

Curso de Geofísica

Métodos Potenciais - Gravimetria

Dra. Mônica G. Von Huelsen

Métodos Potenciais – Gravimetria

GRAVIDADE DA TERRA:

Introdução à teoria do potencial; Campo de gravidade da Terra; Medidas de Gravidade; Redução de observações gravimétricas; Marés terrestres; Anomalias gravimétricas e o Interior da Terra, Isostasia

Métodos Potenciais – Gravimetria

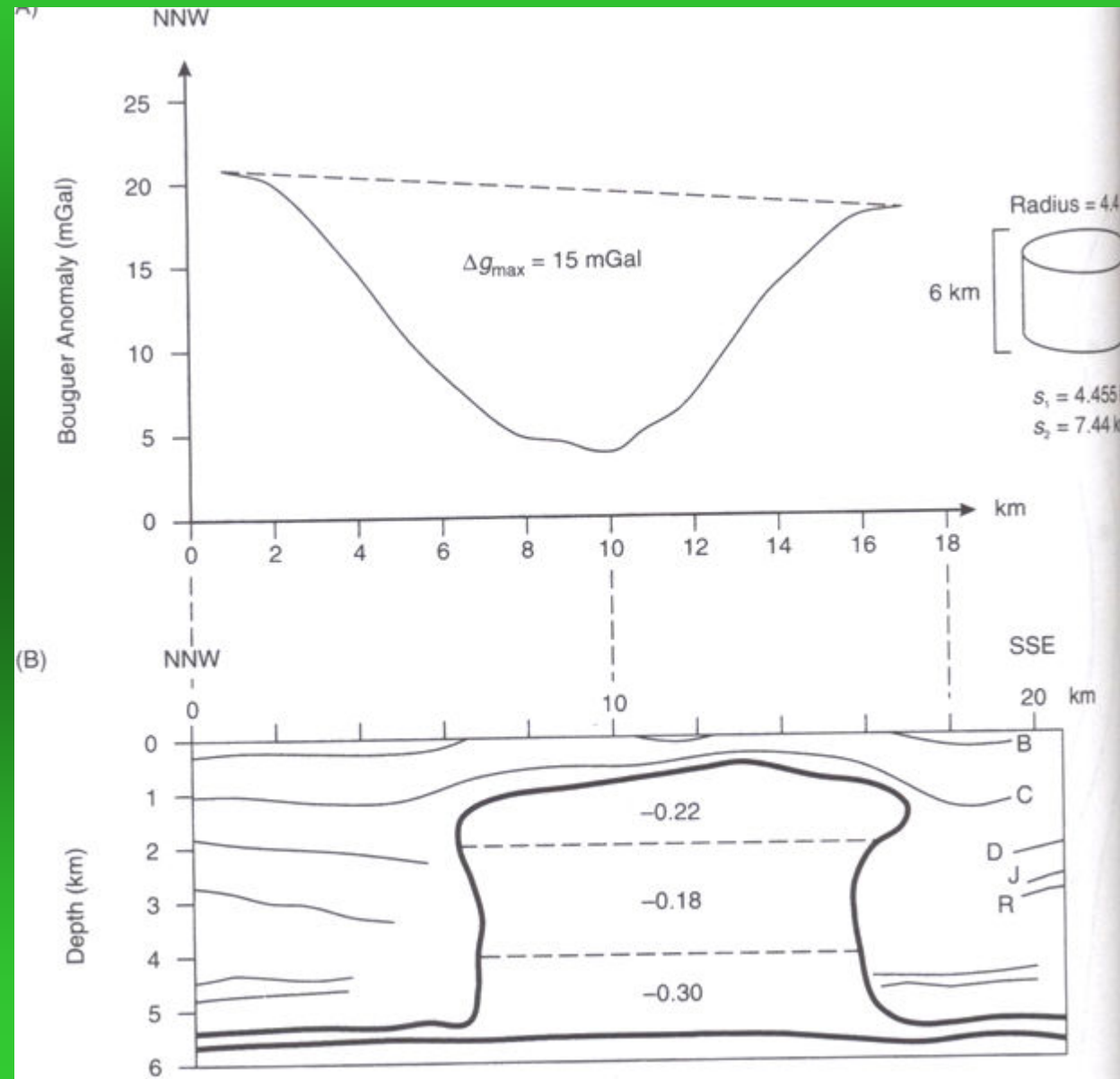
Princípios fundamentais

- Gravitação → propriedade fundamental da matéria, manifestando-se em qualquer escala de grandeza, desde da atômica até a cósmica.
- Levantamento gravimétrico – podemos definir como a investigação na variação do campo gravitacional terrestre por diferença de densidade entre as rochas no interior da terra.

Métodos Potenciais – Gravimetria

- Aplicações
 - Exploração de domos salinos; exploração de petróleo
 - Exploração Mineral – ouro
 - Determinação da espessura do gelo
 - Aplicações de engenharia
 - cavernas
 - Investigação arqueológica
 - Aplicação hidrogeológica
 - Atividade vulcânica

Métodos Potenciais - Gravimetria

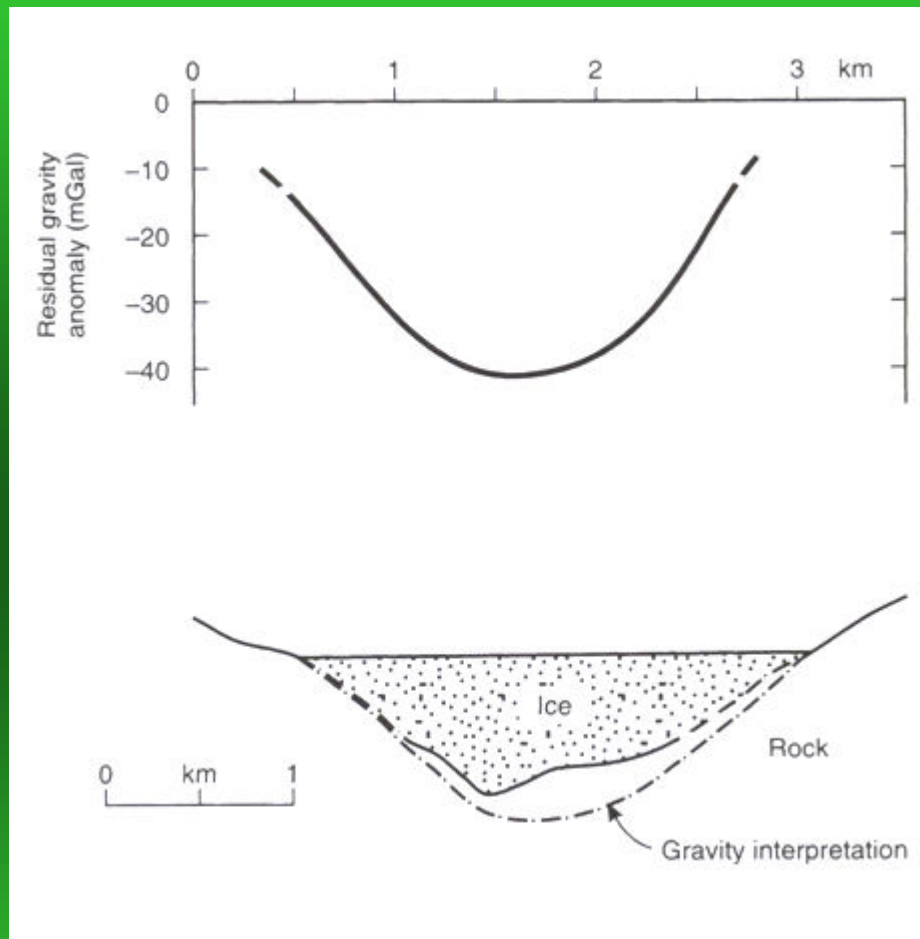


Domo de sal

Cilindro: raio 4,4 km
Altura de 6km

Seção sísmica

Métodos Potenciais - Gravimetria



Espessura do Gelo - Inglaterra

Métodos Potenciais - Gravimetria

- Lei da Gravitação

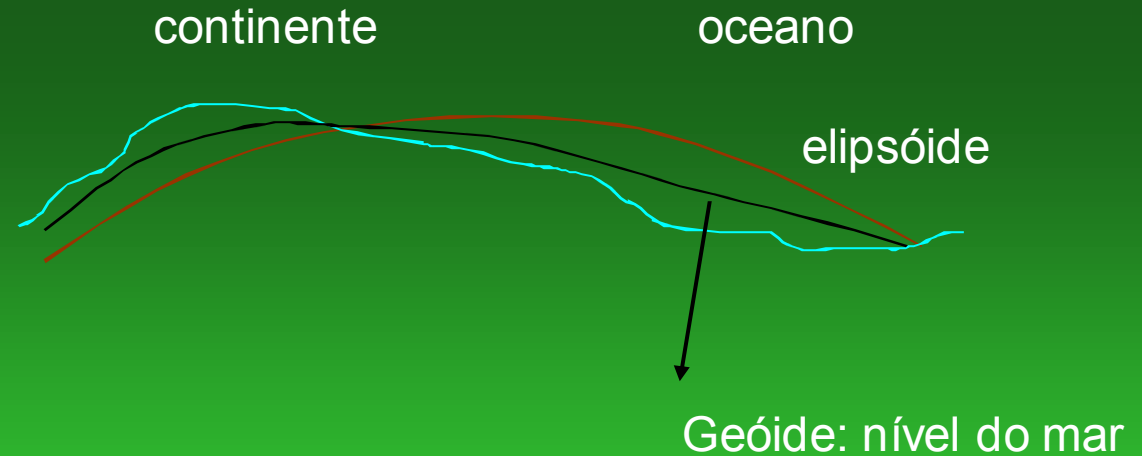
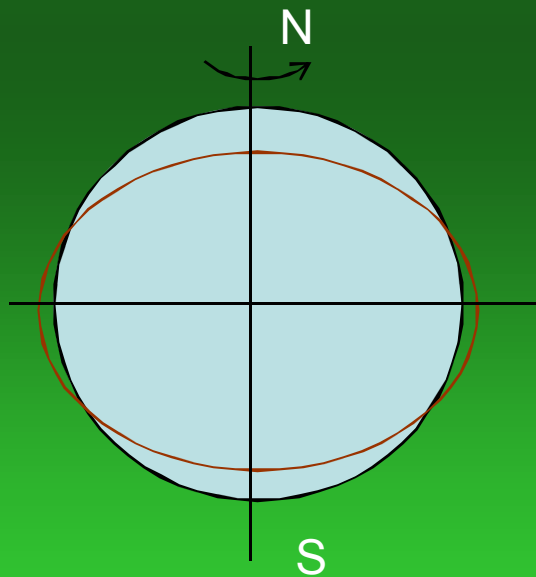
- $F = G \times M \times m / R^2$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$$

- $F = m \times g$

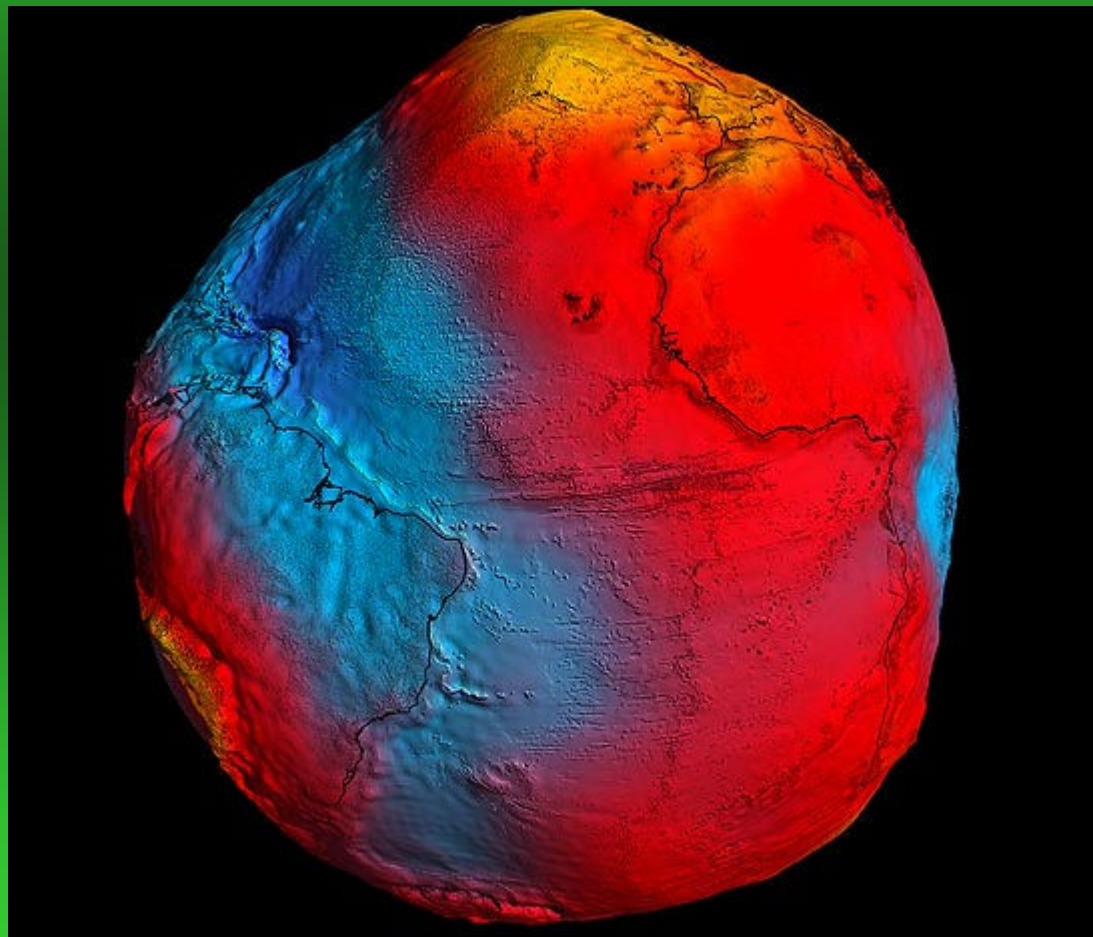
- $g = G \times M / R^2$

- Unidade 1 gal = 1 cm/s²



Métodos Potenciais - Gravimetria

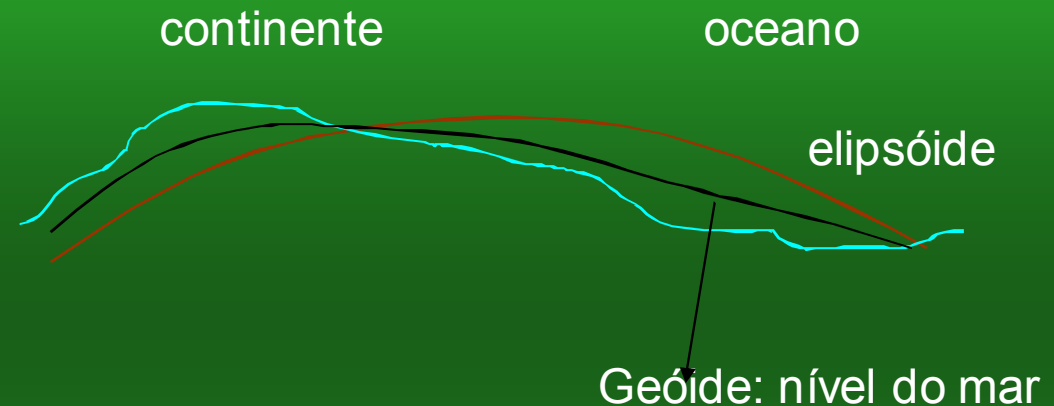
- Geóide março 2011
- Site: www.esa.int/esaCP/SEM1AK6UPLG_index_0.html?



Métodos Potenciais – Gravimetria

- Lei da Gravitação

- $g = G \times M / R^2$

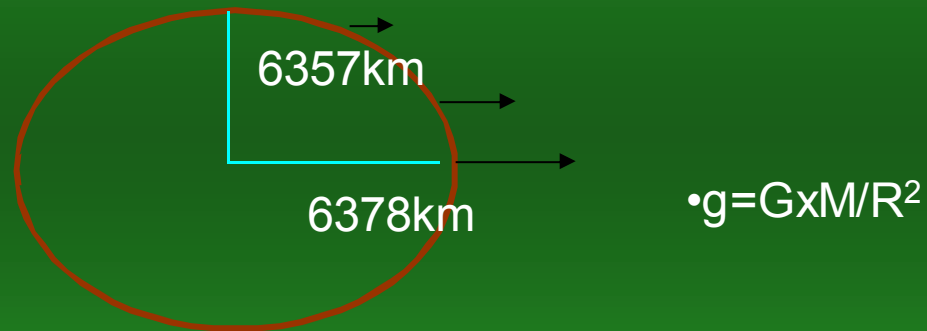


- g deveria ser cte
- Superfície irregular / topografia
- Distribuição de massa é variável
- A forma da Terra é uma consequência das acelerações
 - centrífuga e gravitacional
 - TERRA – um elipsóide

Geóide: representa a superfície sobre a qual o campo gravimétrico tem valor igual, ou superfície equipotencial

Métodos Potenciais – Gravimetria

- Variações
 - Latitude: raio e aceleração centrífuga



- Exercício 1 – Calcule a gravidade para a Terra supondo que ela é perfeitamente elipsoidal e tem massa $M = 5,97 \times 10^{24}$ kg. Para um ponto à superfície da Terra no equador e outro no pólo norte..

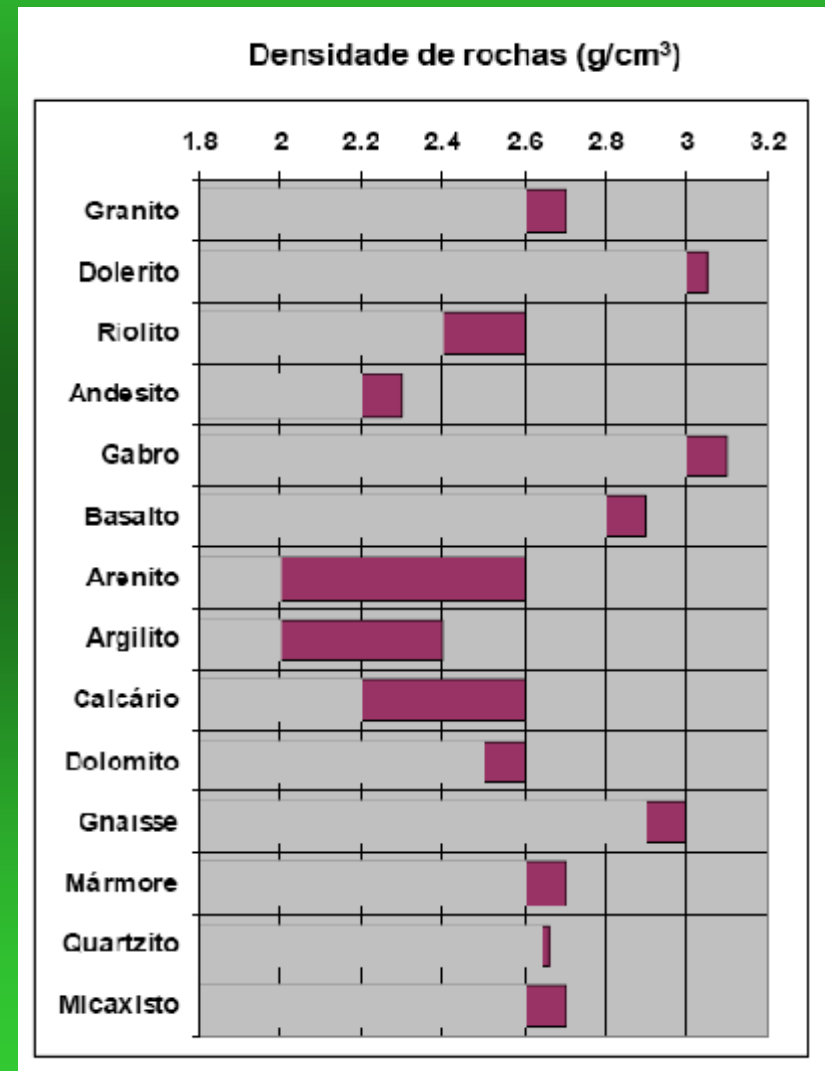
$$g_{\phi}(1967) = 9,78031846(1 + 0,005278895 \sin^2 \phi + 0,000023462 \sin^4 \phi) \text{ m/s}^2$$

(GRS 1967) – Geodesic Reference System

Métodos Potenciais – Gravimetria

Parâmetro físico: DENSIDADE

- Crosta Continental
 - 2,6 g/cm³
- Crosta Oceânica
 - 2,8 g/cm³



Métodos Potenciais - Gravimetria

- Fatores geológicos que afetam a densidade
 - Rochas sedimentares (inconsolidadas)
 - Rochas sedimentares
 - Rochas ígneas (dens. aumenta com a diminuição de sílica)
 - Rochas metamórficas (dens. Tende a aumentar com o aumento do grau de metamorfismo)

Métodos Potenciais – Gravimetria

- Medida da gravidade
 - Relativa – importante na exploração
 - Absoluta – valores de referência IGSN 71 (International Gravity Standardization Net 71)
- 2 tipos de equipamentos – Gravímetros Diferenciais e os absolutos

Métodos Potenciais – Gravimetria

Vamos começar?

- O espaçamento das estações varia;
2 a 3 km² para pesquisas regionais
8 a 10 por km² para pesquisa de hidrocarbonetos
5 a 50 m para trabalhos de precisão, como arqueologia
0,5 m para trabalhos de Microgravidade
- Redução das medições
- Antes de os resultados de um levantamento gravimétrico poderem ser interpretados é necessário proceder à correção de todas as variações do campo gravimétrico da Terra que não resultam de diferenças de densidade do sub-solo.
- Este processo é conhecido por reduções da gravidade ou reduções ao geóide, já que o nível do mar é o nível de referência mais apropriado (superfície equipotencial).

Métodos Potenciais - Gravimetria

- Correções da gravidade

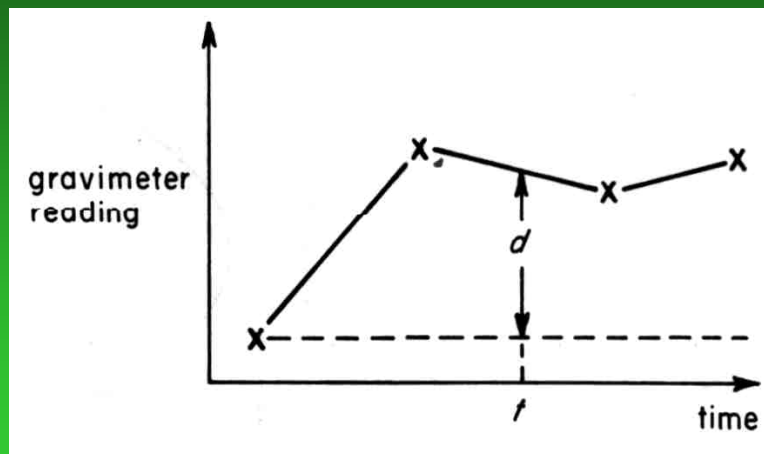
- Deriva instrumental
- Maré
- Latitude

- Correções de altitude

- Correção Free-air
 - Correção Bouguer
 - Correção de terreno

Métodos Potenciais - Gravimetria

- Correção da deriva instrumental
 - É baseada em leituras repetidas numa estação base (ao longo do tempo do levantamento). As medições são em função do tempo e admite-se que a deriva é linear entre as várias leituras. A correção da deriva num tempo t é d , que a seguir é corrigida do valor observado.

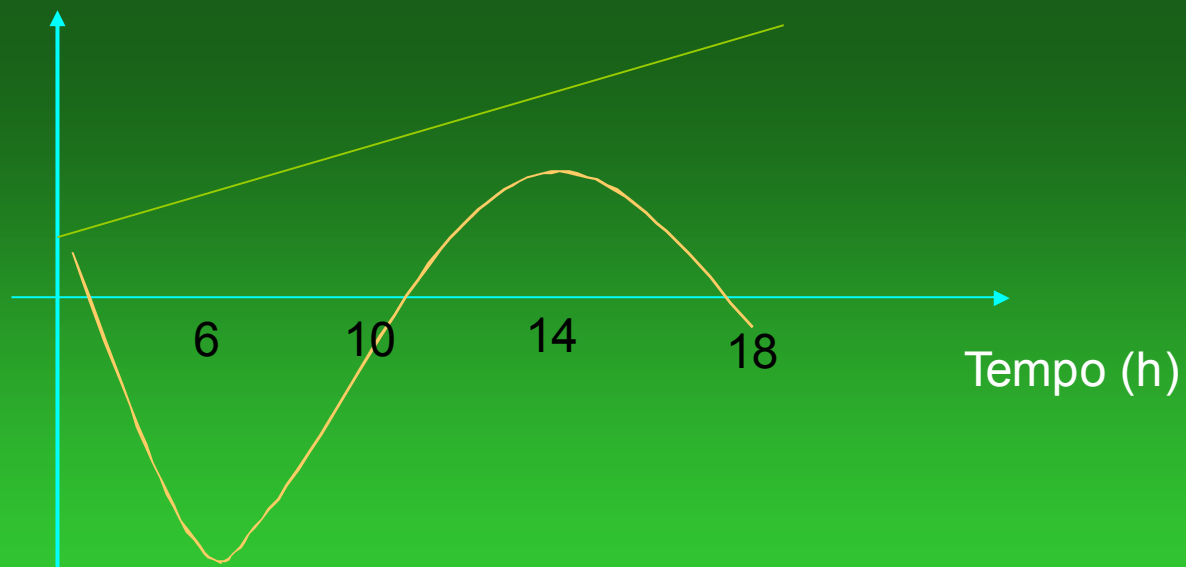


Métodos Potenciais - Gravimetria

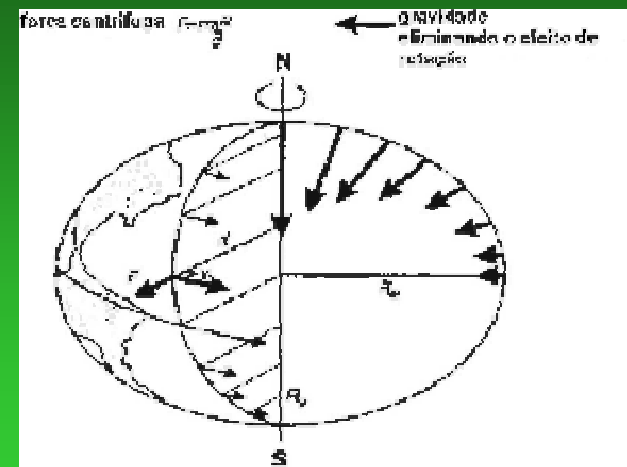
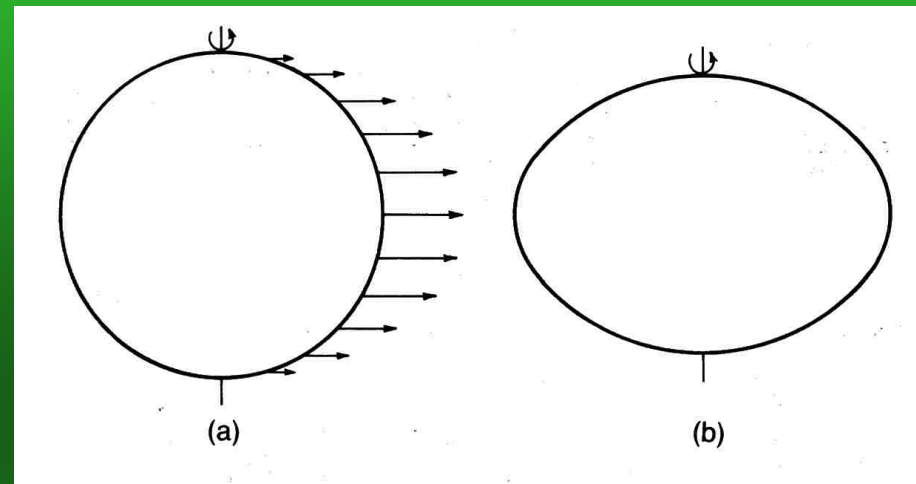
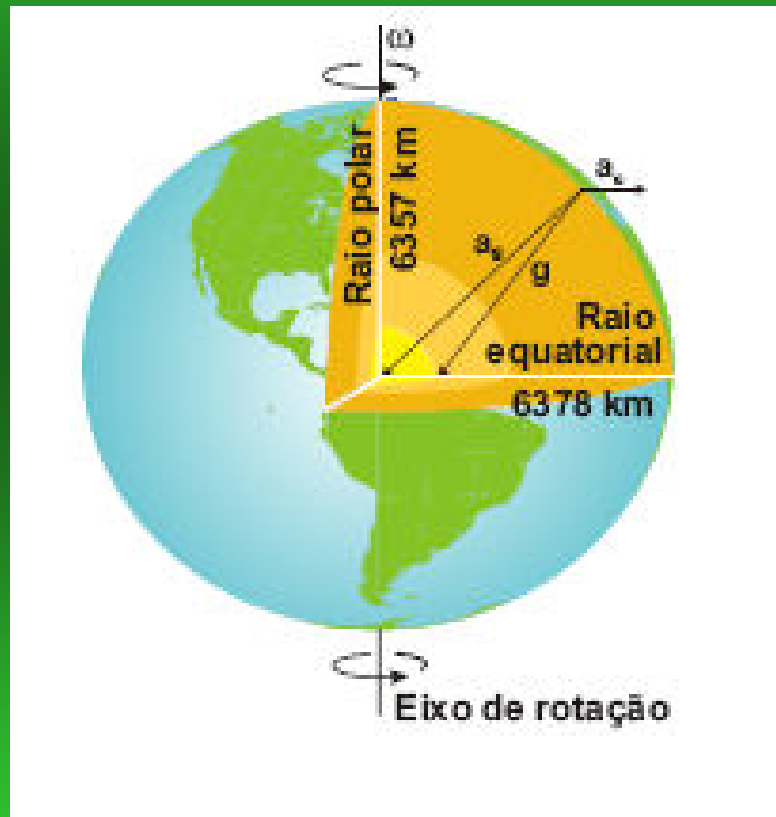
- Correção de Maré
- As marés terrestres, fazem com que a elevação do ponto de observação varie. Enquanto que no caso marinho a amplitude da variação pode ir desde menos de 1 m até quase à dezena de metros, no caso continental as variações atingem no máximo alguns cm.
- As variações da gravidade devidas à maré terrestre têm um máximo de amplitude de aproximadamente 0,3 mgal e um período próximo de 12h. Os efeitos de maré podem ser calculados e existem também sob a forma de tabelas publicadas na literatura.

Métodos Potenciais - Gravimetria

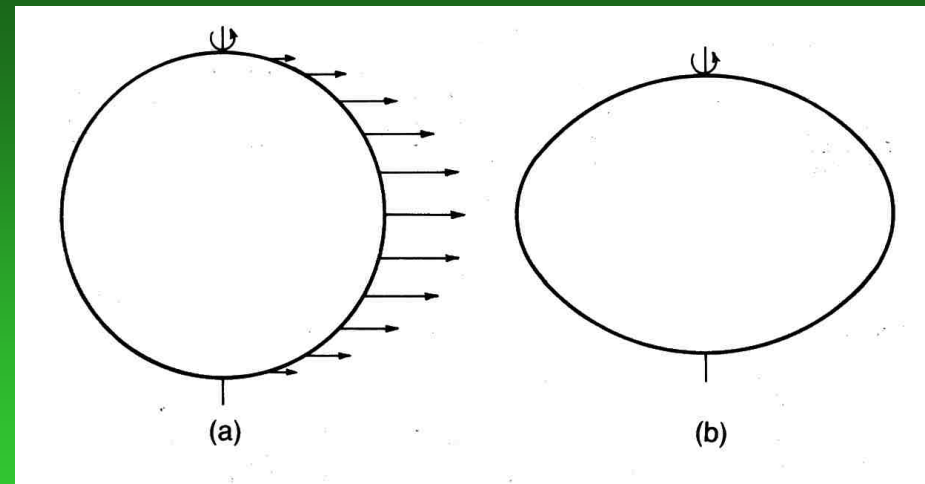
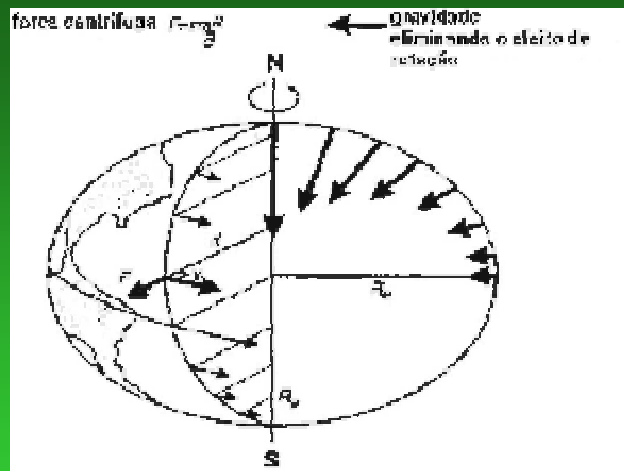
- Correções da gravidade
- Deriva Instrumental
- Maré terrestre



- Correção de latitude



- Correção de latitude
- o valor da aceleração da gravidade é afetado pelo valor da aceleração centrífuga e pela forma da superfície da Terra (esferóide achatado) que é conhecida matematicamente. Assim, existe uma fórmula teórica para o cálculo da aceleração da gravidade à superfície da Terra:



Métodos Potenciais - Gravimetria

- A fórmula de Clairaut relaciona a gravidade com a latitude no esferóide de referência “*Geodetic Reference formula of 1971*” IGRF

$$g_{\phi} = g_0 \left(1 + k_1 \text{sen}^2 \phi - k_2 \text{sen}^2 2\phi \right)$$

- $g_0 = 978,0318 \text{ cm/s}^2$; $k_1 = 0,005278895$; $k_2 = 0,000023462$

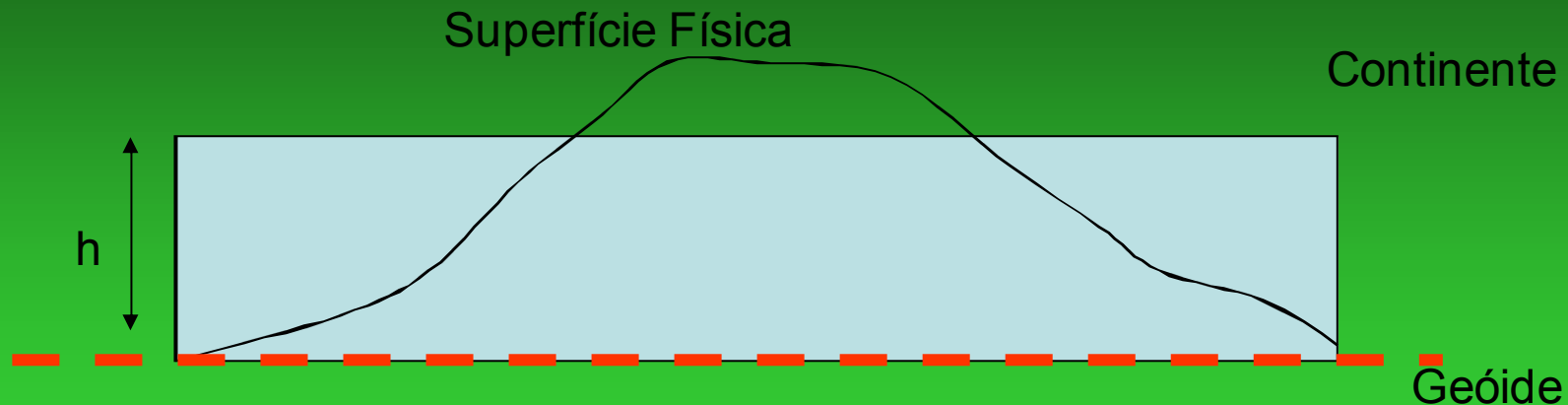
$$g_{\phi} (1967) = 9,78031846 (1 + 0,005278895 \text{sen}^2 \phi + 0,000023462 \text{sen}^4 \phi) \text{ m/s}^2$$

- O valor de g_{ϕ} dá-nos uma previsão da gravidade, ao nível do mar, e deve ser subtraído ao valor observado para se obter a correção da latitude.

Correções Potenciais Gravimétricas

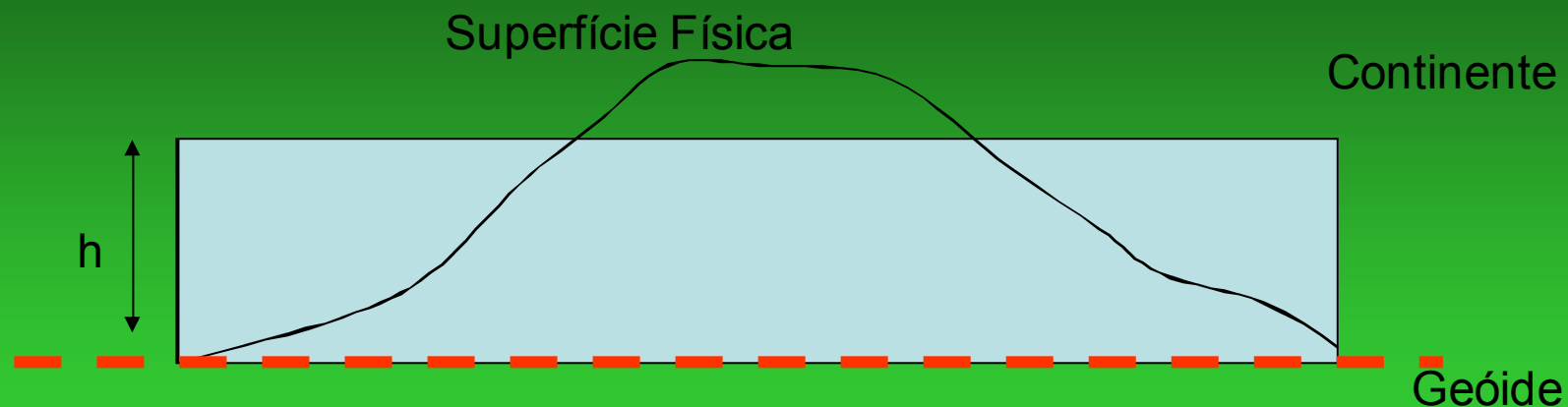
- Correções de altitude
- As correções para compensar o fato das estações de observação poderem estar a altitudes diferentes são feitas em três partes.
- 1- Correção de ar livre
- 2 – Correção Bouguer
- 3 – Correção de terreno

- Correções de altitude
- As correções para compensar o fato das estações de observação poderem estar a altitudes diferentes são feitas em três partes.
- 1- Correção de ar livre, corrige o decréscimo de g em função da altitude (ou seja, admitindo que não existe qualquer massa entre o ponto de observação e o nível de referência), resultante do aumento da distância ao centro da terra.
- $C_{AL} = 0,3086h \text{ mgal}$
- A correção de ar livre é positiva para um ponto de observação situado acima do nível de referência, corrigindo assim o decréscimo de g com a altitude em metro.

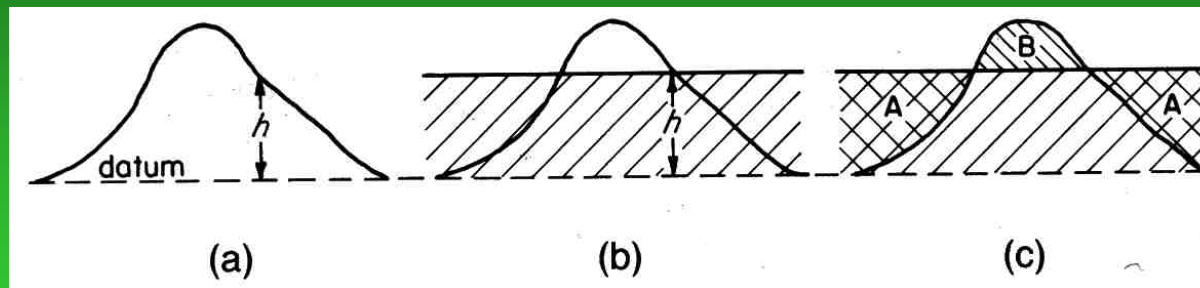


- 2 - Correção de Bouguer, a segunda das correções de altitude, remove o efeito da massa, fazendo no entanto a aproximação de que a camada de rochas abaixo do ponto de observação é uma placa horizontal finita com uma espessura igual a $h(\text{metro})$. A correção de Bouguer é dada por
- $C_B = 0,04191 \rho h \text{ mgal}$
- ρ é a densidade média da camada
- Em terra a correção de Bouguer deve ser subtraída para compensar a atração exercida pelo material entre o ponto de observação e o nível de referência. No mar, deve ser adicionada, sendo o seu valor obtido da aplicação da relação
- $2\pi G(\rho_r - \rho_a)z$
- onde z representa a profundidade e ρ_r e ρ_a as densidades da rocha e da água respectivamente.

- Em terra a correção de Bouguer deve ser subtraída para compensar a atração exercida pelo material entre o ponto de observação e o nível de referência. No mar, deve ser adicionada, sendo o seu valor obtido da aplicação da relação:
- $2\pi G(\rho_r - \rho_a)h$
- onde h representa a profundidade e ρ_r e ρ_a as densidades da rocha e da água respectivamente.



- 3 - Correção do terreno - Esta correção é positiva quando por exemplo; a parte A da figura C abaixo foi levada em consideração quando na verdade não existe, e é por isso preciso necessário repô-la. Quanto à parte B, ela foi excluída da correção, mas exerce uma atração para cima (no ponto de observação) e provoca por isso uma diminuição da gravidade.



Métodos Potenciais - Gravimetria

- Correções da gravidade

$$g_{\phi} (1967) = 9,78031846(1 + 0,005278895 \sin^2 \phi + 0,000023462 \sin^4 \phi) \text{ m/s}^2$$

- Latitude

local

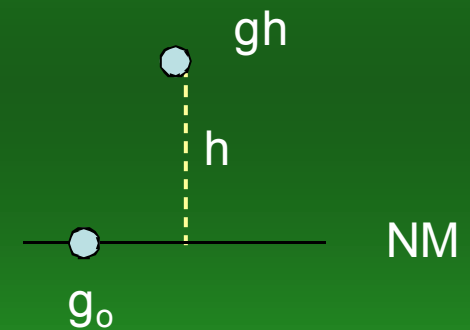
$$g_{\text{obs}} - g_{\phi} = g_L = -0,8108 \sin^2 \phi \text{ (mGal/km)}$$

- Correção Ar-Livre

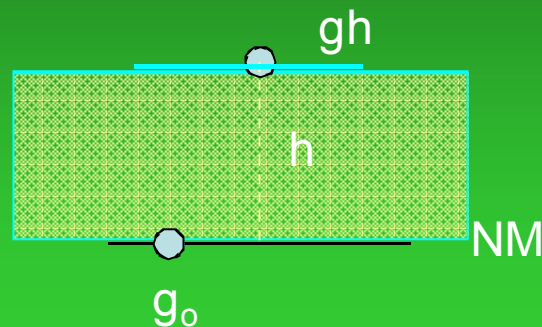
$$g_{AL} = g_o - g_h = 2g_o h / R = 0,3086 h \text{ (mgal)}$$

- Correção Bouguer

$$g_B = 2\pi G \rho h = \beta \rho h = 0,04191 \rho h \text{ (mgal)}$$



$$g_o = GM/R^2$$



Métodos Potenciais - Gravimetria

- Correção de Eötvös
- Esta correção deve ser aplicada quando o gravímetro se encontra baseado numa plataforma em movimento (barco ou avião) e depende da direção do movimento. Dependendo da direção desse movimento, a aceleração centrífuga adiciona-se ou subtrai-se à da gravidade. A correção é
- $C_E = 7,503 v \sin\alpha \cos\phi + 0,004154v^2 \text{ mgal}$
- onde v é a velocidade, α o azimute e ϕ a latitude.

Correções dos dados

afinal o que resta?

- Anomalia Bouguer total - aplica todas correções
- $\Delta g_B = g_{\text{obs}} + \Sigma \text{correções} - g_{\text{base}}$
- $\Sigma \text{correções} = \delta g_\phi + (\delta g_{AL} - \delta g_B) + \delta g_T \pm \delta g_{\text{EOTVOS}} - \delta g_{\text{drift}}$
- Anomalia Ar-livre – omite a correção Bouguer

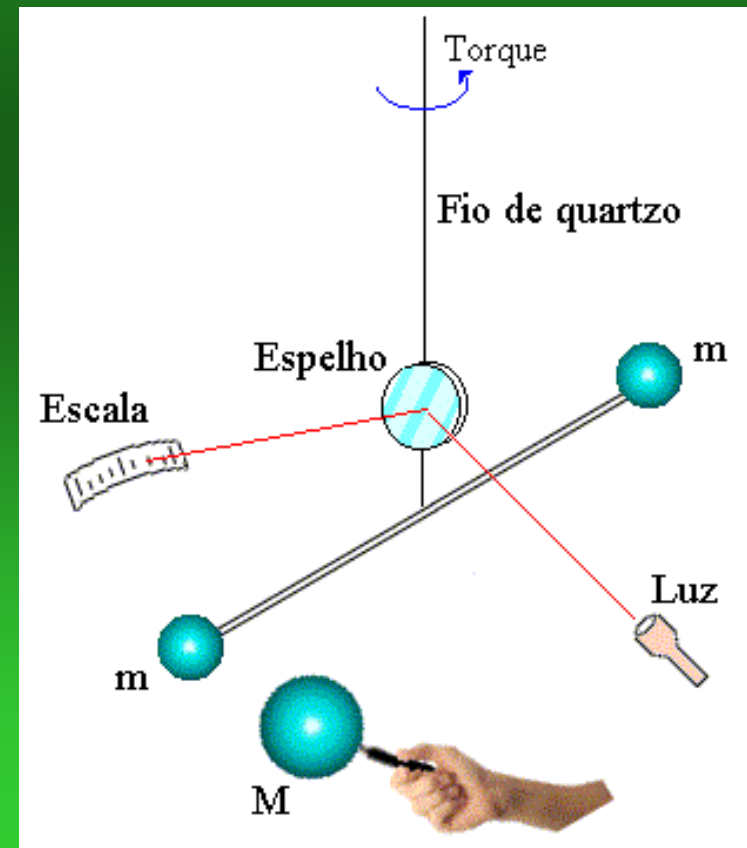
Instrumentação

Gravímetros Absolutos

- 1 – Queda Livre
- $S = (1/2) g t^2$
- G com precisão de 0,1 mgal, espaço com acurácia de 0,1 μm e tempo $2 \cdot 10^{-8}$ s.
- Emprego de lasers e método óticos nos instrumentos permitem boa precisão

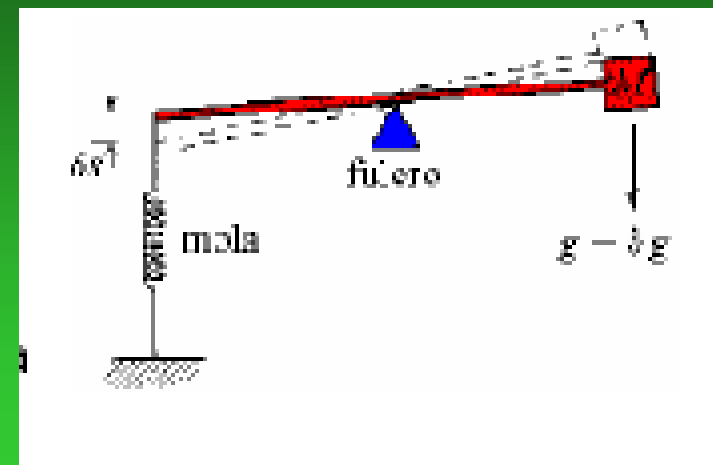
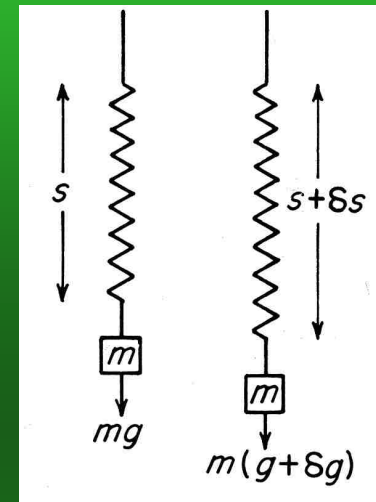
Instrumentação

- Gravímetros Diferenciais
- 1 - 1749 – Pierre Bouguer: gravidade pode ser medida pelo movimento pendular.
- $g = 4L\pi^2/T^2$
- $g_1/g_2 = T_2^2/T_1^2$ (mesmo pêndulo – 2 locais)
- $\Delta g = -2g (T_2 - T_1)/T_1$
- 2 – Balança de Torção em 1880 – mede a variação horizontal (sensibilidade 0.001mGal) - Eotvos



Instrumentação

- 1989 – gravímetros mais sofisticados
- As medições da gravidade fazem-se usando o princípio da distensão de uma mola. A extensão da mola é proporcional à força (lei de Hooke), logo $m\delta g = k\delta s$ e $\delta s = \delta g m/k$.
- $\delta g = k\delta s/m$
- ($\delta g = 1/10^8$; $\delta s \sim$ dezenas de nm) – amplificação do movimento.
- **Gravímetros estáveis (ou estáticos) - 1930**
- consistem de uma massa fixa no fim de uma haste, com pivots em um fulcro, e balanceado por uma mola tencionada
- Em um sistema estável, a massa retornará a posição de equilíbrio após pequenas perturbações.
- São os menos sensíveis



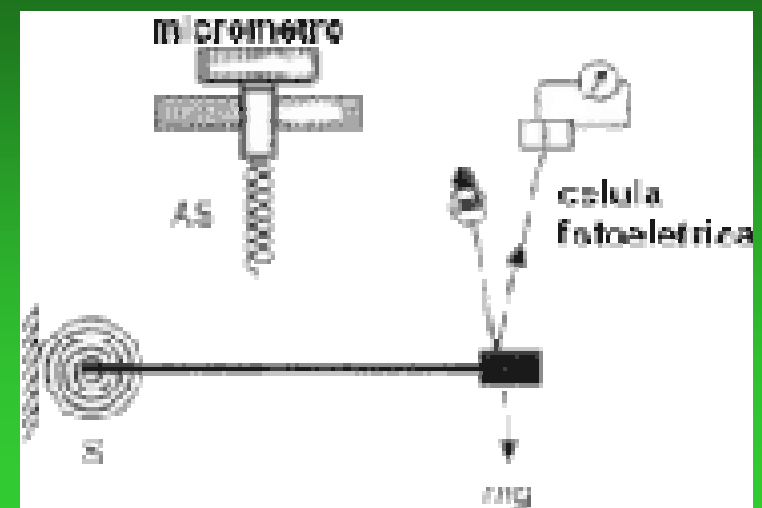
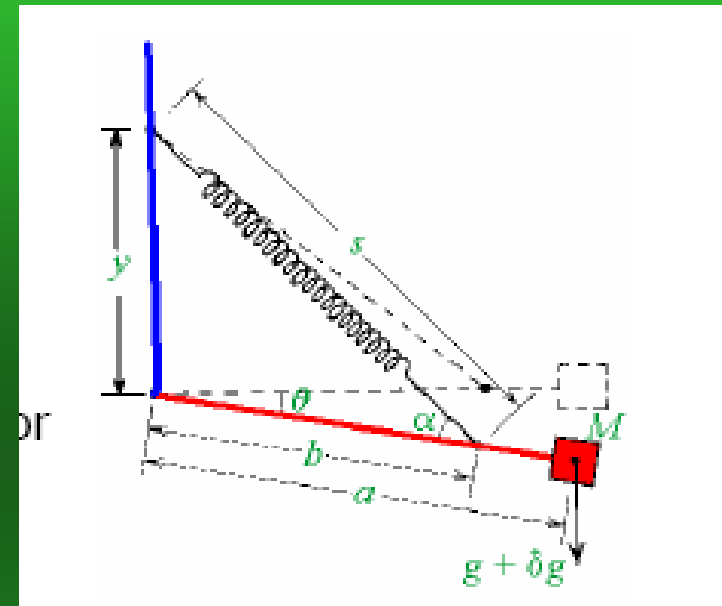
Instrumentação

Gravímetros Instáveis

Nos sistemas instáveis, a massa continua a se mover

- **Gravímetro Lacoste & Romberg**
- **Gravímetro Askania**

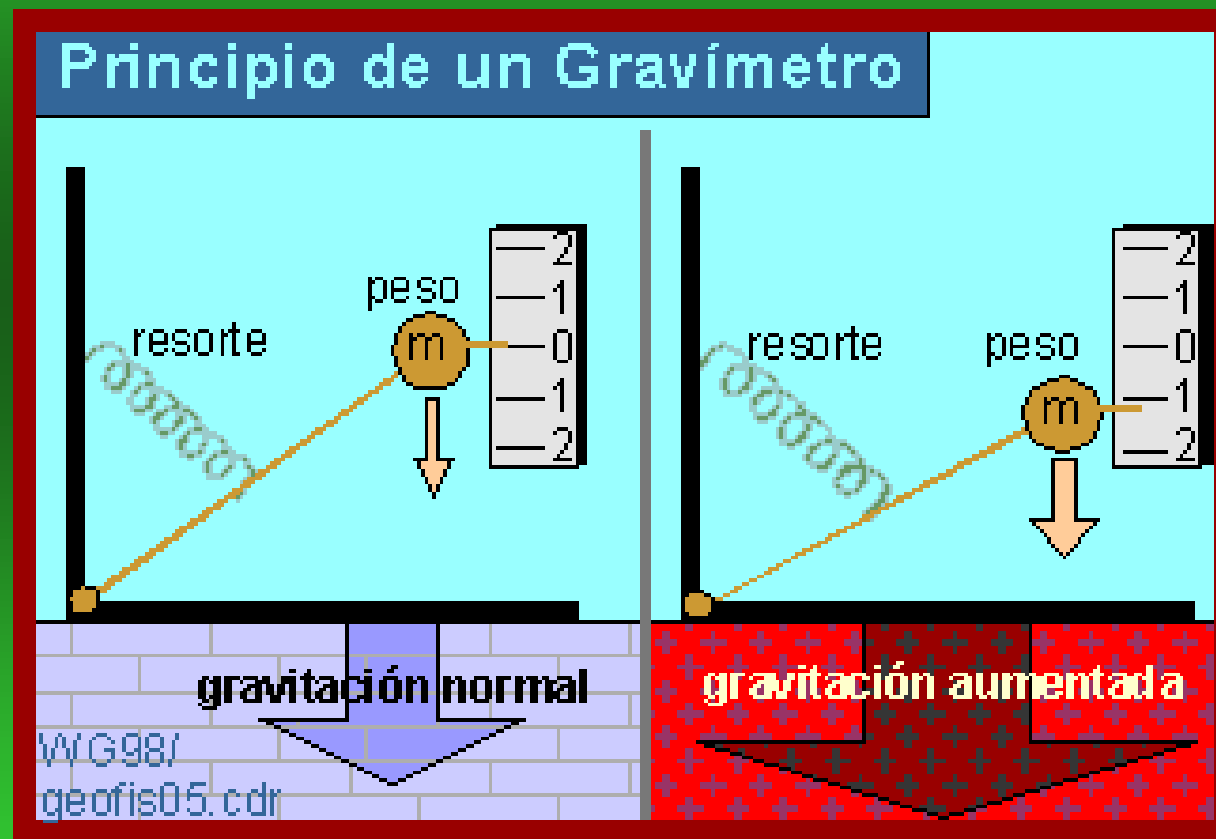
A haste é equilibrada na mola principal. um feixe de luz é refletido a uma célula fotovoltaica. A Deflexão da massa altera a direção do feixe luminoso e altera a voltagem no circuito.



Instrumentação

Princípio do gravímetro

- Gravímetro Lacoste & Romberg



Instrumentação

Princípio do gravímetro

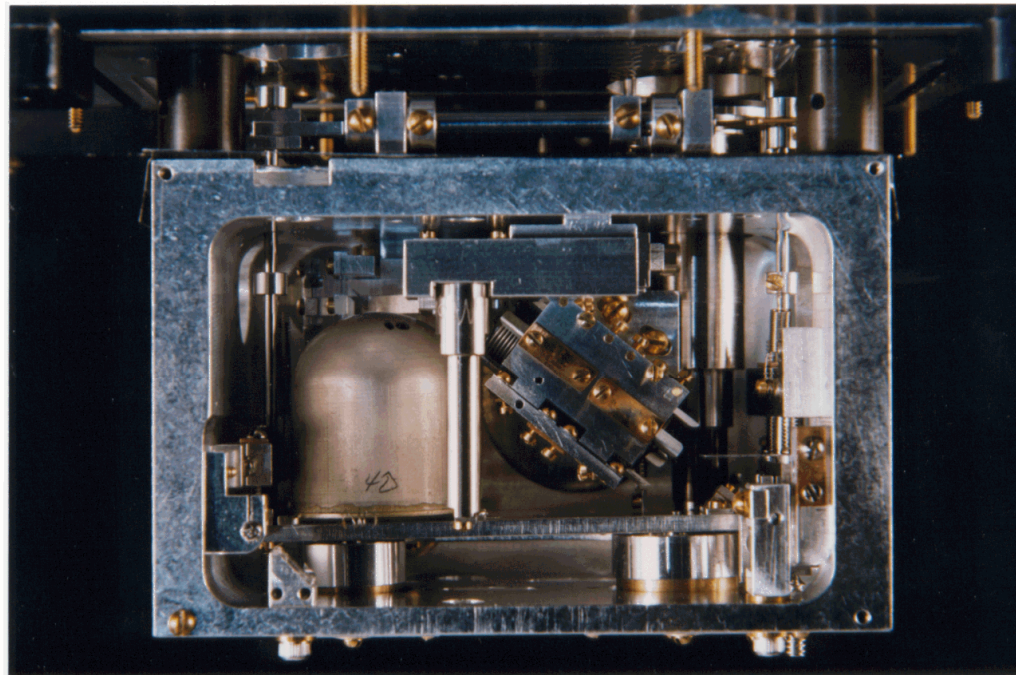
- Gravímetro Lacoste & Romberg e
Worden e Scintrex



Instrumentação

Princípio do gravímetro

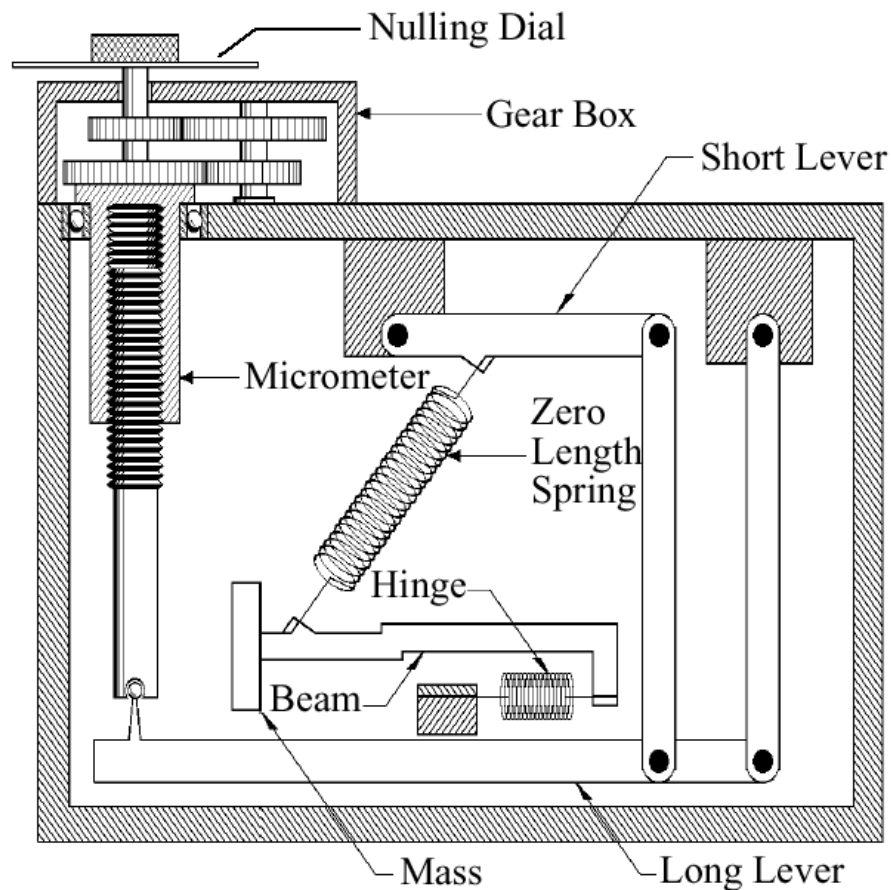
- Gravímetro Lacoste & Romberg



Instrumentação

Princípio do gravímetro

- Gravímetro Lacoste & Romberg



Modelo G:

Rango=2000mgal

Precisión = 0.01 mgal

Modelo D:

Rango=200mgal

Precisión = 0.001 mgal