

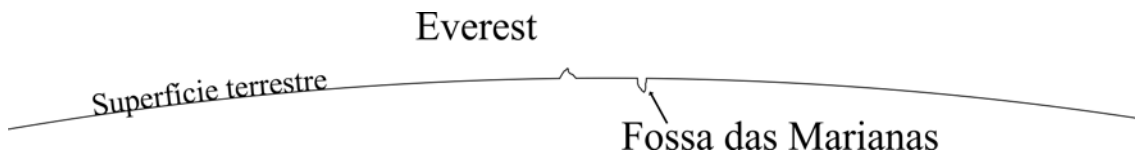


Tenha isso muito claro na cabeça!

Existem duas formas de representar a Terra (existem mais, mas vamos tratar de duas):

- modelo matemático = elipsóide
- modelo “quase real” = geóide.

O elipsóide é uma figura matemática que representa a terra na forma de uma esfera achatada nos pólos. É utilizado para materializar todas as projeções cartográficas e definir coordenadas na superfície terrestre. O elipsóide considera que a Terra possui a superfície lisa, de fato, de levarmos em conta o tamanho da Terra, as irregularidades topográficas são ridículas, seria algo como no desenho abaixo:



Esse esquema está em escala.

Se a Terra fosse do tamanho de uma bola de basquete, o Everest seria um montinho de 2 mm de altura em sua superfície.

Como as imperfeições topográficas são muito pequenas quando comparadas ao tamanho da Terra, não há problema em representar o planeta como se fosse um elipsóide, isso facilita as projeções e tais.

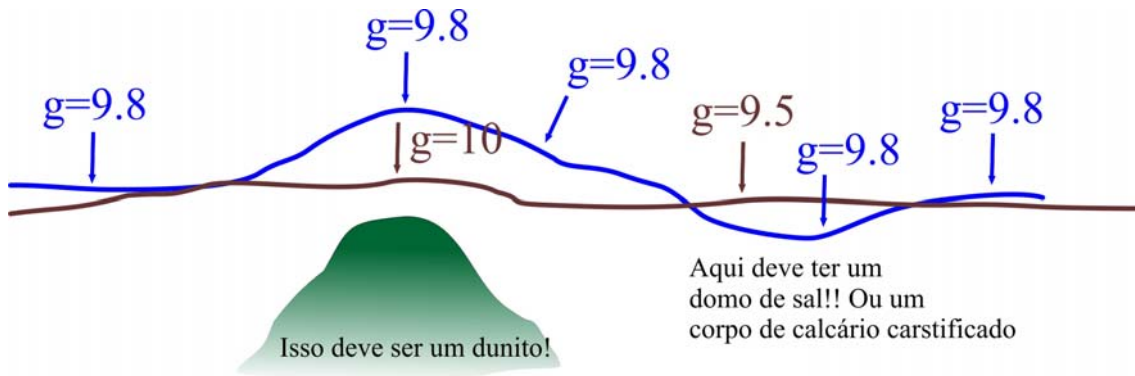
O modelo “quase real” é o geóide. Este possui a superfície toda irregular. Essa irregularidade é dada pelas diferentes atrações da gravidade na superfície da Terra. Essas diferenças estão diretamente ligadas à distribuição de massa na Terra, e conseqüentemente às placas litosféricas (principalmente zonas de subducção ou cinturões acrescionários), hotspots, etc (começou a ficar interessante. :D)

O geóide é definido como uma superfície de equipotencial gravitacional, ou seja, uma superfície em que a aceleração da gravidade é a mesma, independente do local. Porém, como deves saber, a gravidade varia em função da topografia e massa sob o local de medição. Com isso, para que uma superfície tenha o mesmo potencial gravitacional, é necessário que ela suba ou desça para se adaptar as diferenças de topografia e massa interna.

No final das contas temos o seguinte: Em locais de subducção, a massa é grande, afinal existem duas placas e um monte de montanhas, então a superfície equipotencial tem de “subir”, para manter a mesma aceleração gravitacional (olha o desenho seguinte)

A linha azul é a superfície do geóide, sobre ela a aceleração da gravidade é a mesma. Por isso ela tem de subir e descer, para compensar as diferenças de massas do interior da Terra. Quanto mais denso um corpo, maior sua atração gravitacional.

Os valores de g no desenho são totalmente hipotéticos.



A linha marrom é a superfície topográfica. Sobre o corpo de rocha muito densa, a aceleração é maior (a gravidade está diretamente relacionada a massa), por isso, para conseguirmos manter o valor de g constante, temos de “subir” a superfície (a gravidade é inversamente proporcional à distância ao quadrado)

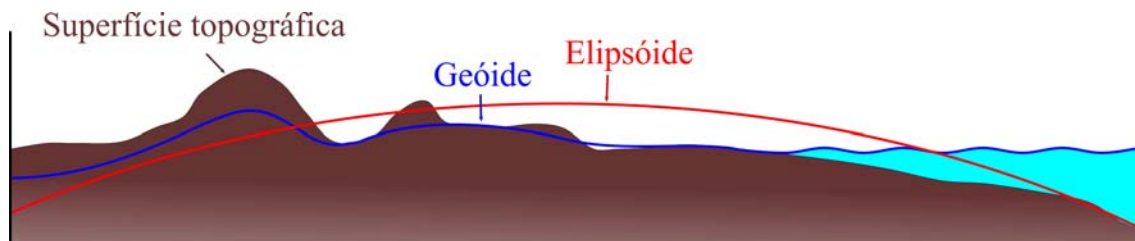
Agora veja que a Terra é representada por um elipsóide e este tem uma relação com o geóide

O nível do mar coincide com a superfície do geóide. O sistema é meio bruto, pois o mar não é “lisinho”, ele é cheio de buracos e morros, pois a água é facilmente moldada pelo campo gravitacional. Então, para definirmos a superfície do geóide, basta projetar o nível do mar (tens de desconsiderar as a marés, ondas, correntes, etc.) para dentro dos continentes, sempre moldando essa superfície com a gravidade (moleza, não).

Masssss, como a Terra, para efeitos práticos, é representada por um elipsóide (superfície lisinha), obviamente que a superfície do elipsóide nem sempre estará grudada na superfície do geóide.

A diferença (distância) entre a superfície do geóide e a superfície do elipsóide é chamada de **altura geoidal** (este é um conceito importantíssimo).

Veja no desenho uma representação dos dois.



A altura geoidal é positiva quando o geóide está acima do elipsóide e negativa quando o elipsóide está acima do geóide. Na figurinha acima, a altura geoidal é positiva do começo da montanha (a esquerda) e na extrema direita, no final do mar.

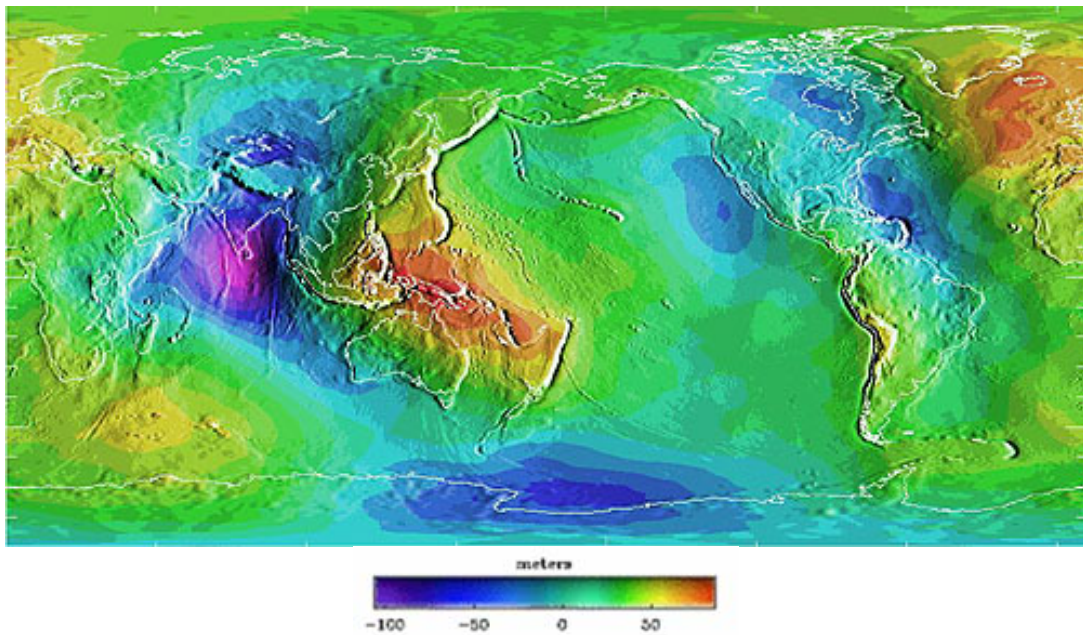
Ahh, o desenho está com uma bruta sobrelevação. Essas diferenças são bem suaves.

Para entender melhor, veja as seguintes figuras:

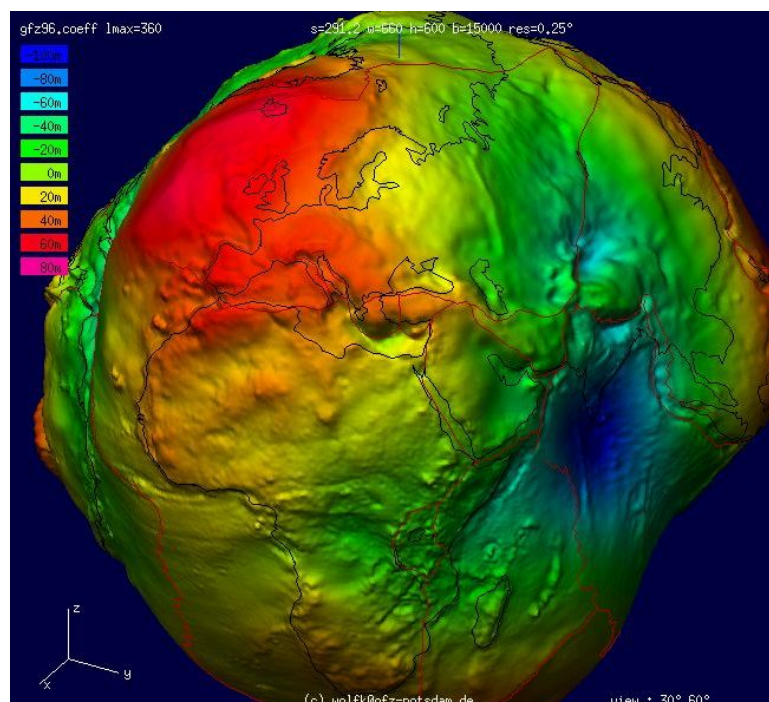


O mapinha seguinte mostra a ondulação geoidal (diferença entre o elipsóide e o geóide) do geóide EGM96 (Earth gravitational model 1996) e o elipsóide WGS84 (World Geodetic System 1984).

Observe que nas zonas de encontro de placas (as mais ativas), como nos Andes e o círculo de fogo do Pacífico, é onde tem as maiores diferenças positivas, ou seja, o elipsóide está abaixo do geóide. O máximo é de cerca de 85 metros, e está no norte da Austrália, acho que é Filipinas lá. O mínimo é 107 metros e está no litoral sul da Índia. Isso significa que no sul da Índia há pouca massa, mas em compensação, no norte (Himalaia) a altura fica quase positiva.



Essa próxima figurinha mostra bem isso





Veja como a coisa é extrema no Alpes!!!

Então vamos ao que interessa: O que isso tudo influencia no nosso trabalho?

O GPS usa o elipsóide para determinar sua posição na Terra, isso por que é humanamente impossível materializar a superfície do geóide através de fórmulas matemáticas (pode perguntar à algum ufólogo, talvez eles saibam se os extraterrestres sabem fazer isso :D).

Mas acontece que a altitude tem como referência o nível do mar (lembra que o nível do mar coincide com a superfície do geóide), logo as coordenadas (longitude e latitude) são obtidas a partir do elipsóide e as altitudes a partir do geóide. Assim há uma pequena incompatibilidade aqui.

A altitude possui como referencial o geóide, pois o fluxo de fluidos é determinado pela gravidade, assim, todas altitudes de precisão precisa levar em consideração a gravidade, para saber exatamente para onde um fluido irá escoar.

Porém, como o GPS usa o elipsóide para determinar sua posição, ele acaba utilizando também para determinar a altitude. A altitude que o GPS fornece é a **Altitude Geométrica**, que possui como referencial o elipsóide. Já a altitude que usamos (cartas topográficas, RNs, altímetros, etc.) é a **Altitude Ortométrica**, que possui como referencial o nível do mar (geóide).

Imagina se você morasse nas Filipinas... seu GPS marcaria uma altitude até 85 metros diferente da real!!! (veja o mapinha de ondulação geoidal).

É por isso que dizem que a altitude do GPS não é precisa. Na verdade, ela possui quase a mesma precisão da posição planimétrica (X e Y). Se o erro em X e Y for de, digamos, 2 metros, eu diria que o erro em Z é de não mais que 3 metros (isso em condições ideais de utilização, pois o valor de Z é muito sensível às variações dos sinais dos satélites PRN).

Agora o lance do datum.

Então para representar a Terra matematicamente, as caras fizeram o elipsóide, mas exageraram na dose. Que eu conheça, existem 53 elipsóides, cada um deles com um tamanho diferente (o que define um elipsóide é o semi eixo maior e o achatamento).

A função do elipsóide (além de transformar a Terra em uma fórmula matemática - !?!?!?!?) é chegar o mais próximo possível do geóide, por isso, existem tantos. Um elipsóide que se aproxima do geóide na Jamaica, não se aproximará na Argentina, e assim vai....

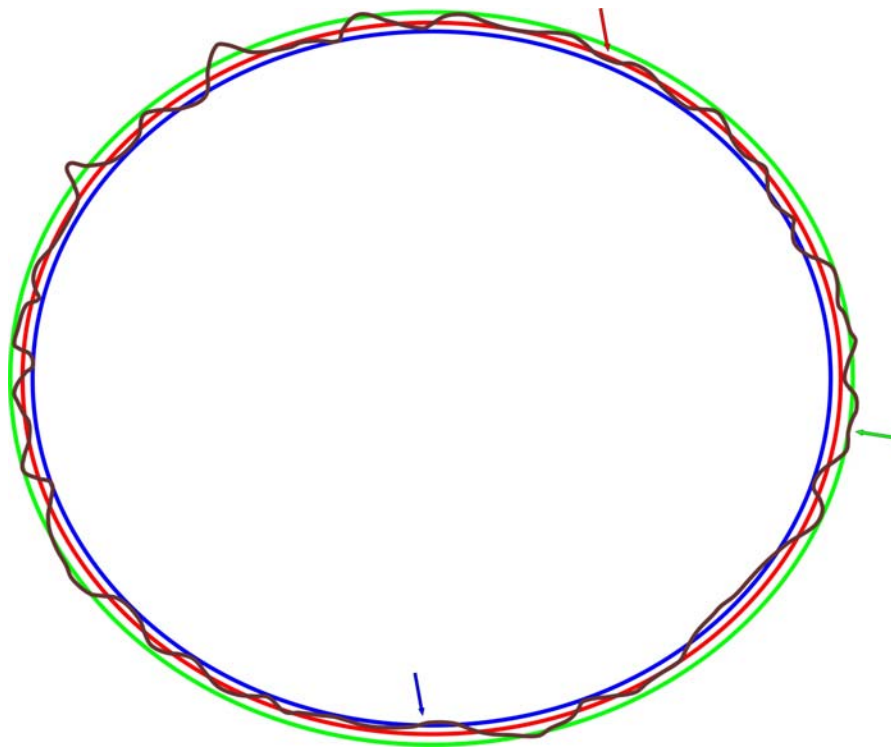
Veja a figura para entender melhor.

As setinhas mostram onde cada um dos elipsóides se encaixa melhor (onde ele se aproxima mais do geóide). A linha marrom é a superfície do geóide (com um brutal



exagero) em as linhas verde, vermelha e azul são três elipsóides diferentes, cada um com um tamanho diferente.

O elipsóide do datum WGS84 (chamado de GRS80) é um adotado para se ajustar no mundo todo. Ele não se ajusta em nenhum lugar... hauhauahua...., mas é o melhor que se adapta.



Então temos que existem muitos elipsóides para diferentes partes do mundo, cada um deles tentando se adequar o máximo possível à superfície do geóide. Mas, existem mais de 630 datums, isso significa que um elipsóide é utilizado para mais de um datum.

Datum, a priori, é um ponto a partir do qual as coordenadas de um determinado sistema são “amarradas”, ou, é o ponto a partir do qual são originadas as coordenadas. No Brasil há um pequeno deslize, pois aqui (não o IBGE) o datum é definido como o conjunto de parâmetros de um sistema geodésico, o que não é verdade.

Vamos ao datum.

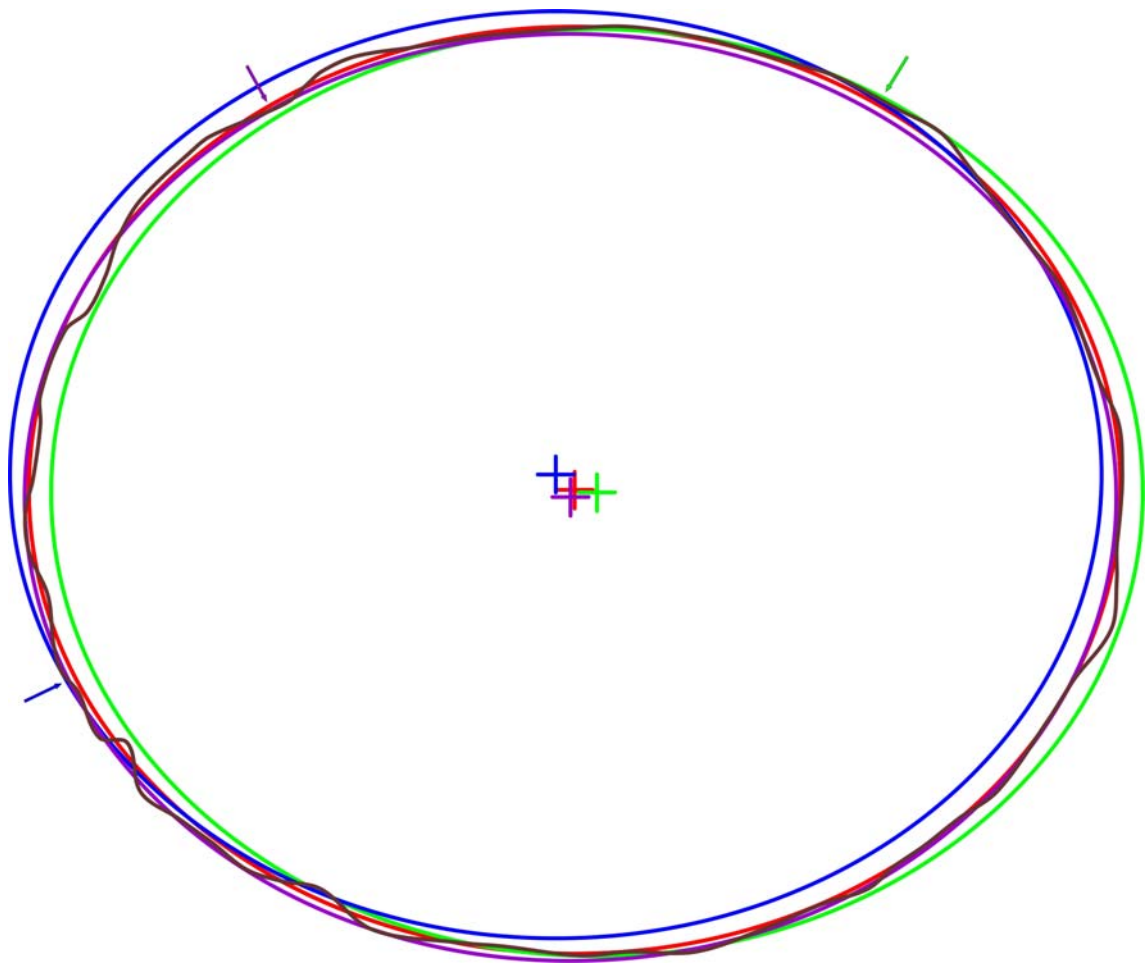
É intuitivo pensar que um elipsóide possa se adaptar ao geóide em vários locais, e isso de fato ocorre. Vamos a um exemplo próximo: O datum SAD69. Esse datum possui variações para quase todos os países da América do Sul, além de um datum médio.

O elipsóide utilizado é o SAD69, todos os 13 (conheço somente esses 13) datums variantes do SAD69 possuem esse elipsóide como forma matemática da Terra, mas ele possui alguns ajustes em cada país. Veja a figura:



A linha marrom representa o contorno do geóide na América do Sul. A linha vermelha representa o elipsóide SAD69, na variação do datum médio. As linhas azul, roxa e verde representam as variações locais do datum. Observe que todos os elipsóides (vermelho, azul, roxo e verde) possuem exatamente o mesmo tamanho (mesmo semi eixo maior e mesmo achatamento).

O que ocorre é que para, digamos o Brasil, o elipsóide é levemente deslocado para se adequar à superfície do geóide no Brasil (seta verde). Já no Equador, há um deslocamento diferente, que se adequará à realidade deles (seta roxa) e, analogamente, no Uruguai a mesma coisa (seta azul).



Esse deslocamento ocorre nos três eixos (não dei conta de fazer um desenho em 3D :S), dá para imaginar isso.....

Observe que o elipsóide se encaixa em um local mas fica bem longe de outros.

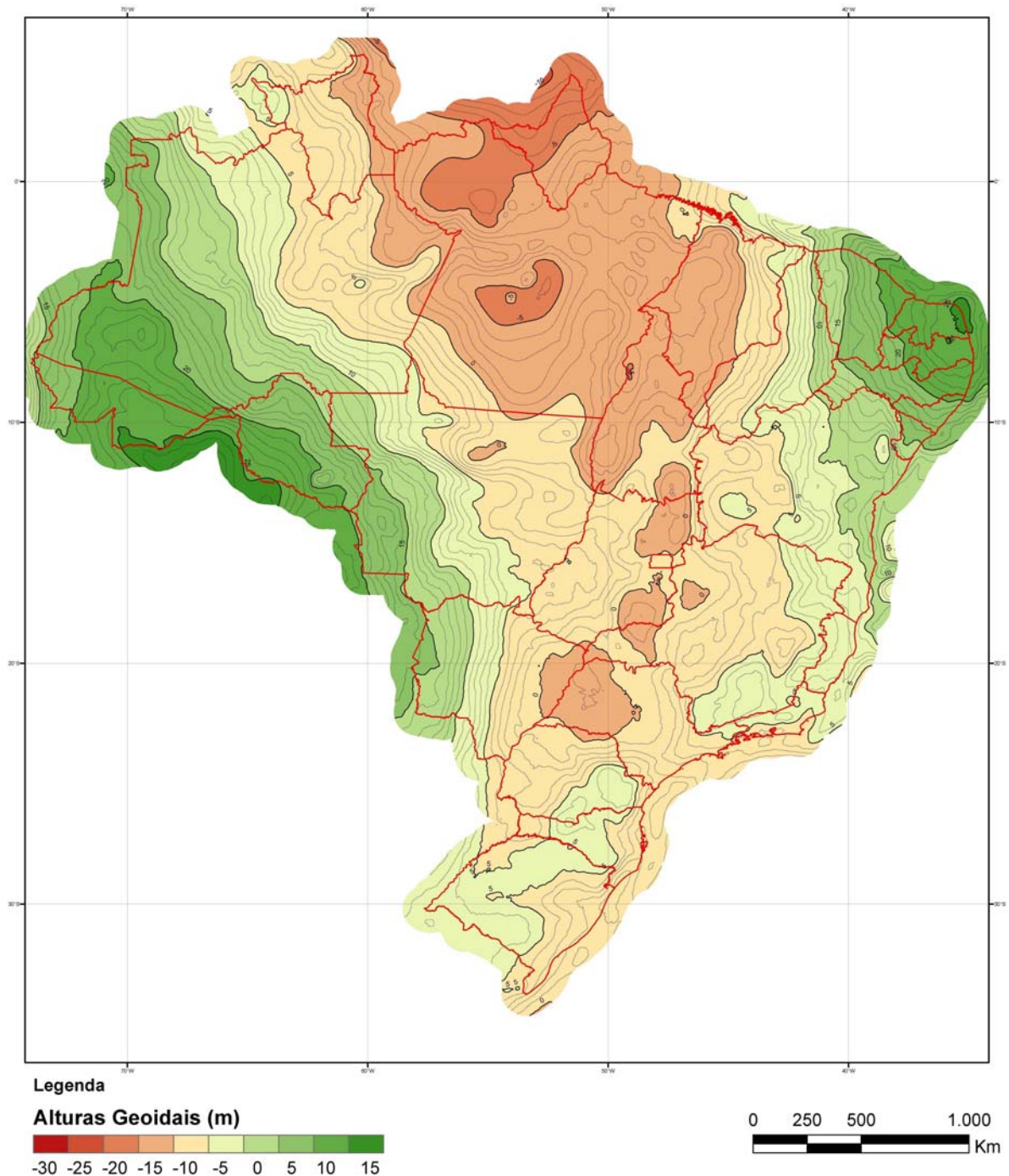
Esse deslocamento (nos três eixos) são os parâmetros de transformação, e existem em qualquer programa de transformação de coordenadas. Inclusive no GPS, quando você vai em configurar datum, há a opção do datum do usuário, em que você pode definir seus parâmetros de transformação.



Aí eu lembro que um camarada uma vez disse que percebeu que o erro em seu GPS era sempre de uns 5 metros para leste (acho que é isso). Tendo isso em mente, você pode configurar seu GPS para um “user datum” que corrija esse erro. Mas para isso tem de fazer uma calculera que ainda não flagrei como faz ☺, mas to quase

Tenha atenção que os parâmetros mostrados no GPS e em qualquer programa (inclusive no ArcGIS) são de transformação sempre de um determinado datum para o WGS84.

Esse é o mapinha de ondulação geoidal do Brasil, para o Elipsóide (e datum) SAD69.





Em resumo:

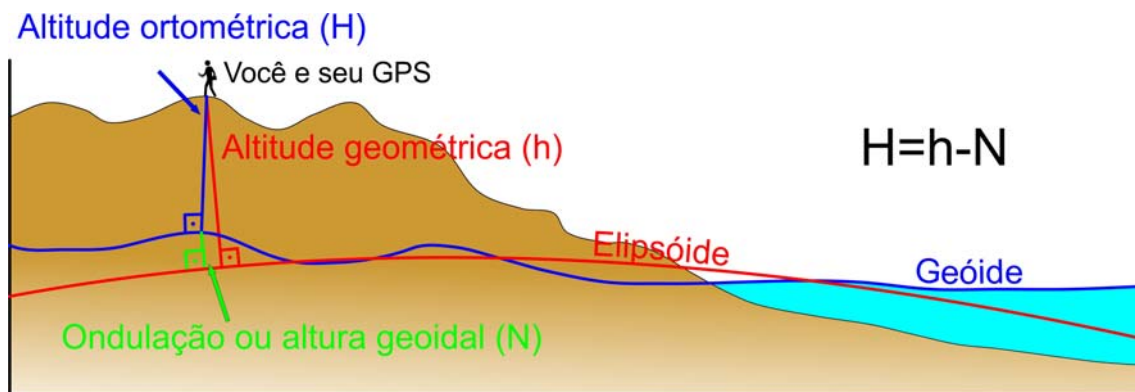
Coordenadas e altitude de GPS são referenciadas ao Elipsóide.

Altitudes topográficas são referenciadas ao geóide

Altitudes referenciadas ao elipsóide são chamadas de geométricas.

Altitudes referenciadas ao geóide são chamadas de ortométricas.

A diferença entre altitudes geométricas e ortométricas é chamada altura geoidal ou ondulação geoidal.



O seu GPS mostra a altitude geométrica, mas você precisa da altitude ortométrica, então tem de fazer a correção com a altura geoidal, através da equação mostrada na figura.

O IBGE tem um programinha que calcula a ondulação geoidal. Chama MapGeo. Procura no Google que é fácil de achar.

Acho que é isso. Se faltar mais alguma coisa, me avisa aí.

jefferson@oncoto.org