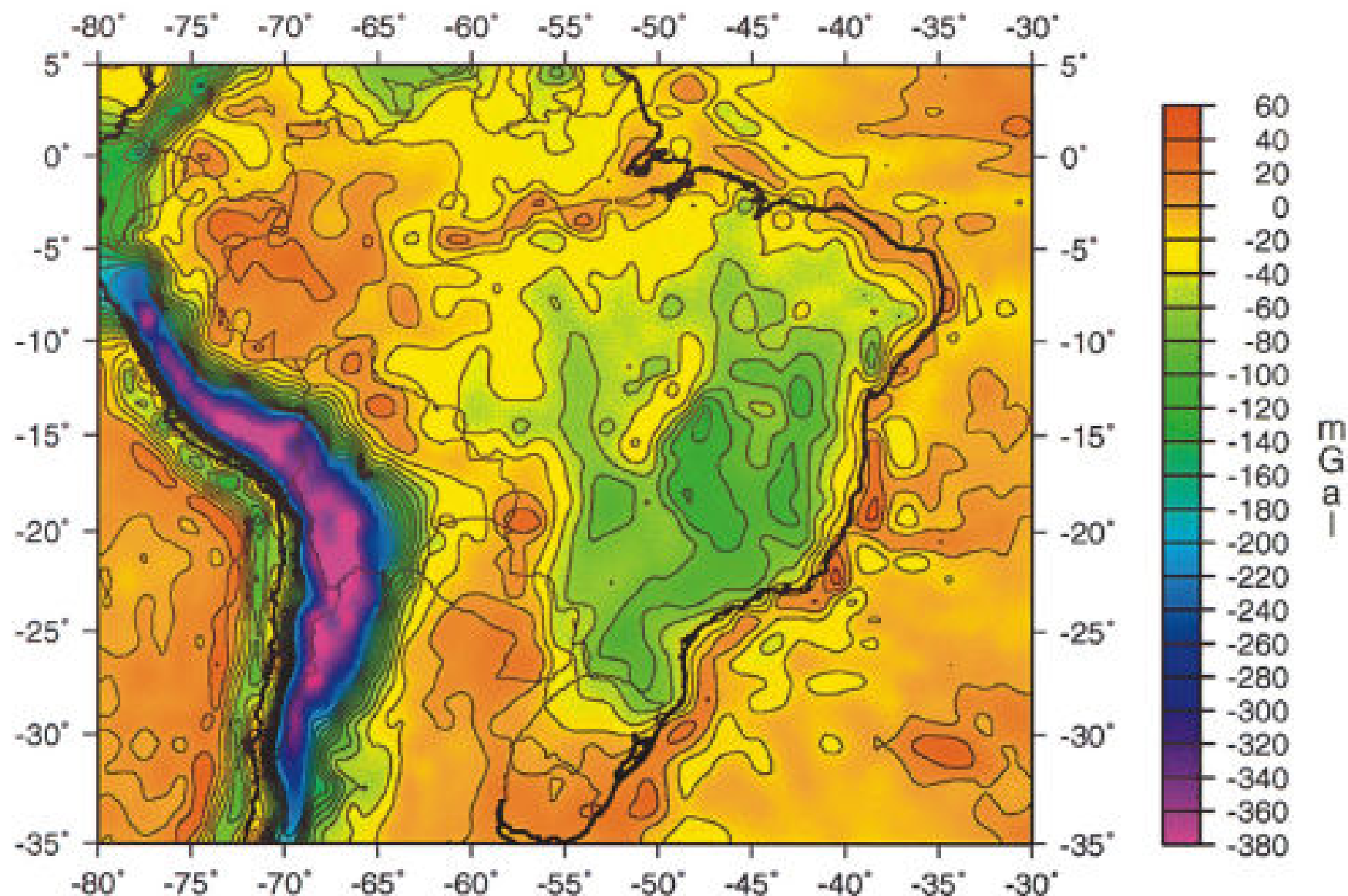


Fig. 4.6 Mapa de anomalias Bouguer do Brasil e áreas adjacentes. O intervalo das linhas de contorno é de 20 mGal. **Fonte:** Sa et al. 1993.

- A tabela abaixo mostra dados hipotéticos de um levantamento gravimétrico feito numa área.

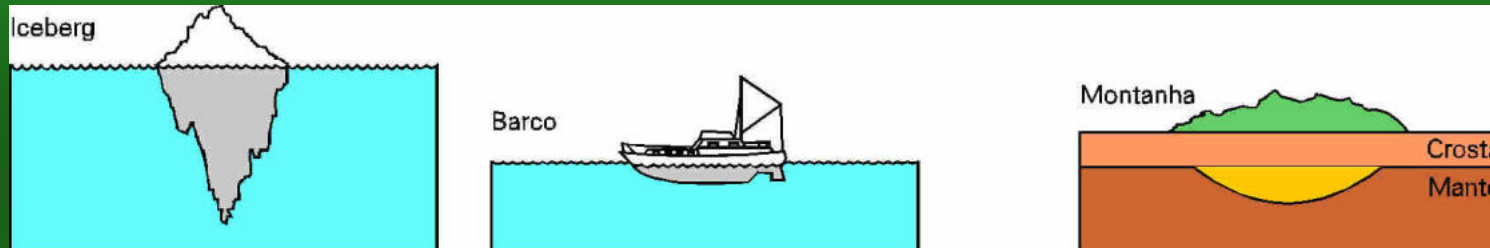
• Estação (m)	Hora da medida	Valor medido (mgal)	Cota
• A	8:45	140,34	30,2
• B	9:15	150,04	10,4
• C	10:15	151,51	9,6
• A	10:25	141,78	-
• D	10:35	151,45	9,5
• E	10:50	149,33	8,7
• F	11:13	148,46	8,6
• A	11:20	142,98	-

- Observando que **A** serviu como local para a estação base e que foi utilizado um gravímetro antigo cujas medidas carecem de uma correção de deriva automática, determine essa correção e aplique aos dados. Além disso, supondo que a densidade média das rochas na região vale $2,73 \text{ g/cm}^3$, calcule a correção Bouguer. Também calcule a correção de ar-livre, calcule a correção de latitude (18°S). Para finalizar, aplique todas as correções calculadas aos dados medidos. Considere que o nível do base é o nível do mar e que o paralelo de referência é o que passa pelo ponto A.

O Princípio da Isostasia

- Bouguer → 1735-1745 – Observou que as montanhas da Cordilheira dos Andes exerciam uma força de atração gravitacional menor do que a esperada para respectivo volume.
- Após um século – H. Everest observou o mesmo nos Himalaias.
- 1855 – J. H. Pratt e G. Airy propuseram independentemente hipótese para explicar essas observações.
- 1889 – o termo ISOSTASIA foi denominado como o mecanismo que explica

O Princípio da Isostasia



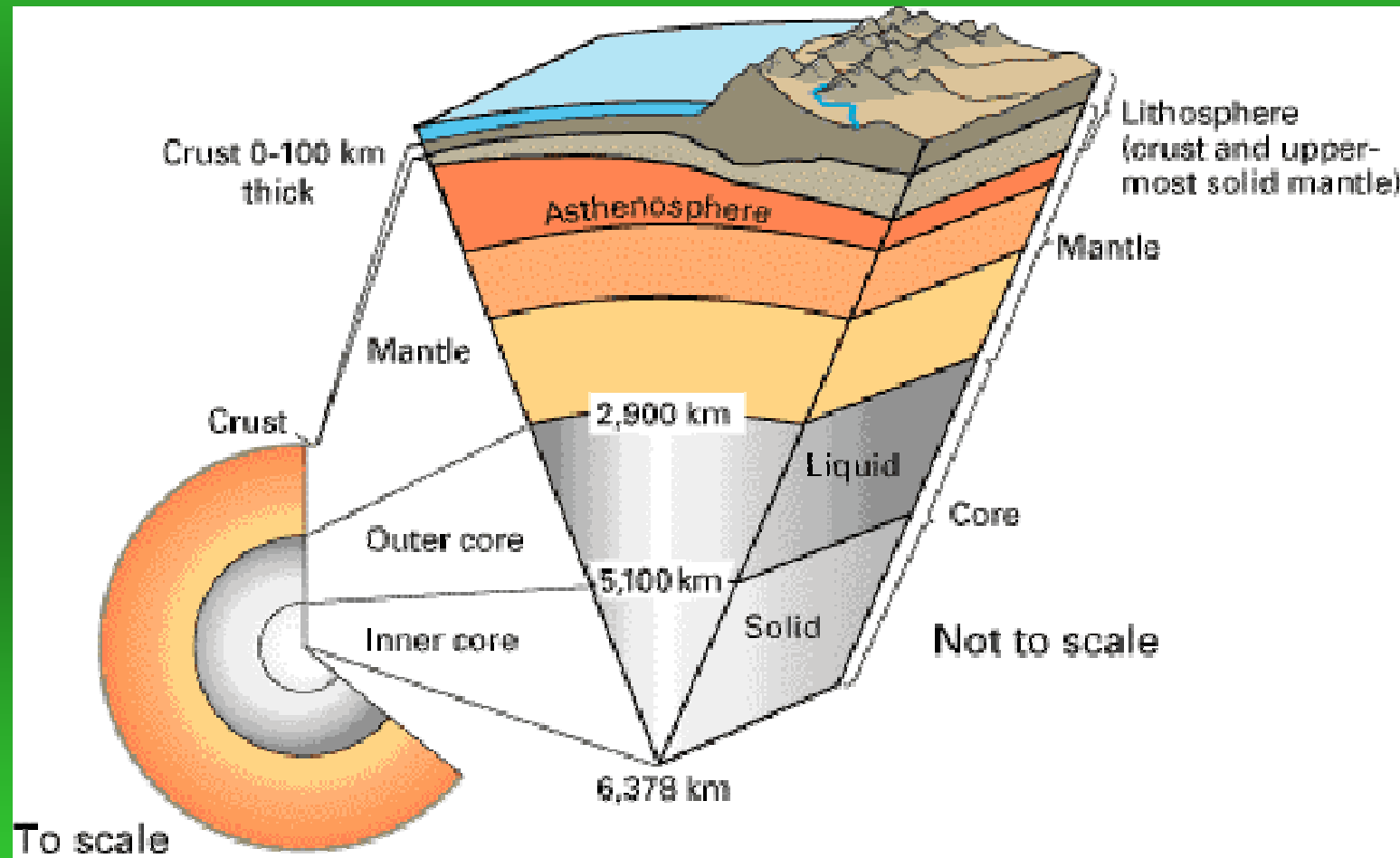
O iceberg e o navio flutuam porque o volume submerso é mais leve que o volume de água deslocado.

De igual forma, o volume relativamente leve da Crosta Continental, projetado no Manto, permite a “flutuação” da montanha.

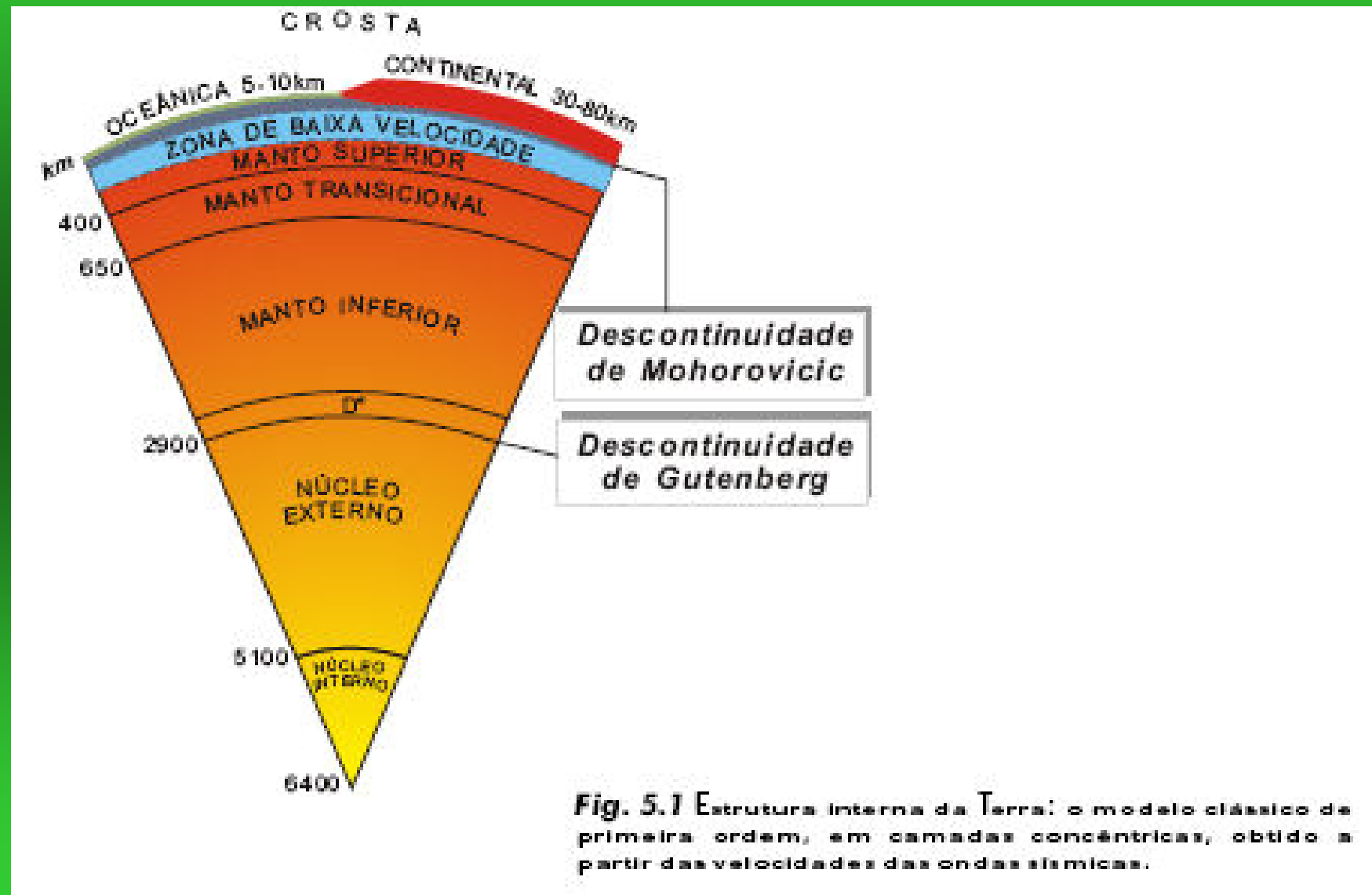
O Princípio da Isostasia

- Conceito de isostasia – Princípio de equilíbrio hidrostático de Arquimedes. No qual o corpo ao flutuar desloca uma massa de água equivalente à sua própria. (Cadeia montanhosa poderia comporta-se como uma rolha flutuando na água).
- A camada superficial da Terra relativamente rígida flutua sobre um substrato mais denso.
 - Camada rígida → Litosfera
 - Substrato denso → Astenosfera (comporta-se como fluído viscoso – ocorrem deformações plásticas).
- O equilíbrio isostático é atingido quando um acúmulo de carga ou perda de massa existente na parte emergida é contrabalançada, respectivamente, por uma perda de massa ou acúmulo de carga na parte submersa.

O Princípio da Isostasia

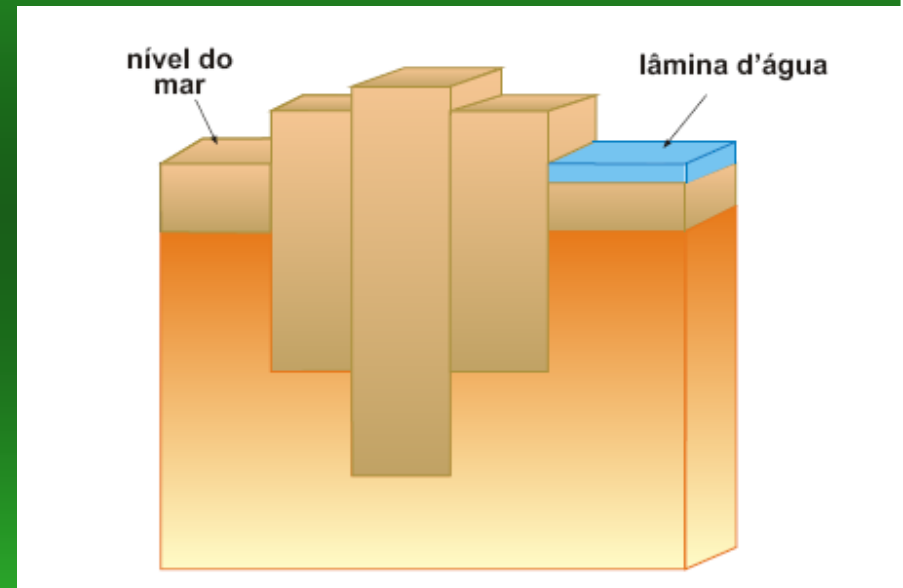


O Princípio da Isostasia



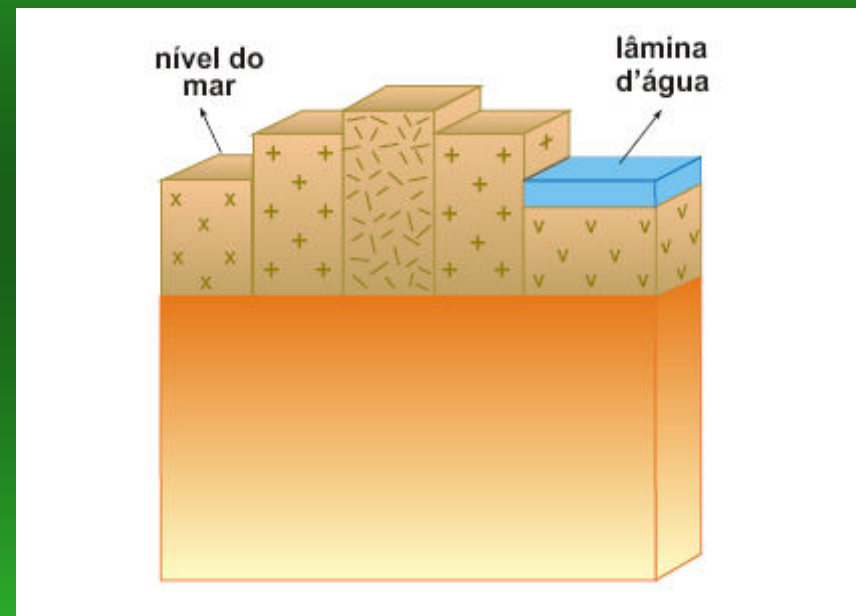
O Princípio da Isostasia

- Modelo de Airy
 - As montanhas são mais altas por possuírem raízes mais profundas, da mesma forma que um imerso bloco de gelo flutuando no mar
 - A camada superior rígida tem densidade constante inferior àquela do substrato plástico. A condição de equilíbrio isostático é atingida pela variação da espessura da camada superior.



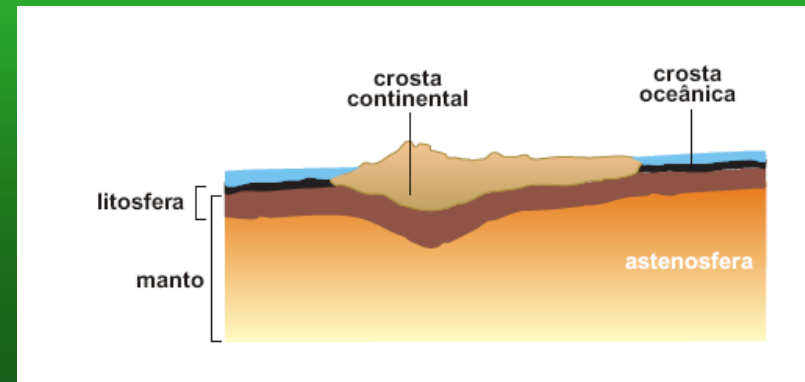
O Princípio da Isostasia

- Modelo de Pratt
 - As montanhas são elevadas por serem compostas por rochas de menor densidades do que as existentes nas regiões vizinhas, havendo neste caso diferenças laterais na densidade.
 - A camada superior rígida é composta por blocos de igual profundidade, mas com densidades diferentes e menores do que aquela do substrato plástico.

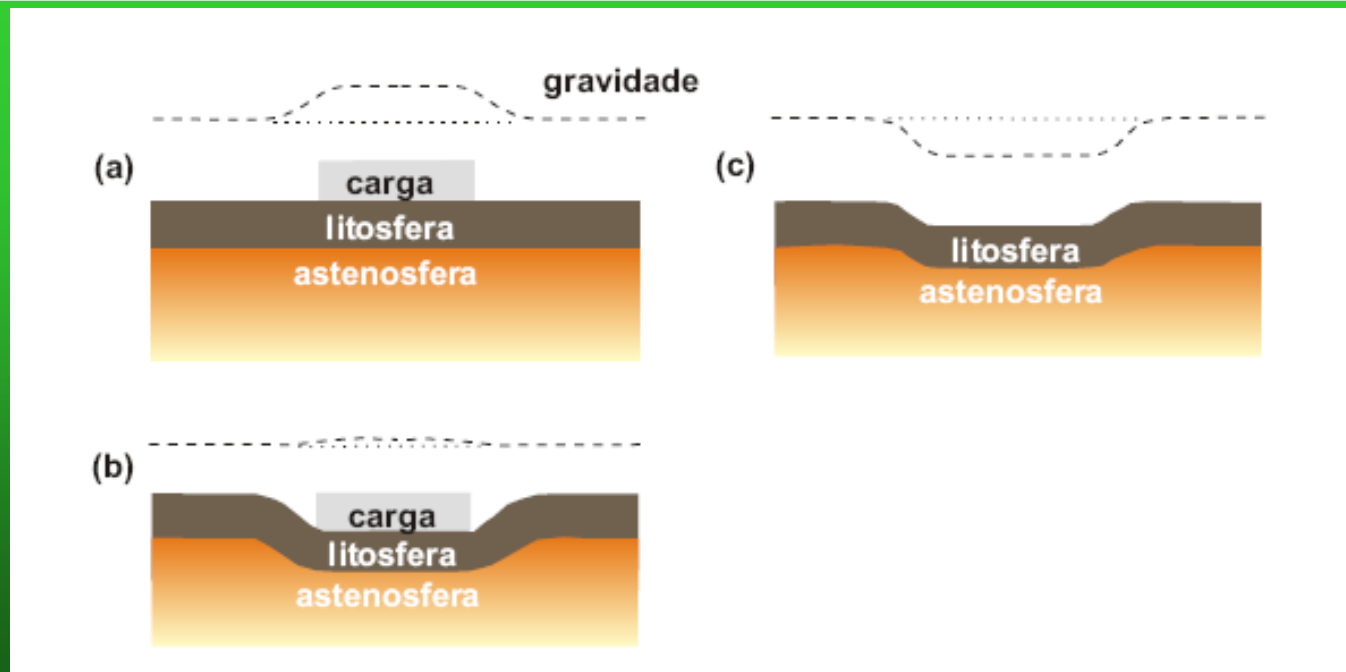


O Princípio da Isostasia

- Compensação isostática
 - As montanhas são mais altas, pois se projetam para as partes mais profundas do manto.
 - Os continentes situam-se acima do nível do mar devido às diferenças de composição e densidade.
 - A crosta continental situa-se acima do nível do mar devido a isostasia.



Raízes Montanhas → Modelo Airy
Crosta oceânica situa-se em níveis topográficos mais baixos do que a crosta continental, devido sua densidade → Modelo Pratt



- Litosfera, em algumas situações geológicas, uma carga muita elevada pode ser adicionada ou removida da litosfera, deformando-a – Distúrbio da compensação isostática.
- Adição → extravasamento de grande quantidades de basaltos em províncias ígneas, pela sedimentação ou pela formação de calotas de gelo.
 - Litosfera entra em subsidência, para que o equilíbrio isostático seja atingido. (Groenlândia)
- Remoção → degelo das calotas de glaciais ou erosão interna de áreas de montanhas.
 - Litosfera entra em soerguimento. (Escandinávia)

Referencias

Bibliografia

1. TELFORD, W. M., L. P. GELDART, & R. E. SHERIFF, Applied Geophysics, 2a Edição. Cambridge University Press, 1990.
2. CUNNINGHAM, M. Gravity Surveying Primer. A nice set of notes on gravitational theory and the corrections applied to gravity data.
3. TEIXEIRA W., et. al , Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
4. KEAREY P. & M. BROOKS. An Introduction to Geophysical Exploration. 2ª. Edição. Blackwell Science Ltd Editorial.