

Aceleração da Gravidade: é a soma de vários efeitos!

- No valor da medida da aceleração estão embutidos vários efeitos:
- efeito da deriva do equipamento
- efeito cinemático nas medidas quando o gravímetro encontra-se em movimento (aerogravimetria, gravimetria marinha)
- efeito da atração luni-solar
- efeito do movimento de rotação e consequente distribuição da massa interna da Terra
- efeito da elevação da estação gravimétrica com respeito ao nível do mar
- efeito da massa entre a estação gravimétrica e o nível do mar
- efeito das massas que suportam as cargas topográficas
- efeito das variações de densidade dentro da crosta e do manto superior

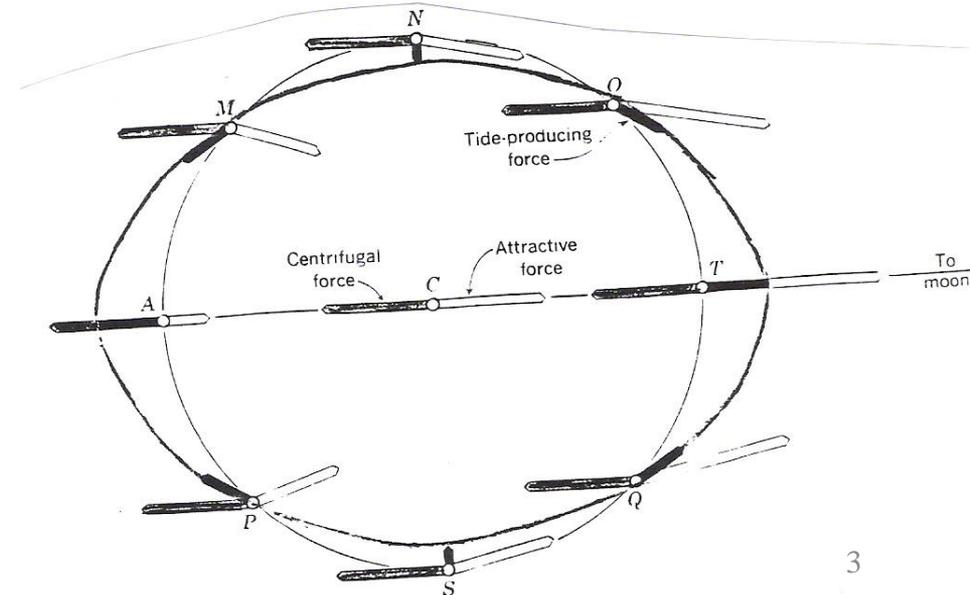
Operação do instrumento: deriva e correção de Eötvös

- Deriva:
- Causa – deformação mecânica do sistema com o tempo
- Correção – curva de deriva
- Amplitude – 0,1 mGal/dia

- Correção de Eötvös ou força de Coriolis:
- A velocidade angular de um observador se movendo para leste é maior do que aquele parado em um ponto na superfície da Terra.
- Um observador que se move para leste tem aceleração gravitacional menor, e um observador se movendo para oeste tem atração gravitacional maior.
- Necessidade de conhecer o rumo, azimute e velocidade da aeronave/navio.

Variação temporal - correção de maré

- Atração do Sol e da Lua (principal) causa maré, que causa variação da distância do ponto de medida ao geóide.
- Depende da latitude; maior em latitudes baixas e tem período de cerca de 12 h.
- Amplitude menor que 0,3 mGal, mas deve ser considerada em levantamentos de alta precisão.
- Levantamentos locais pode-se retornar a um ponto fixo várias vezes durante o levantamento e elimina-se esse efeito junto com a deriva do gravímetro.
- Necessidade de conhecer a hora precisa.



Aceleração da gravidade

- g – valor medido corrigido de:
 - - deriva de equipamento
 - - correção de Eötvös
 - - correção do efeito de maré
- É esse valor de g que pode ser encontrado em publicações. É a partir dele que são aplicadas as outras correções para determinar as anomalias gravimétricas.
- Esse valor é conhecido como gravidade observada

Medidas de Gravidade

Medida da aceleração da gravidade =

variações temporais (maré, deriva do equipamento)

+ efeito cinemático de veículos em movimento (Eötvös)

+ atração do elipsóide de referência (gravidade teórica/ latitude)

+ efeito da elevação acima do nível do mar (ar-livre)

+ efeito da massa acima do nível do mar (Bouguer e terreno)

+ efeito das massas que suportam as cargas topográficas (isostático)

+ variações da densidade na crosta e manto superior (geologia)

Após as correções em azul temos o valor gravidade observada.

Gravidade observada

Na gravidade observada estão presentes vários efeitos:

gravidade observada =

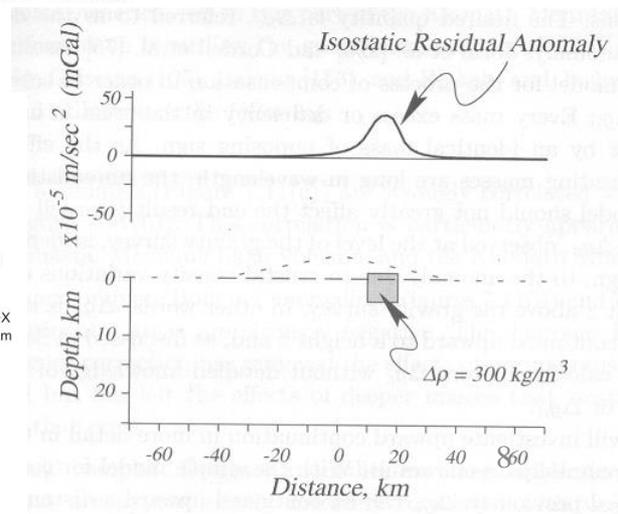
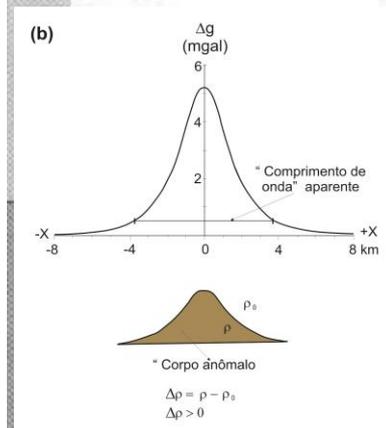
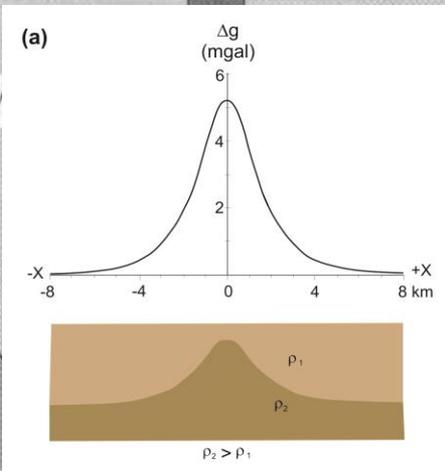
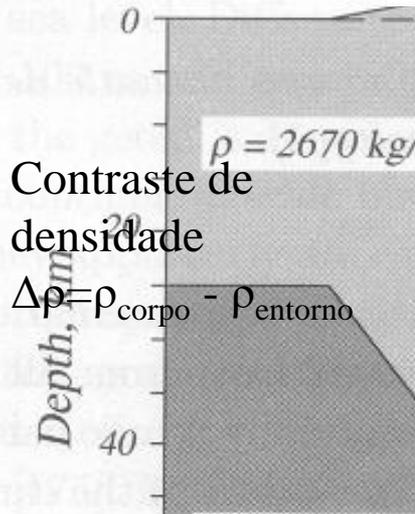
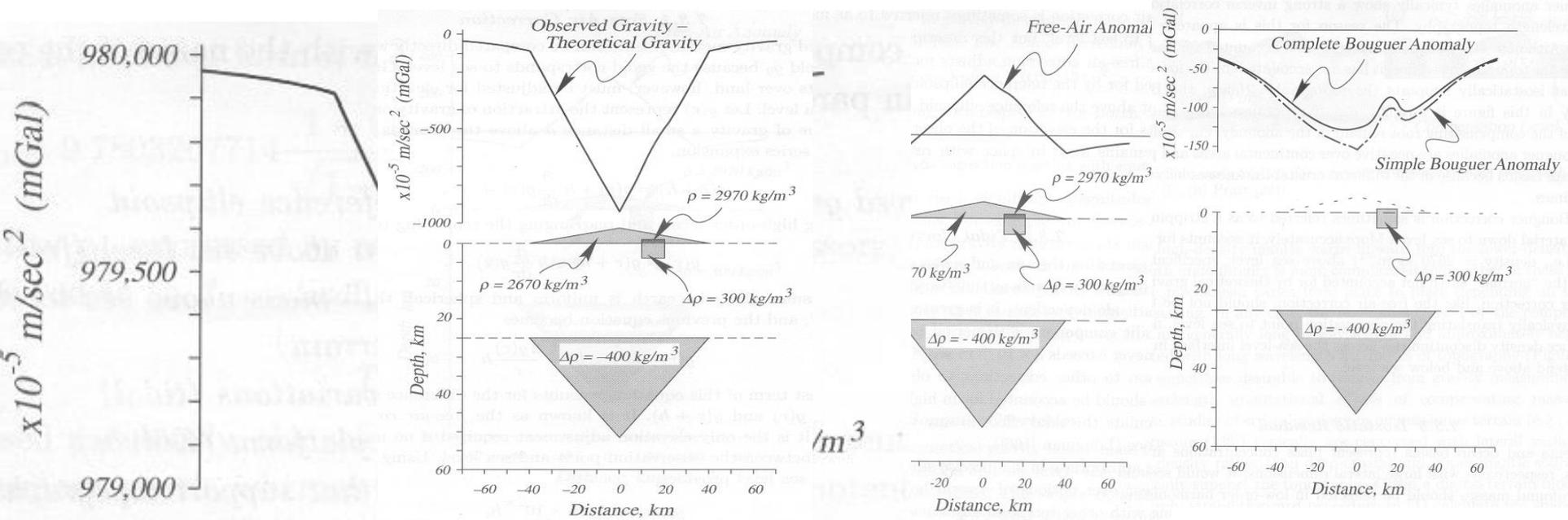
- atração do elipsoide de referência (gravidade teórica/ latitude)
- + efeito da elevação acima do nível do mar (ar-livre)
- + efeito da massa acima do nível do mar (Bouguer e terreno)
- + efeito das massas que suportam as cargas topográficas (isostático)
- + variações da densidade na crosta e manto superior (geologia)

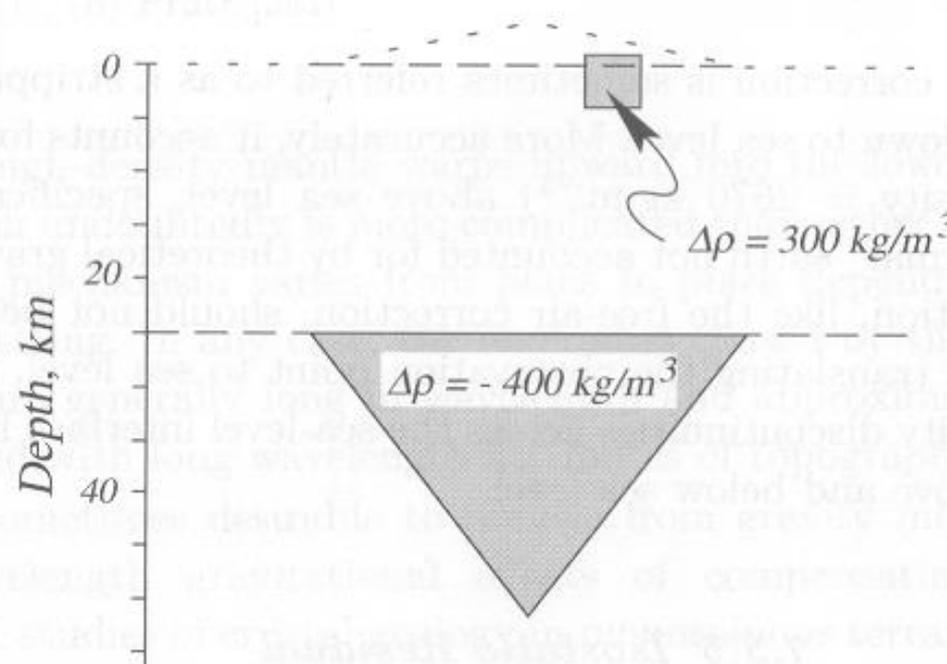
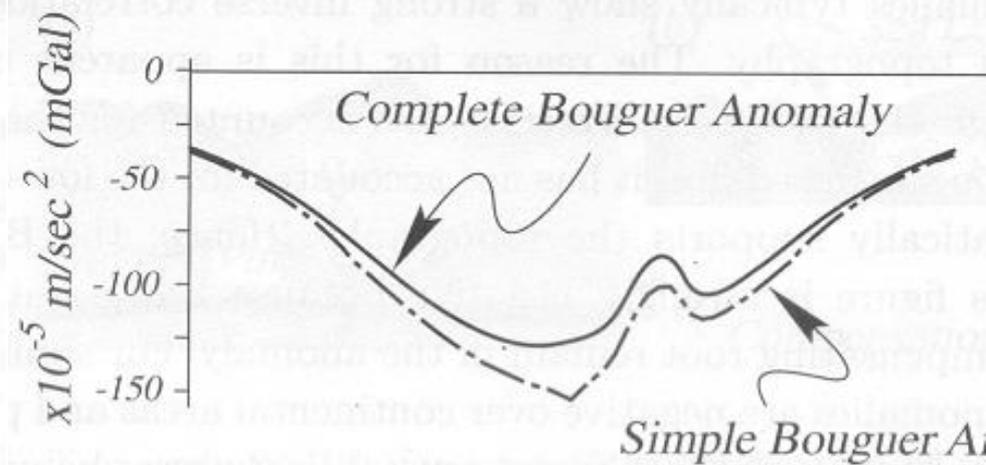
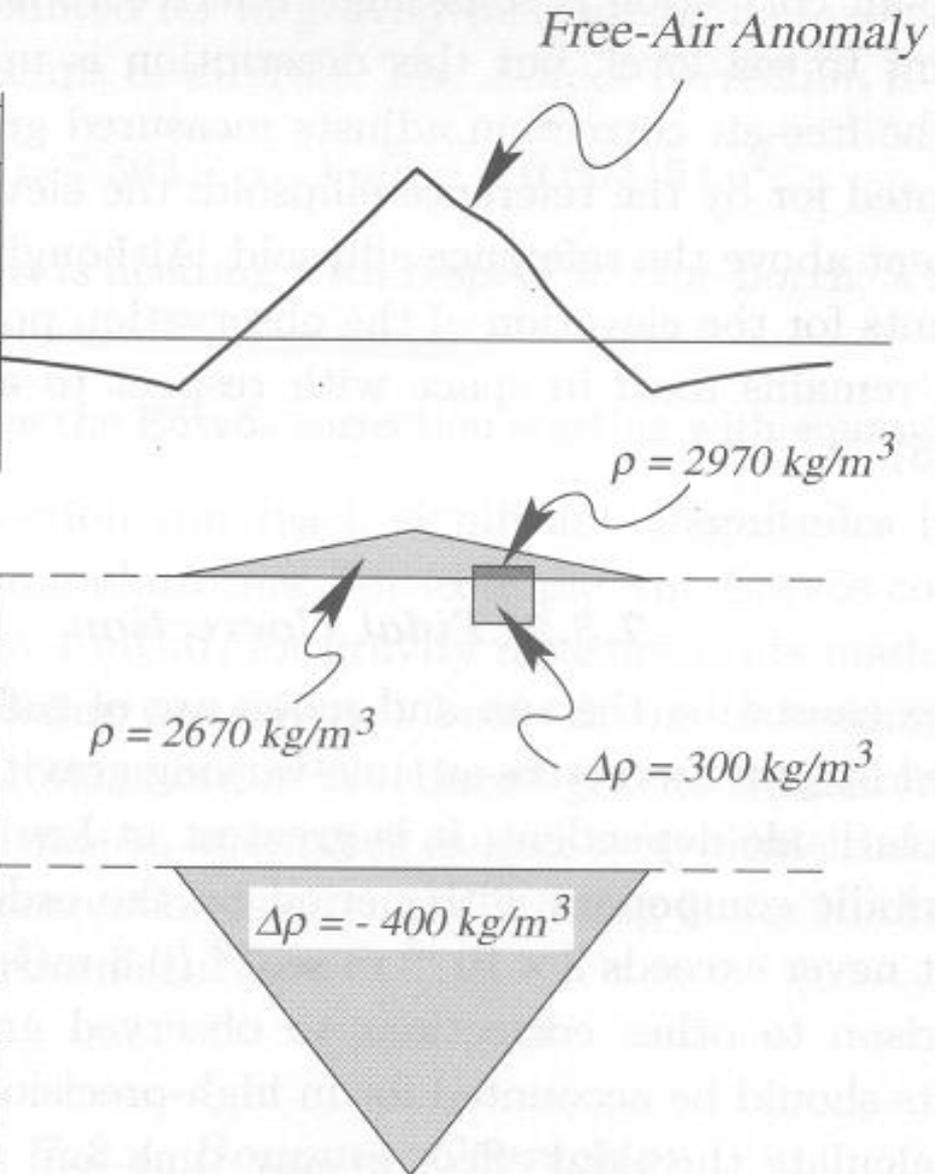
Após as correções aos itens em vermelho teremos anomalias de gravidade, porque estaremos comparando as medidas com um valor de referência dado pelo elipsoide de referência

efeitos dependem da posição da estação gravimétrica

- Posição implica em: latitude, longitude, altura com respeito ao nível do mar, massa sob a estação
- efeito do movimento de rotação e consequente distribuição da massa interna da Terra - gravidade de referência
- efeito da elevação da estação gravimétrica com respeito ao nível do mar – correção de ar-livre
- efeito da massa entre a estação gravimétrica e o nível do mar – correção do platô de Bouguer e correção de terreno

Correção gravimétrica – aplicar para comparar o valor de g em diferentes pontos e verificar onde tem diferenças de densidade.





Efeito do movimento de rotação e consequente distribuição da massa interna da Terra

Gravidade de referência

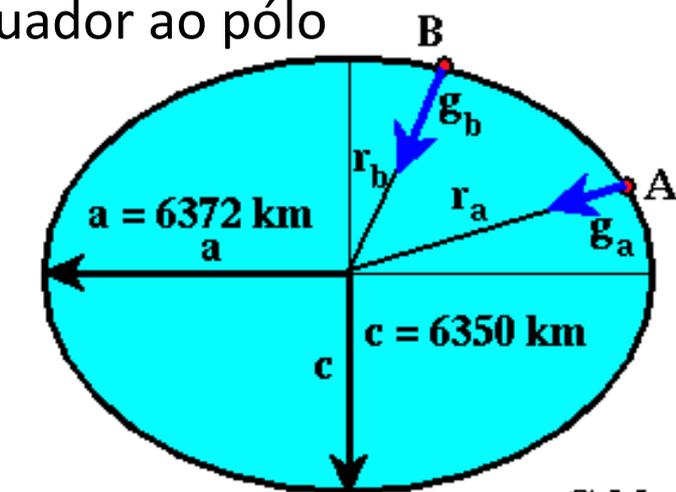
- Modelo considera que a Terra **não é uma esfera homogênea e tem movimento de rotação**

- Dois efeitos:

Achatamento nos polos:

Aumento de 5300 mGal do equador ao pólo

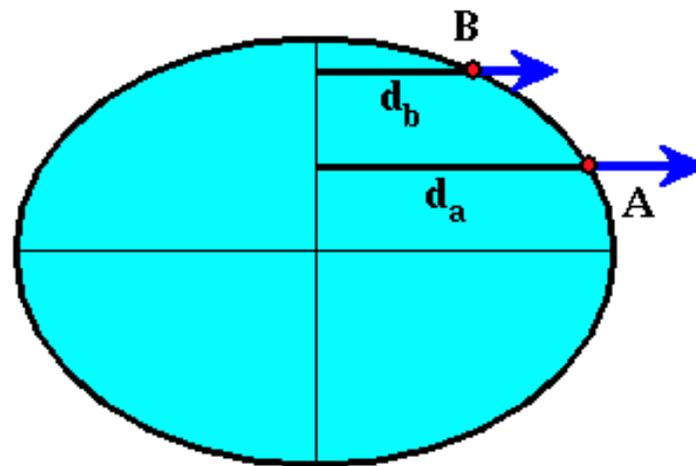
Efeito de rotação: ação da aceleração centrífuga, porque as medidas são feitas sobre um referencial não inercial



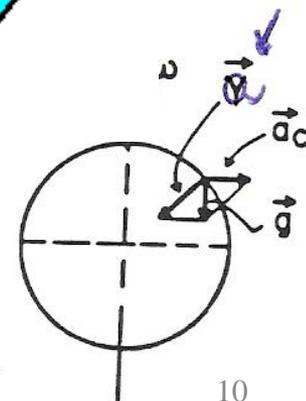
$$g_a \approx \frac{GM}{r_a^2} \qquad g_b \approx \frac{GM}{r_b^2}$$

But, $r_a > r_b$, therefore,

$$g_b > g_a$$



O vetor g , aceleração da gravidade, é a soma da vetor radial e da aceleração centrífuga.

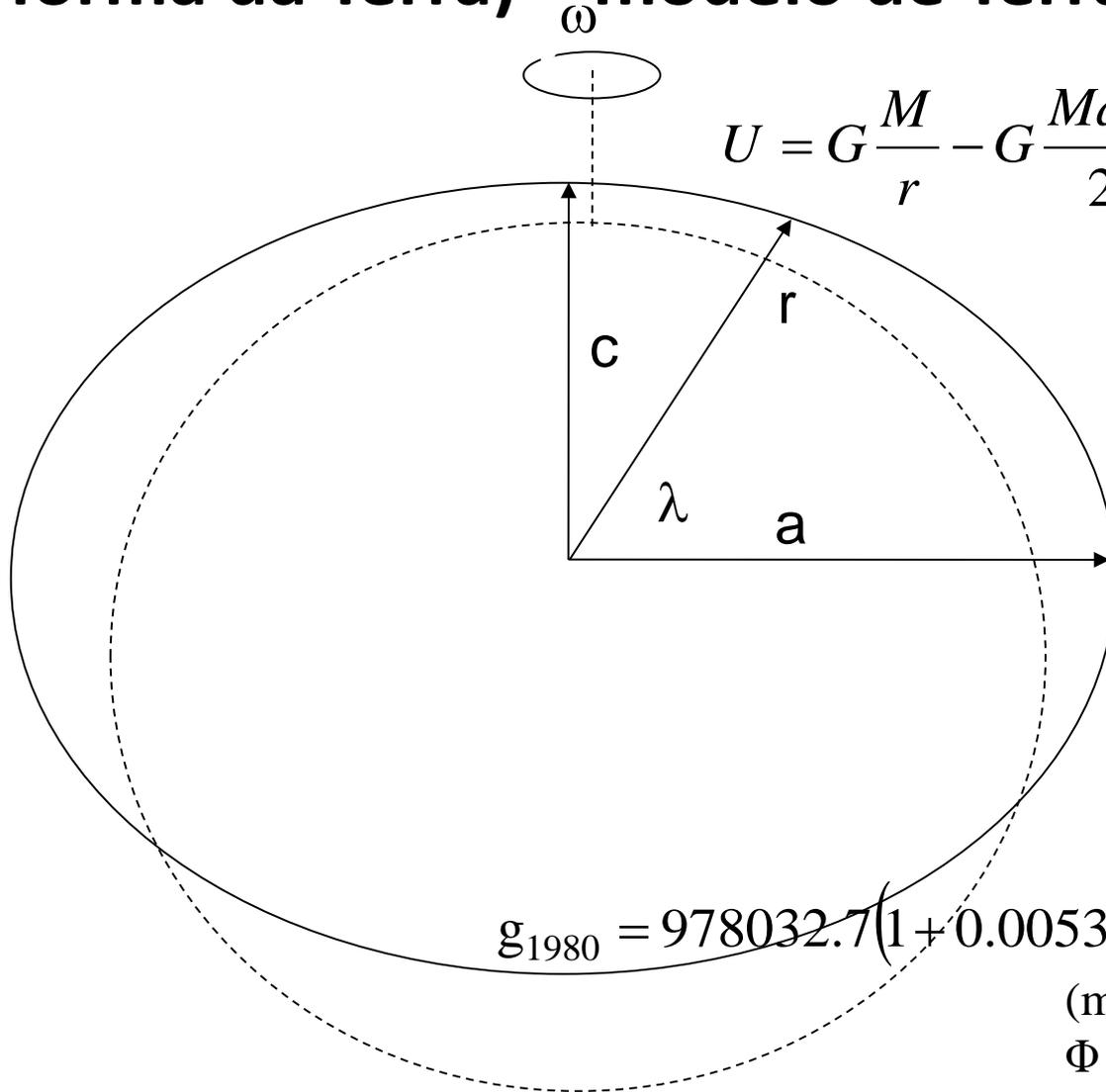


Atração do elipsóide de referência (gravidade teórica/ latitude)

- Terra homogênea, elipsóide de referência
- Parâmetros geodésicos: achatamento (f), raio equatorial (a), elipticidade (J_2), G x massa (GM) e aceleração no equador (g_e)
- Fórmula internacional da gravidade de 1980
$$g_{1980} = 978032.7(1 + 0.0053024 \sin^2\phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi)$$
- Φ é a latitude do ponto onde foi feita a medida e g em mGal

| sistema | a (km) | f | J_2 | GM (m^3/s^2) | g_e (m/s^2) |
|---------|----------|-----------|------------|--------------------------|-------------------|
| 1967 | 6378,160 | 1/298,247 | 0,0010827 | $3,98603 \times 10^{14}$ | 9,780318 |
| 1980 | 6378,137 | 1/298,257 | 0,00108263 | $3,98605 \times 10^{14}$ | 9,780327 |

Elipsóide de revolução (o campo gravimétrico e a forma da Terra) – modelo de Terra aplicado



$$U = G \frac{M}{r} - G \frac{Ma^2 J_2}{2r^3} (3 \sin^2 \lambda - 1) + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \lambda$$

$$J_2 = \frac{2f - m}{3} \quad \text{Coeficiente de elipicidade}$$

$$f = \frac{a - c}{a} \quad \text{Parâmetro de achatamento}$$

$$m = \frac{\omega a}{GM/a^2} \quad \lambda \text{ latitude}$$

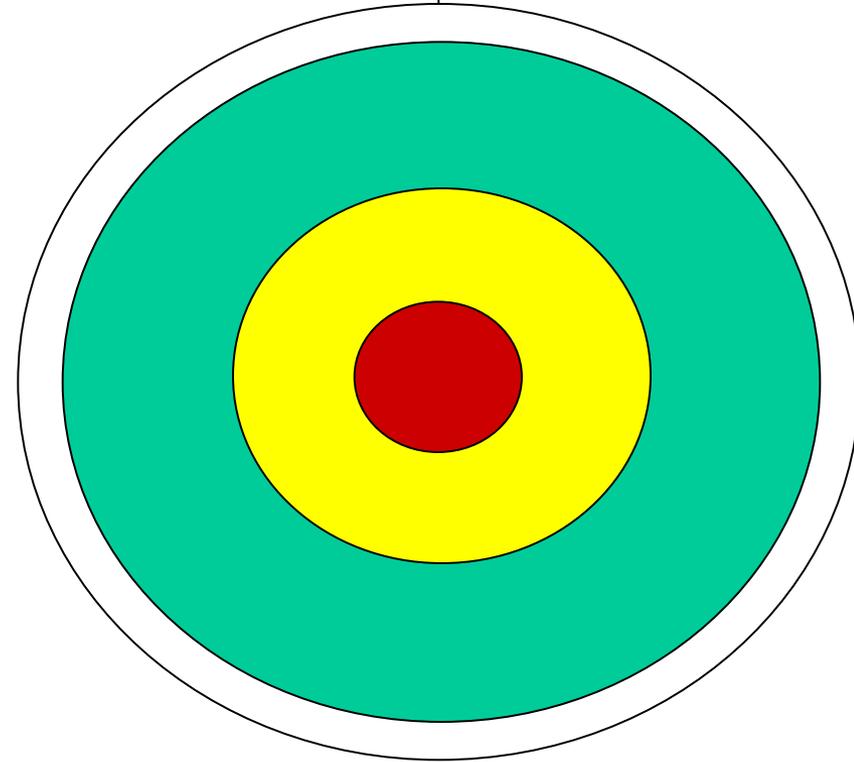
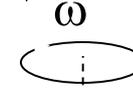
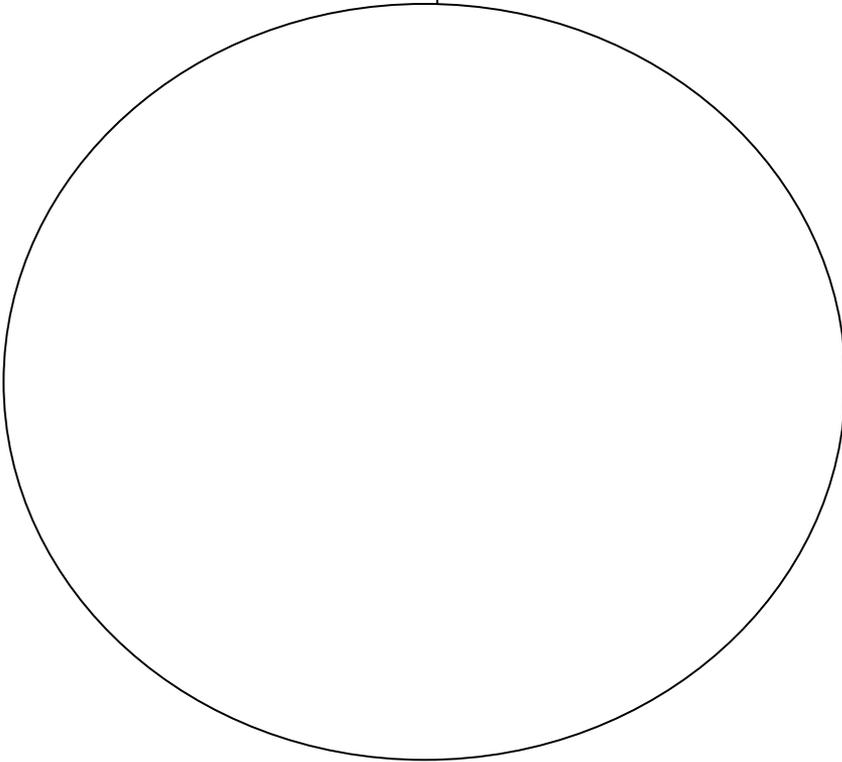
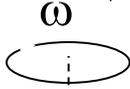
$$g_{1980} = 978032.7 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi)$$

(mGal)

Φ latitude

Fórmula Internacional de Gravidade (1980)

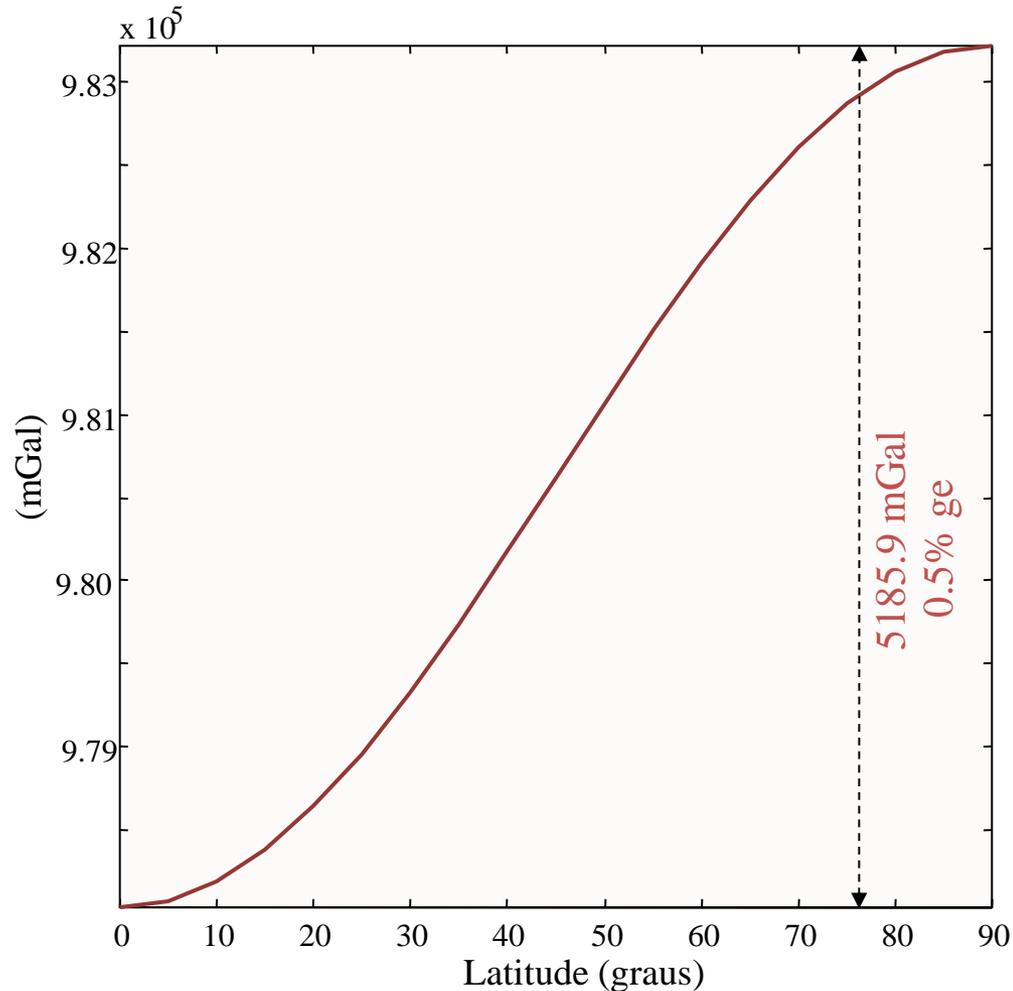
$$g_{1980} = 978032.7 \left(1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi \right)$$



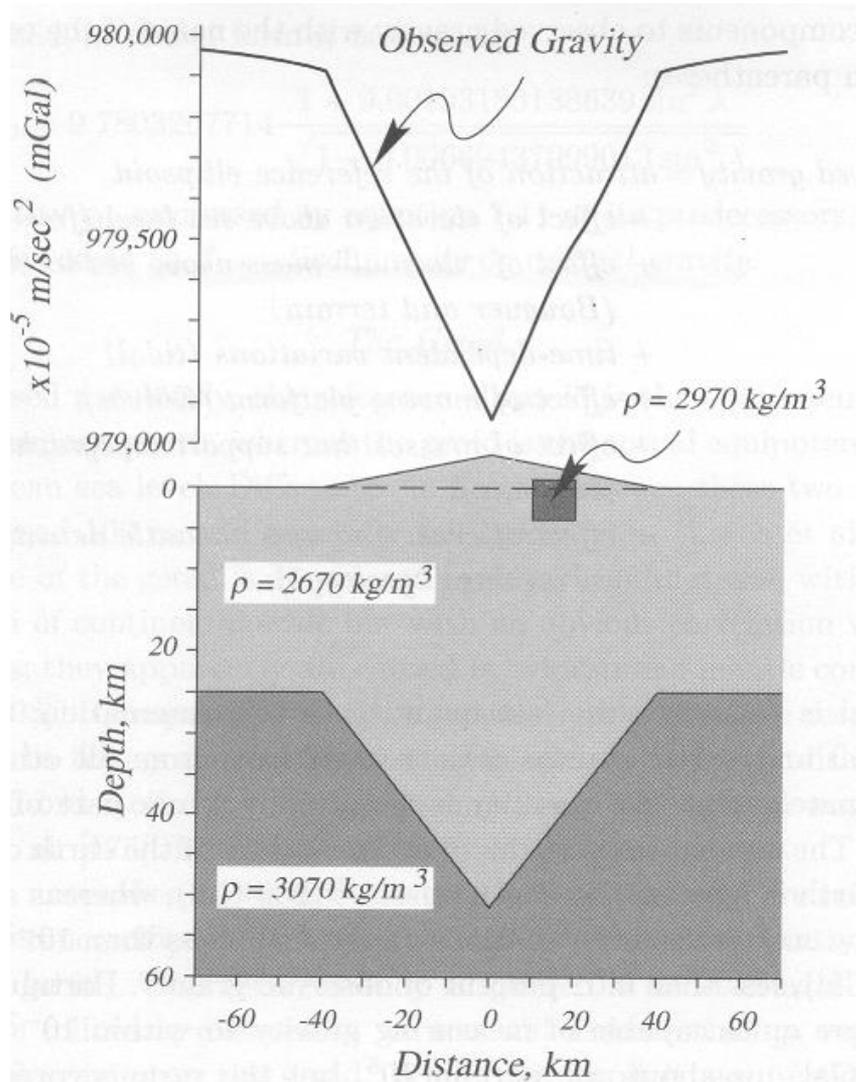
Modelo de Terra normal

Fórmula Internacional de Gravidade (1980)

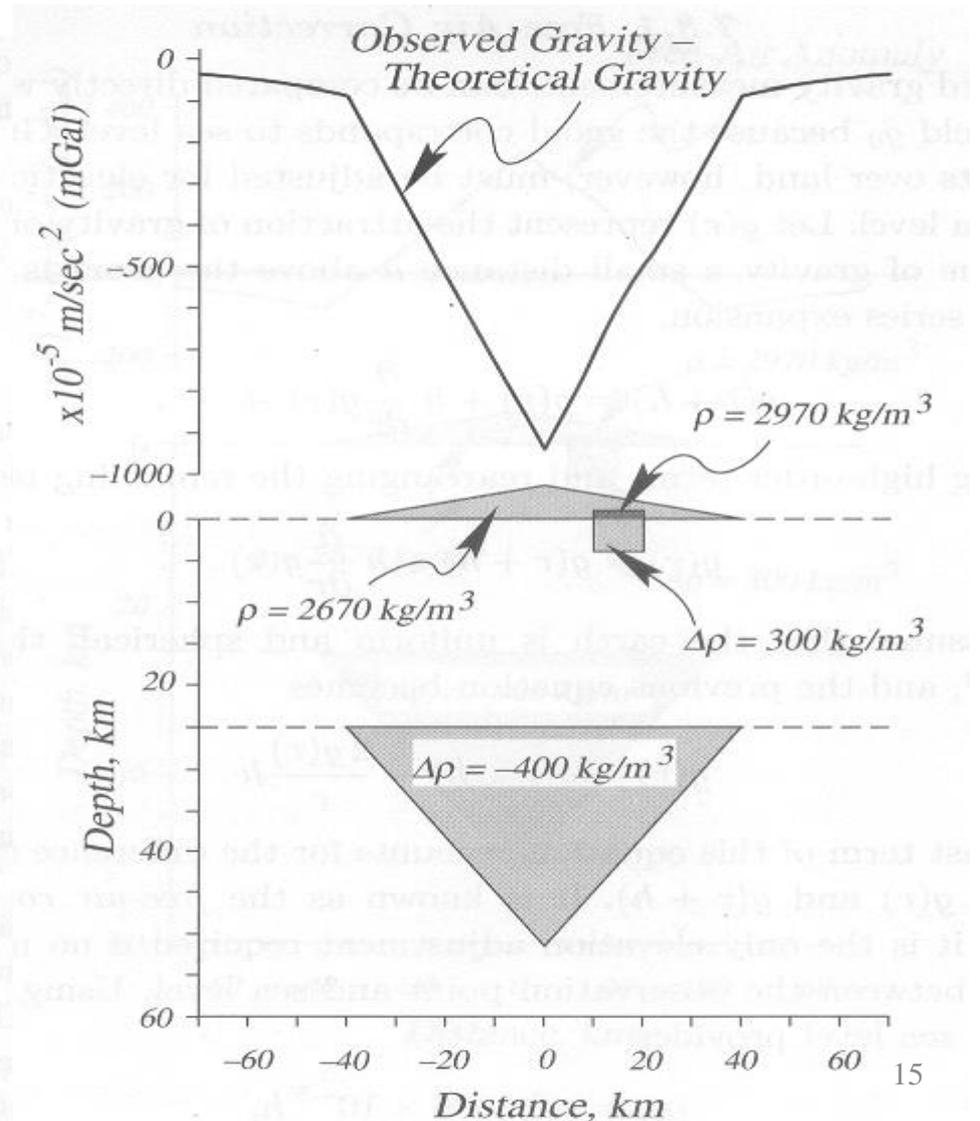
$$g_{1980} = 978032.7 \left(1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi \right)$$



Valor medido de gravidade -



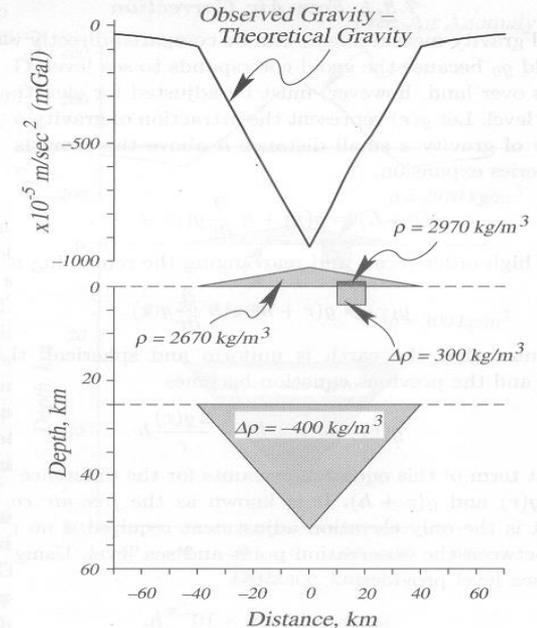
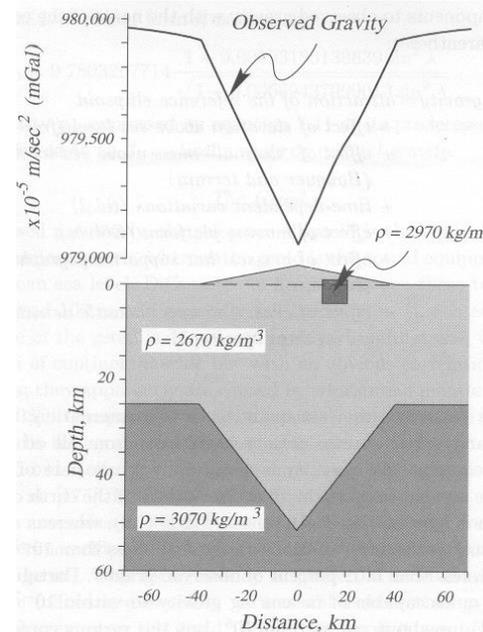
remoção do elipsóide de referencia



Correção gravimétrica – remoção da aceleração da gravidade de referência (ou Terra normal)

Observe que:

- Sobra toda a topografia acima da superfície.
- Sobra tudo o que é diferente de um modelo de camadas. As densidades restantes são diferentes, é o contraste de densidade, ou seja, a diferença do que está a mais ou a menos do valor de densidade de referência.
- Os valores de g no eixo Y são diferentes, são mostrados apenas algumas casas decimais e assumem valores positivos e negativos

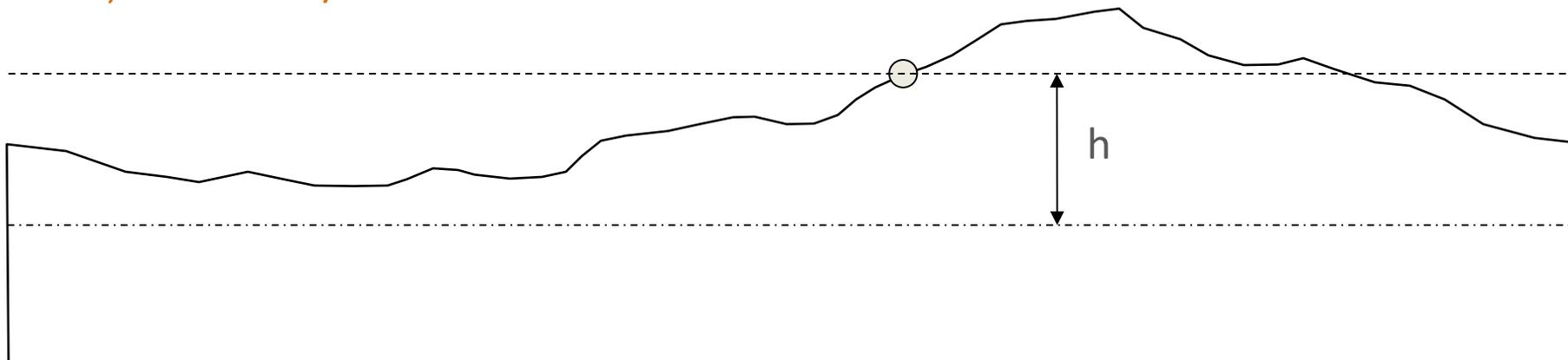


Efeito da topografia: variação com a altitude

A topografia implica que um ponto de medida estará mais perto ou mais afastado do centro de massa da Terra comparado ao seu vizinho. A correção de ar-livre é feita para eliminar esse efeito, tratando todos os pontos como se estivessem sobre a mesma superfície equipotencial.

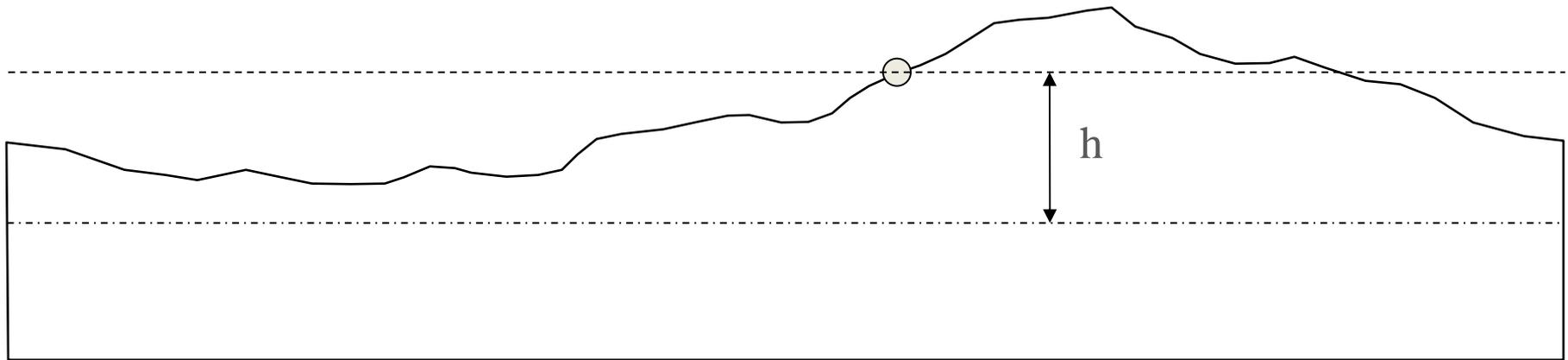
Afastamento em relação ao centro de massa da Terra

– 0,3086 mGal/m



Correção deste efeito (correção Ar-Livre) exige levantamento topográfico durante o levantamento.

Efeito da topografia: variação com a altitude



O resíduo que persiste quando o efeito da variação com a altitude é removido denomina-se ANOMALIA AR-LIVRE

$$g_a = g_{obs} - g_{teor} + (-C_a)$$

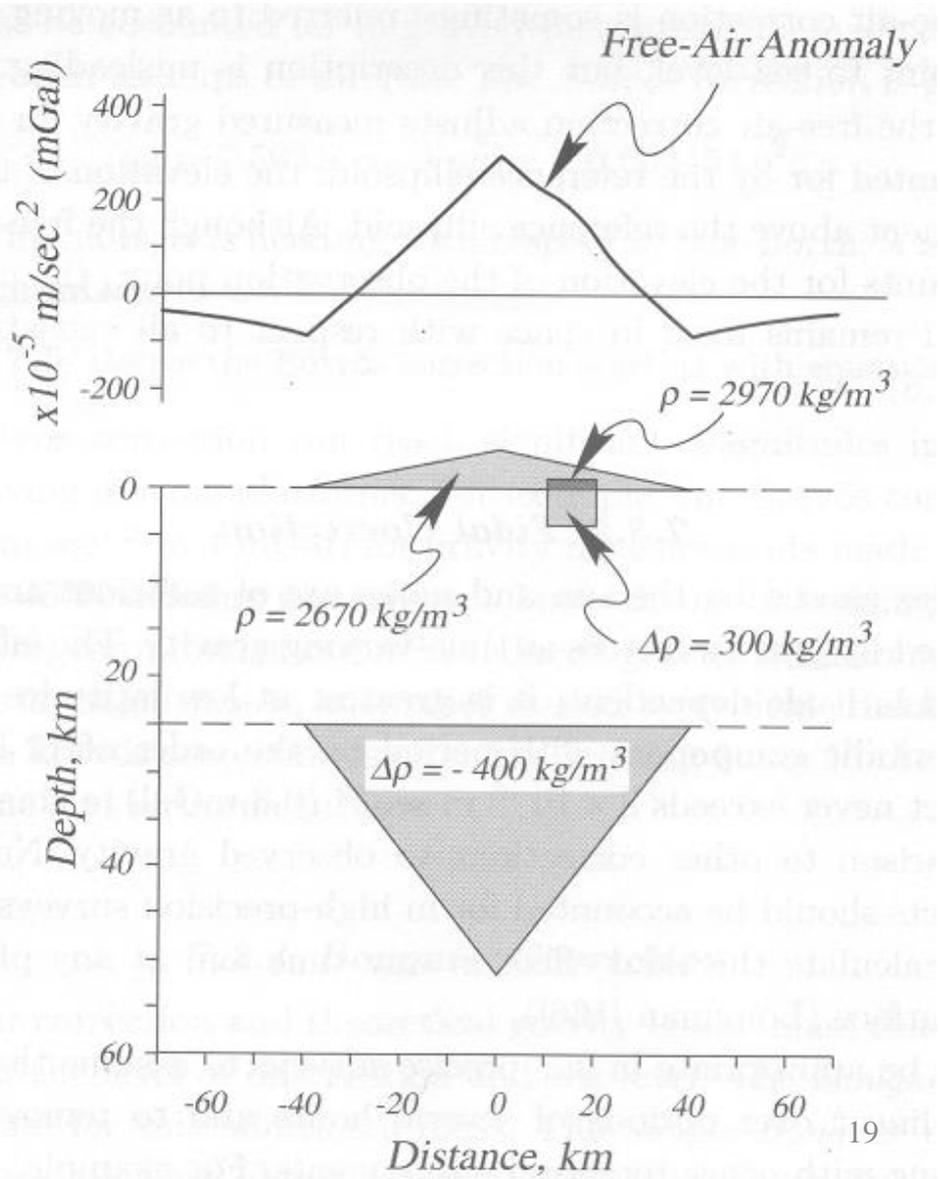
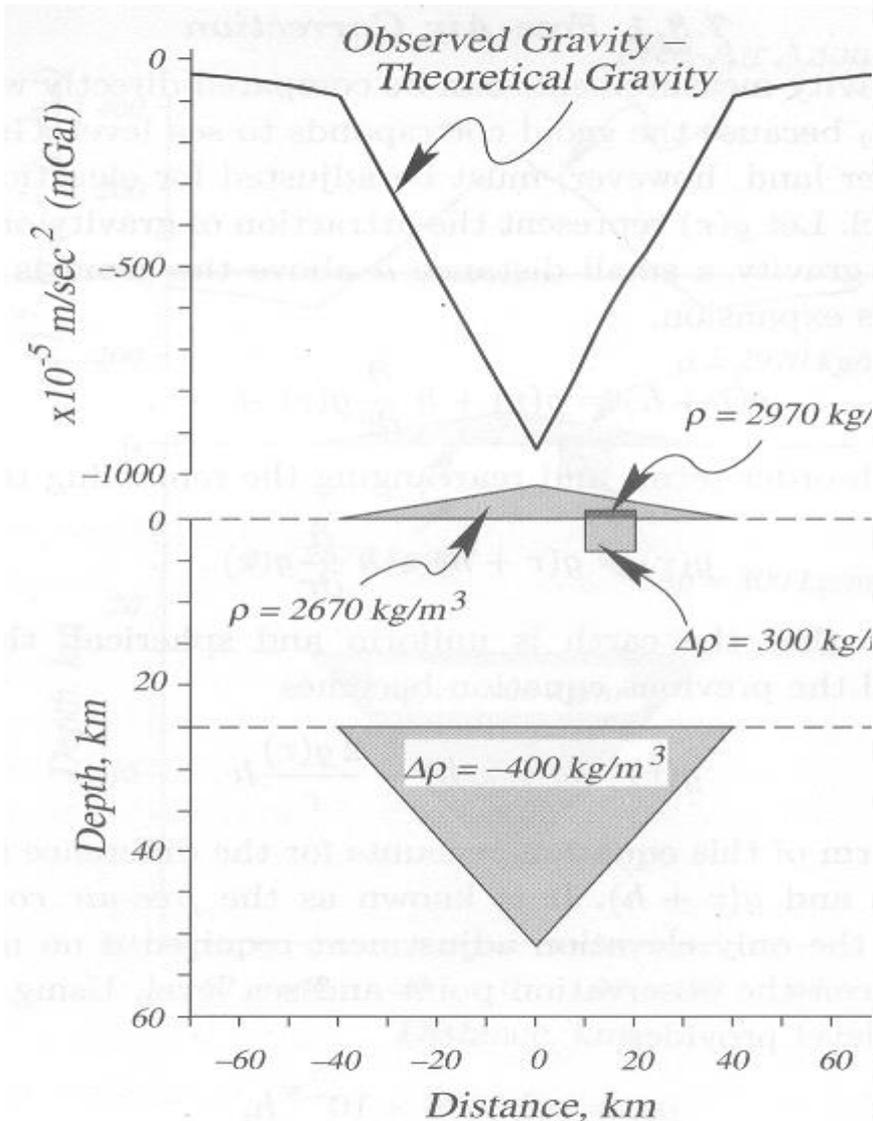
$$g_a = g_{obs} - g_{teor} + (0,3086) h$$

g em mGal e h em metros

Quando estou na superfície de continentes, normalmente estou acima do nível do mar e acima do geóide. Devo acrescentar a falta de atração devido à montanha.

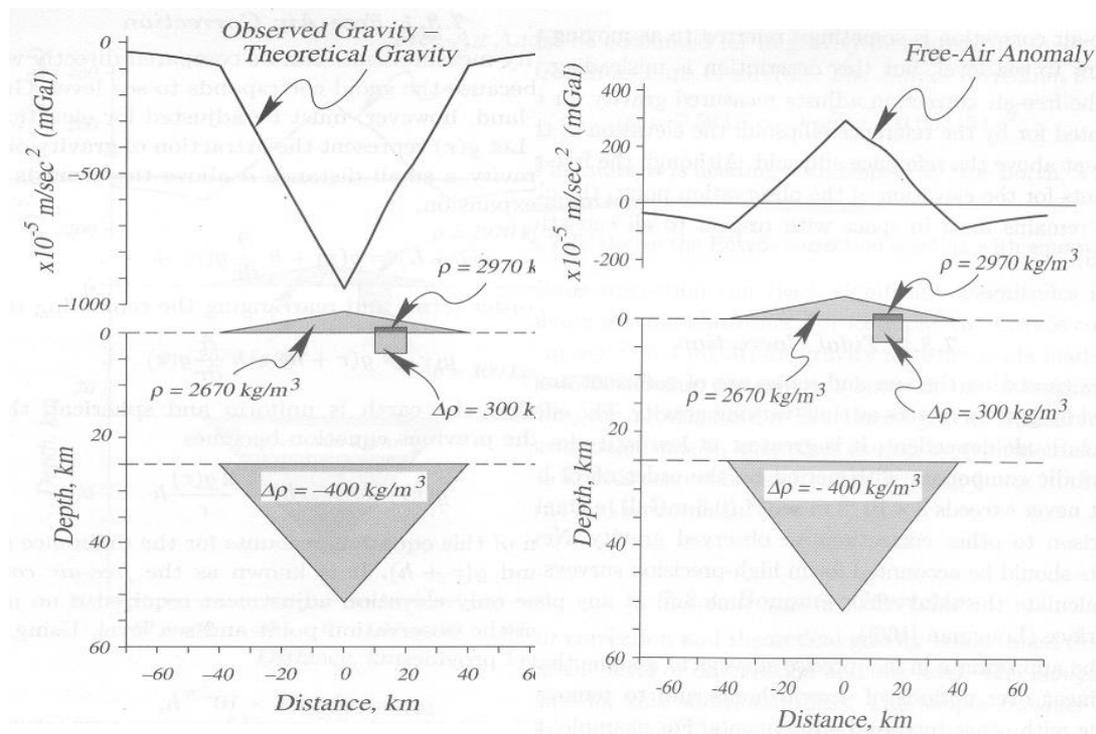
Gravidade sem elipsóide de referencia-

correção de ar-livre



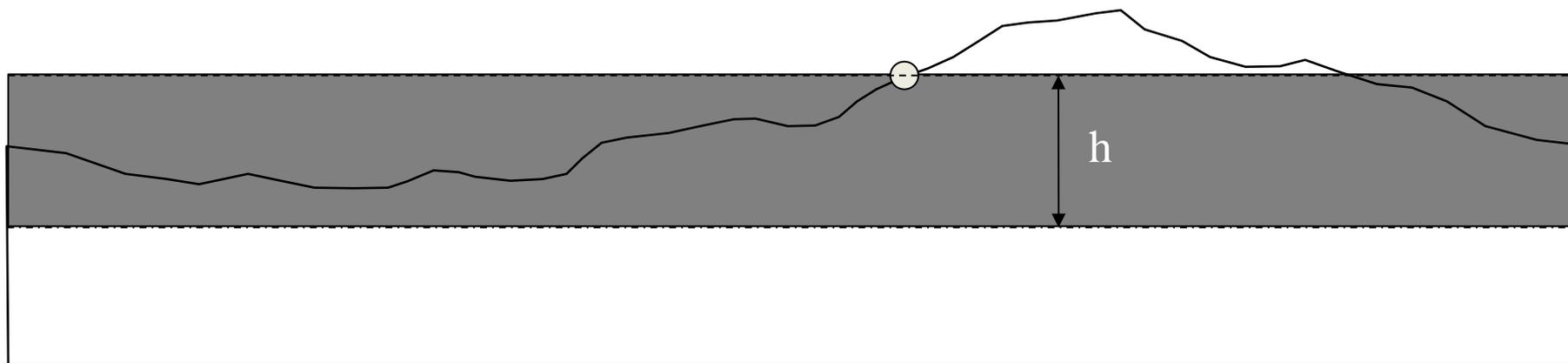
Correção gravimétrica – remoção do efeito da altitude

- Sobra a massa da topografia acima da superfície.
- Como o ponto agora encontra-se na “superfície” da Terra, o valor de g aumenta.
- Uma parte do grande negativo desapareceu
- Os valores de g no eixo Y são diferentes, são menores e assumem valores positivos e negativos



Massa associada às feições geográficas

$$g_b = 2\pi\gamma\rho h \quad g_b = -0.04193\rho h$$



Correção deste efeito exige levantamento topográfico e o conhecimento da densidade

O resíduo que persiste quando se efetua a correção Bouguer denomina-se [ANOMALIA BOUGUER](#)

Usualmente usa-se o valor de $2,67\text{g/cm}^3$ para a densidade na correção Bouguer

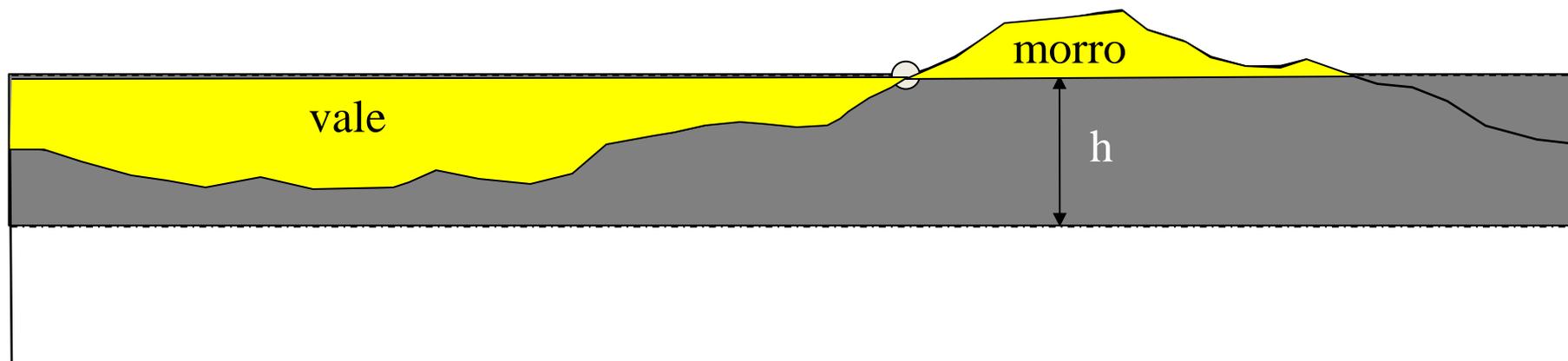
$$g_B = g_{\text{obs}} - g_{\text{teor}} + (-C_a) + C_B$$

$$g_B = g_{\text{obs}} - g_{\text{teor}} + (+0,3086) h + (-0,04194 * 2,67 h)$$

g em mGal e h em metros, densidade em g/cm^3

Agora devo remover o efeito de acréscimo em g que a massa da topografia acima do geóide produz.

Efeito da topografia: massa associada às feições geográficas

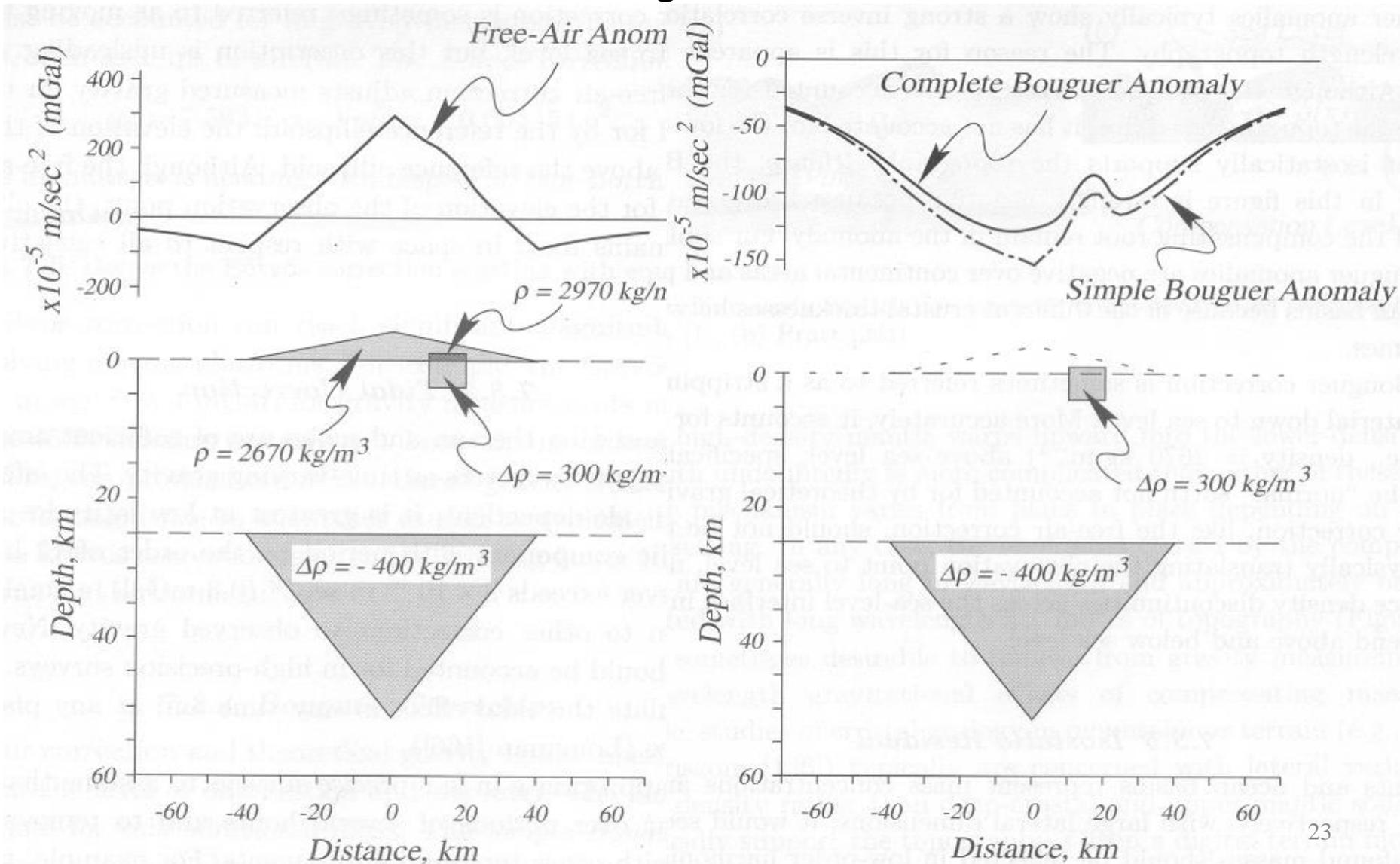


Correção Topográfica

O plato de Bouguer não considera o efeito da massa que está ao redor do ponto de medida, só o que está entre o ponto e a superfície geoidal. Correção topográfica é feita considerando essa atração lateral. Para isso é necessário ter um modelo digital de terreno muito bom.

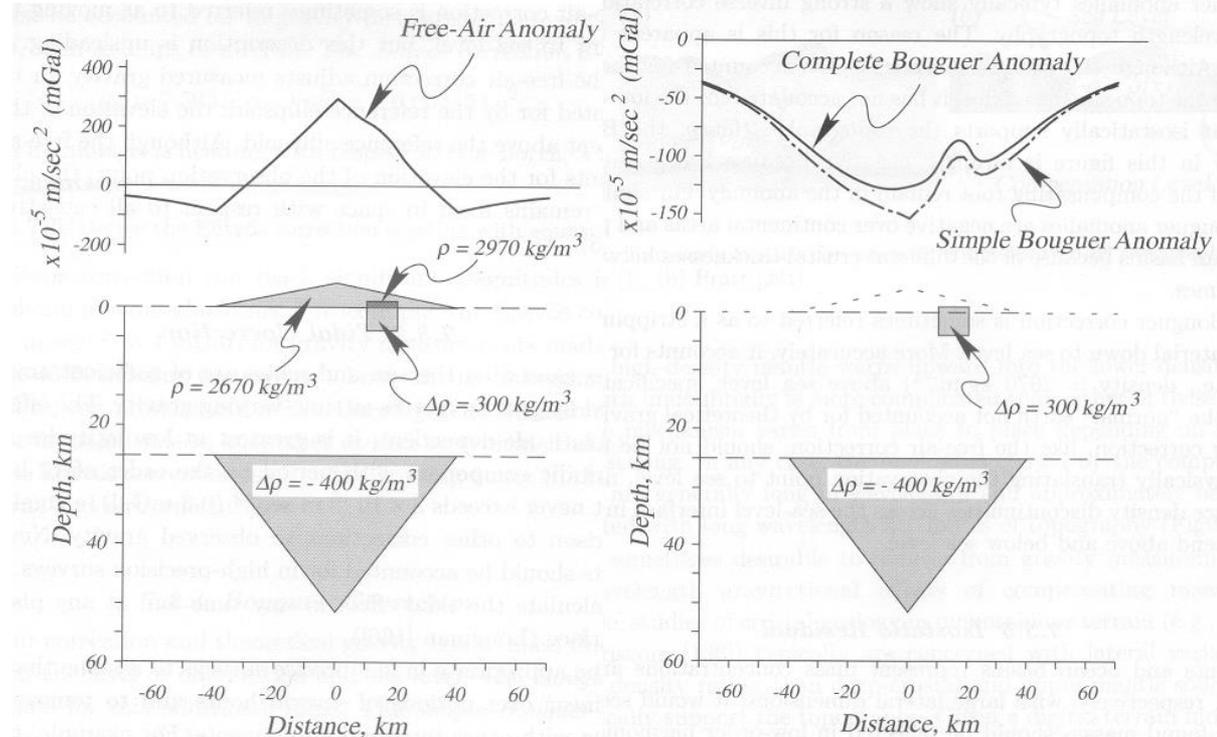
O resíduo que persiste quando se efetua a correção Bouguer denomina-se **ANOMALIA BOUGUER COMPLETA**

Gravidade sem elipsóide de referencia correção de Bouguer e corrigido de ar-livre



Correção gravimétrica – remoção do efeito da massa da topografia

- Efeito da massa da topografia acima da superfície geoidal é corrigido
- Como o ponto agora encontra-se na “superfície geoidal” e sua massa (a mais do que o ar) foi corrigida (diminuída) o valor de g diminui.
- A correção não vê a deformação da Moho (sustentação da montanha pelo afundamento da crosta, densidade menor do que o manto) e torna a anomalia fortemente negativa.
- A correção não vê a mineralização (com material mais denso) que estava ocupando parte da topografia e parte da crosta e produz um alto gravimétrico incorporado ao grande baixo gravimétrico da raiz.



Sumário 2: Gravidade e anomalia gravimétrica

A observação é a soma de todos os efeitos apresentados antes

Denomina-se gravidade observada: o valor observado corrigido das variações temporais (maré, deriva do equipamento) + efeito cinemático de veículos em movimento (Eötvös)

Anomalia gravimétrica é a gravidade observada (definida acima) corrigida da atração do elipsóide de referência (gravidade teórica/ latitude) e do efeito da elevação acima do nível do mar (correção ar-livre) e do efeito da massa acima do nível do mar (correção Bouguer e correção de terreno)

O resíduo obtido após as correções (anomalia Bouguer) expressa a distribuição anômala de massa (falta ou excesso) existente no substrato terrestre.

Variações da densidade na crosta e manto superior (geologia) é o foco da interpretação!