

Capítulo 2 – Conceitos Cartográficos – Sistemas de Referência

Luciana Mendes Cavalcante

Em um levantamento de campo são coletados dados que, para melhor condição de análise, devem ser georreferenciados. Quando se pretende utilizar imagens de satélite, radar ou fotografias aéreas para auxiliar tais análises são necessários pontos terrestres com coordenadas conhecidas para correções geométricas, por isso é importante estabelecer um sistema de referência para que as informações espaciais analisadas sejam confiáveis.

A melhor maneira de representar a Terra como um todo é por meio de um globo, mas para melhor visualizar sua superfície são necessários mapas planos por causa da maior facilidade de produção, reprodução e manuseio. Transpor uma realidade do espaço natural para uma carta ou mapa exige o estabelecimento de um método, segundo o qual, cada ponto da superfície terrestre corresponda a um ponto da carta ou mapa e vice-versa.

No entanto, converter um corpo esférico como a Terra numa figura de superfície plana não pode ser feito sem deformar sua representação. O sistema de conversão ideal deveria ser capaz de manter as formas verdadeiras quando representadas (conformidade), inalterar as áreas (equivalência) e manter constantes as relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes (equidistâncias), mas ele não existe. A fim de minimizar os erros foram criados vários métodos de representação para diferentes usos, os chamados sistemas de projeção.

Vale ressaltar que toda projeção resulta em deformações e incorreções, ou seja, nenhum método é melhor que outro. Em cada projeção há concessões: para representar corretamente uma característica, outras são distorcidas. As deformações podem acontecer em relação às distâncias, às áreas ou aos ângulos. Conforme o sistema de projeção utilizado, as maiores alterações da representação localizam-se em uma ou outra parte do globo: nas regiões polares, nas equatoriais ou nas latitudes médias, cabendo

ao usuário da informação definir qual projeção representará melhor a porção da superfície com que está trabalhando.

A Terra já foi entendida como esférica (segundo Pitágoras, séc. 6° a.C. e Aristóteles, séc. 4° a.C.), elipsoidal (segundo Newton, séc. 17) e geoidal (Gauss, séc. 18). A superfície do geóide é mais irregular do que o elipsóide de referência¹ usado habitualmente para aproximar a forma do planeta, mas consideravelmente mais suave do que a própria superfície física terrestre. Enquanto que esta última varia entre os +8,850 m (Monte Everest) e -11,000 m (Fossa das Marianas), o geóide varia apenas cerca de ± 100 m além da superfície do elipsóide de referência (IBGE, 2007). O Geóide é a superfície de nível usada para apresentar a forma da Terra, mas não serve como superfície de referência para o posicionamento de pontos da superfície topográfica pois equivale de fato ao seu campo de gravidade. É a superfície equipotencial (superfície de potencial gravitacional constante) que, em média, coincide com o valor médio do nível médio das águas dos mares (ROCHA, 2000). Em outras palavras, o geóide coincide com a superfície onde os oceanos estariam sobre todo o planeta se estivesse livre para ajustar o efeito combinado da atração de massas (gravidade) e a força centrífuga da rotação da Terra (Fig. 1).

¹Em geodésia, um elipsóide de referência é uma superfície matematicamente definida que se aproxima do geóide, a verdadeira figura da Terra ou qualquer outro corpo planetário. Devido à sua relativa simplicidade, os elipsóides de referência são usados como uma superfície preferida na qual são efetuados os cálculos da rede geodésica e são definidas as coordenadas de pontos tais como latitude, longitude e elevação.

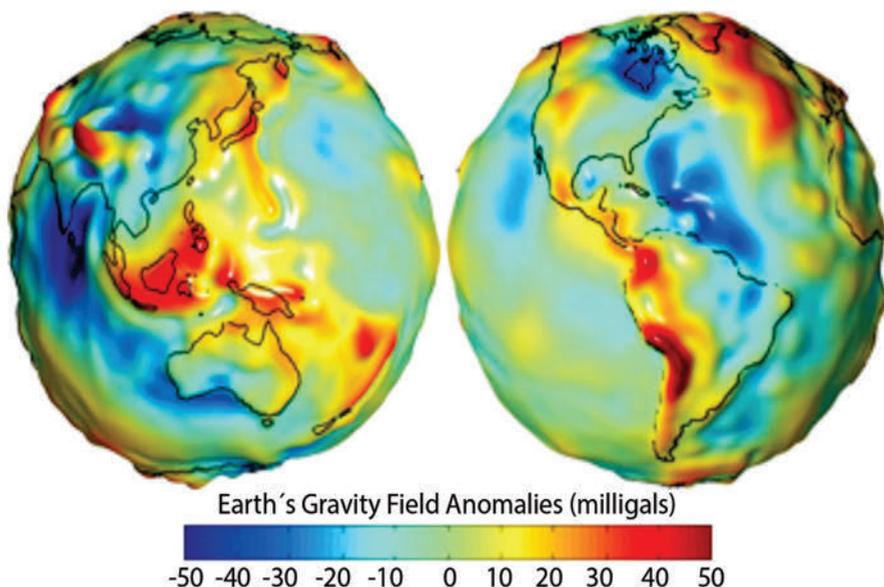


Fig. 1. Anomalias do campo gravitacional terrestre (em miligals) definindo a superfície geoidal.

Fonte: <http://earthobservatory.nasa.gov/library/GRACERevised/page3.html>

Sistemas de Coordenadas

Para expressar a posição de pontos sobre uma superfície, seja ela um elipsóide, esfera ou um plano, são necessários sistemas de coordenadas. Para o elipsóide, ou esfera, usualmente emprega-se um sistema de coordenadas cartesiano e curvilíneo (paralelos e meridianos), para o plano geralmente utiliza-se um sistema de coordenadas cartesianas X e Y .

Para amarrar a posição de um ponto no espaço deve-se ainda complementar a coordenada bidimensional com uma terceira coordenada denominada altitude. A altitude de um ponto qualquer (h) é a distância medida a partir do geóide; há também a altitude geométrica (H), medida a partir da superfície do elipsóide (Fig. 2).

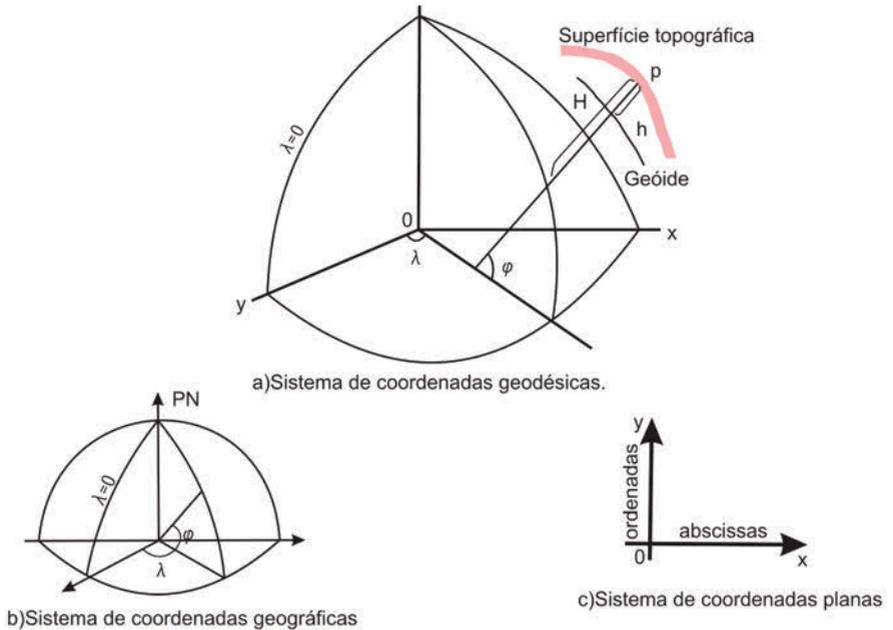


Fig. 2. Sistemas de coordenadas.

Sistemas de Coordenadas Planas

Consiste de duas linhas retas (ou eixos) perpendiculares que se cruzam em um ponto definido como origem de valores (0,0), chamadas também de coordenadas cartesianas por utilizar o plano cartesiano. O eixo horizontal é chamado de abscissa e contém valores chamados de coordenadas x ; é positivo se o movimento for à direita da origem e negativo se for à esquerda. O segundo eixo, vertical, é conhecido como ordenada e seus valores são chamados de coordenadas y ; é positivo se o movimento for para cima da origem e negativo se para baixo, mas por tradição o que se expressa na realidade é o norte (y) e o leste (x) (Fig. 3). Esse sistema é usado para pequenas áreas da superfície da Terra, bem como para mapas de grande escala, do contrário pode gerar muitas distorções.

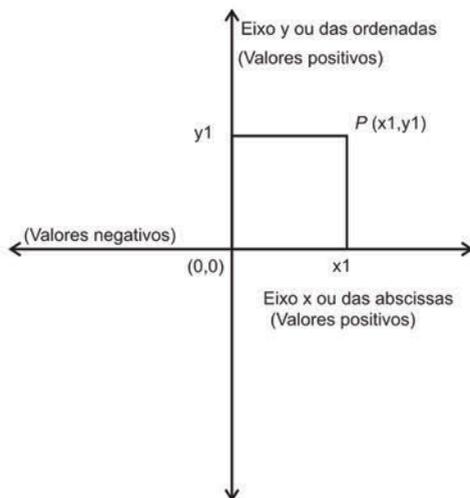


Fig. 3. O plano cartesiano.

Além das coordenadas cartesianas há as coordenadas polares, que utilizam o par (r, θ) , sendo r distância da origem ao objeto e θ o ângulo medido com respeito a uma direção fixada entre r e um dos eixos x (leste) ou y (norte). Os dois sistemas no mesmo conjunto de eixos constam na Fig. 4.

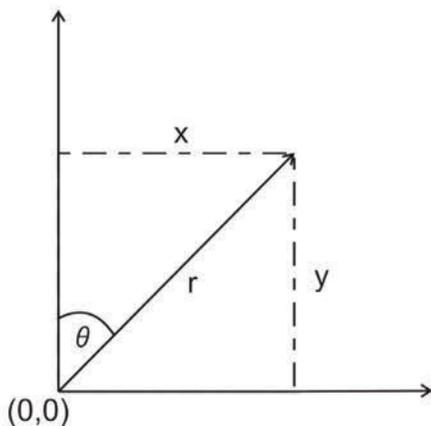


Fig. 4. Relação entre os sistemas de coordenadas cartesianas e polares.

Há um grande número de projeções disponíveis, a grande maioria do sistema de coordenadas planas visa ajustar para conformidade usando apenas projeções conformes de mapas, como o sistema Universal Transverso de Mercator.

As características básicas do sistema (UTM) são as seguintes (IBGE, 2007):

- 1) O mundo é dividido em 60 fusos (Fig. 5), em que cada um se estende por 6° de longitude. São numerados de 1 a 60 começando no fuso 180° a 174° W de Greenwich e continuando para leste. Cada um destes fusos é gerado a partir de uma rotação do cilindro de forma que o meridiano de tangência divide o fuso em duas partes iguais de 3° de amplitude.
- 2) O quadriculado UTM está associado ao sistema de coordenadas plano-retangulares, tal que um eixo coincide com a projeção do meridiano central do fuso (eixo N apontando para Norte) e o outro eixo, com o do Equador. Assim cada ponto do elipsóide de referência (descrito por latitude, longitude) estará biunivocamente associado ao terno de valores meridiano central, coordenada E e coordenada N.
- 3) Avaliando-se a deformação de escala em um fuso UTM (tangente), pode-se verificar que o fator de escala é igual a 1 no meridiano central e aproximadamente igual a 1.0015 (1/666) nos extremos do fuso. Desta forma, atribuindo-se a um fator de escala $k = 0,9996$ ao meridiano central do sistema UTM (o que faz com que o cilindro tangente se torne secante), torna-se possível assegurar um padrão mais favorável de deformação em escala ao longo do fuso. O erro de escala fica limitado a 1/2.500 no meridiano central, e a 1/1.030 nos extremos do fuso.
- 4) Cada fuso é associado a um sistema cartesiano métrico de referência, atribuindo à origem do sistema (interseção da linha do Equador com o meridiano central) as coordenadas 500.000 m, para contagem de coordenadas ao longo do Equador, e 10.000.000 m ou zero m, para contagem de coordenadas ao longo do meridiano central, nos hemisférios sul e norte

respectivamente. Isto elimina a possibilidade de ocorrência de valores negativos de coordenadas.

- 5) Cada fuso deve ser prolongado até 30' sobre os fusos adjacentes criando-se assim uma área de superposição de 1° de largura. Esta área de superposição serve para facilitar o trabalho de campo em certas atividades.
- 6) O sistema UTM é usado entre as latitudes 84° N e 80° S. Além desses paralelos a projeção adotada mundialmente é a Estereográfica Polar Universal.

Esse sistema é indicado para regiões de predominância na extensão norte-sul, entretanto pode-se utilizá-lo na representação de áreas de grande longitude. É o mais indicado para o mapeamento topográfico a grande escala, sendo o sistema de projeção adotado para o Mapeamento Sistemático Brasileiro.

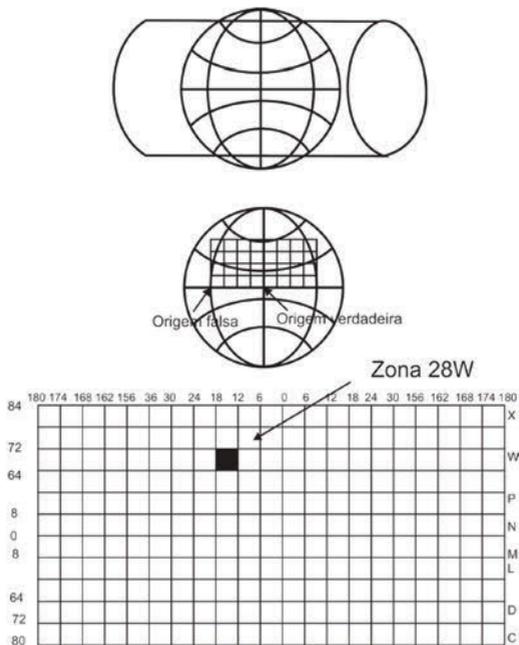


Fig. 5. Grade do sistema de referência UTM.

Sistemas de Coordenadas Geográficas (Latitude e Longitude)

Esse sistema serve para localizar um objeto no espaço (no plano, usa-se o cartesiano). Para entender esse sistema, alguns conceitos são necessários.

Meridianos – são círculos máximos que, em consequência, cortam a Terra em duas partes iguais de pólo a pólo. Sendo assim, todos os meridianos se cruzam entre si, em ambos os pólos. O meridiano de origem é o de Greenwich (0°)².

Paralelos – são círculos que cruzam os meridianos perpendicularmente, isto é, em ângulos retos. Apenas um é o círculo máximo: o Equador (0°). Os outros, tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul, vão diminuindo de tamanho à proporção que se afastam do Equador, até se transformarem em cada pólo, num ponto (90°).

Latitude – é o arco contado sobre o meridiano do lugar e que vai do Equador até o lugar considerado (Fig. 6). A latitude quando medida no sentido do pólo Norte é chamada Latitude Norte ou Positiva. Quando medida no sentido sul é chamada Latitude Sul ou Negativa. Sua variação é de: 0° a 90° N ou 0° a $+90^\circ$
 0° a 90° S ou 0° a -90°

Longitude – é o arco contado sobre o Equador e que vai de Greenwich até o meridiano do referido lugar. A longitude pode ser contada no sentido oeste, quando é chamada Longitude Oeste de Greenwich (W Gr.) ou Negativa. Se contada no sentido leste, é chamada Longitude Leste de Greenwich (E Gr.) ou Positiva. A longitude varia de:

0° a 180° W Gr. ou 0° a -180°
 0° a 180° E Gr. ou 0° a $+180^\circ$

Os valores de latitude e longitude de qualquer lugar definem as coordenadas geográficas de um ponto da Terra. Sua similaridade

²Meridiano Internacional de Referência, escolhido em Bonn, Alemanha, durante a Conferência Técnica das Nações Unidas para a Carta Internacional do Mundo ao milionésimo, como origem da contagem do meridiano.

com o sistema cartesiano não é real, pois a grade de coordenadas geográficas da Terra gerada, devido às linhas imaginárias latitude e longitude, define a forma esférica. Como há um achatamento nos pólos, as áreas quadriláteras definidas pelas latitudes e longitudes tendem a diminuir no sentido dos pólos. Essa observação é importante na hora de definir a projeção do mapa.



Fig. 6. Sistema Latitude – Longitude.

Sistemas de Projeções de Mapas

O objetivo de se projetar um mapa é transformar a superfície curva e tridimensional da Terra em uma superfície plana e bidimensional. O processo consiste em definir uma figura geométrica (o cilindro, o cone ou um plano) para envolver o globo. Dependendo da figura, diferentes formas são criadas (Fig. 7).

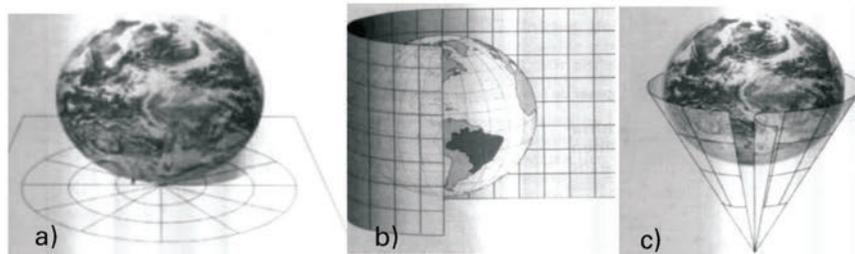


Fig. 7. Famílias de projeções: a) projeção plana; b) projeção cilíndrica; c) projeção cônica.

Cada família de projeção deve ser usada em função do que se quer mostrar em um mapa. Características geométricas devem ser consideradas, principalmente a linear, angular e área. Existem as projeções conformes que mantêm correspondência angular, projeções equivalentes que mantêm a área, e a eqüidistante que mantêm distâncias.

Miranda (2005) cita diversas aplicações: se o projeto visa a movimento e mudança de objetos, a projeção conforme seria mais adequada. Outras aplicações para essa projeção seria a elaboração de cartas náuticas, dados meteorológicos ou topográficos. Neste grupo estão a Mercator, transversa, conforme cônica de Lambert e estereográfica conforme. Mapas com fins educacionais ou de referência geral podem usar a projeção equivalente, também aplicável em estimativas de áreas de cobertura e uso da terra no tempo. Neste grupo estão as projeções de Albert e de Lambert; se o projeto for determinação de rotas, criação de mapas aéreos, alcance de sinais de rádio, usa-se a azimutal, como a projeção de igual área de Lambert, estereográfica, azimutal eqüidistante, ortográfica e gnômica.

Sistemas de Referência Específicos – Datum

Datum é apenas um referencial para o qual se posiciona. A terra não é perfeitamente esférica. Na realidade ela se parece com uma esfera achatada nos pólos; algo semelhante a uma elipse rotacionada em torno de seu eixo menor. Como esta forma geométrica perfeita (a da elipse rotacionada) é a que mais se parece com a forma da terra decidiu-se usá-la como sistema de referência.

Assim, cada sistema de referência é composto por um elipsóide (elipse rotacionada) do tamanho semelhante ao da Terra. Teoricamente, se a Terra não tivesse variações em seu relevo, a superfície se encaixaria neste elipsóide. Entretanto, como a Terra não é perfeita, cada país (ou conjunto deles) acabou adotando um elipsóide diferente, posicionando-o também de maneira diferente, de forma que aquele elipsóide correspondesse o mais próximo possível à superfície da Terra naquela região. Por isso, os diferentes datums utilizados.

Entretanto, o uso de sistemas de referência para mapas é muito mais antigo que os modernos satélites. Antigamente, usavam-se apenas sistemas em que o elipsóide era posicionado em um ponto específico da superfície. Nesse ponto vários parâmetros eram determinados a fim de definir o sistema. Um exemplo destes datums é o de Córrego Alegre (referenciado na localidade de mesmo nome) ou o Astro - Datum Chuá, ambos encontrados em cartas brasileiras mais antigas.

Com o passar do tempo a tecnologia foi evoluindo e os sistemas de referência também. No Brasil, usa-se atualmente como oficial o sistema de referência SAD69, que significa South American Datum 1969. Os dados do IBGE e as cartas brasileiras mais recentes usam este datum.

Com a chegada dos satélites e do GPS, o referencial passou daqueles referenciados na superfície da Terra para aqueles referenciados no centro da Terra, os referenciais geocêntricos. Hoje, com técnicas de monitoramento modernas é possível determinar, por meio de observações gravitacionais, o centro de massa da terra. Assim, os elipsóides passaram a ser amarrados neste ponto e não mais em um ponto na superfície terrestre. Isso foi particularmente vantajoso para o uso do GPS, pois os satélites se comportam de acordo com o campo gravitacional terrestre e um sistema que adota referencial geocêntrico torna-se mais adequado.

Um exemplo de sistema geocêntrico é o WGS84, considerado o Esperanto dos sistemas de referência e o mais usado com GPS.

Qualquer sistema de referência possui parâmetros geométricos bem definidos. Por isso, é possível, conhecendo estes parâmetros e por meio de contas geométricas, converter os dados de um sistema para outro. O GPS faz isso. Quando se seleciona um datum ele automaticamente converte todos os dados para o datum selecionado. Assim, o uso do datum no GPS vai depender do gosto e da necessidade do usuário (Tabela 1 e Anexo I).

Já as cartas impressas não contam com recursos eletrônicos de conversão de dados. Por isso, quando utilizar o GPS em conjunto

com cartas impressas, o mais correto é colocar o GPS no mesmo datum da carta. Assim, eles possuirão as mesmas referências e os dados de um poderão ser usados no outro.

Tabela 1. Elementos dos principais elipsóides utilizados no Brasil.

Elipsóide	Semi-eixo maior	Semi-eixo menor	Achatamento
Hayford – Datum Córrego Alegre	6378388	6366991.95	297.000745015
Astro Chuá – Datum Chuá	6378388	6378160	297.000000000
SAD-69* Datum Chuá	6378160	6356774.719	298.250000000
WGS	6378137	6356752.31425	298.257223563

*O SAD-69/96 apresenta os mesmos elementos que o SAD-69.

Fonte: Rocha, 2000.

Referências Bibliográficas

IBGE. **Noções básicas de cartografia.** Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manualnocoes/representacao.html> > Acesso: 10 jul. 2007.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425 p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora, 2000. 220 p.