

Capítulo 2

Cartografia Digital

O uso efetivo de SIGs requer a integração de várias áreas do conhecimento. A Cartografia é uma dessas áreas, pois não se pode operar com posicionamento geográfico sem ter um embasamento mínimo no assunto. Para tanto, o objetivo deste capítulo é dar ao leitor as noções básicas que sirvam de fundamento para um entendimento do restante desta obra.

2.1 Conceitos

De acordo com [Jol97], *Cartografia* é entendida como o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, visando à elaboração e a preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão. Um outro termo ligado à Cartografia e que é comumente utilizado é a *geodésica*, definida por [ea95] como a ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo gravitacional da Terra. Essa definição coloca em relevância a questão físico-geométrica.

Forma da Terra

A superfície terrestre é denominada de *superfície topográfica*. Essa superfície é bastante diversificada, possuindo uma grande variedade de tipos de solos e regiões aquíferas. Porém, a superfície real da Terra, devido às suas irregularidades, é inadequada para ser empregada para o cálculo de distâncias, pois exigiria uma quantidade proibitiva de parâmetros e cálculos. Para diminuir essa complexidade, considera-se a superfície terrestre como uma figura geométrica conhecida, como uma esfera ou uma elipse.

A esfera pode ser uma boa representação em muitos casos, porém não é possível aplicá-la em todas as partes do globo terrestre ou quando for

necessário medir grandes distâncias, devido às grandes fôrças topográficas entre a forma terrestre e uma esfera.

Já a elipse é uma figura que geométrica que mais se aproxima com a sua verdadeira forma, pois a Terra é ligeiramente achatada nos pólos e se alarga mais no Equador. Devido a essa semelhança, utiliza-se comumente o elipsóide de revolução como figura para representação da Terra. O elipsóide de revolução se obtém ao se rodar uma elipse em torno de seu eixo menor, sendo representado univocamente pelo seu eixo-maior e pelo seu achatamento.

Pode-se também representar a superfície terrestre como uma superfície plana, quando a área de interesse for relativamente pequena ou quando a não correção da curvatura da Terra não for relevante. Um levantamento de uma cidade, por exemplo, provavelmente seria levado a cabo desprezando-se tal curvatura. Para áreas dessa dimensão, as posições relativas entre pontos podem ser determinadas com exatidão sem se considerar o tamanho e a forma do planeta.

Esta é a superfície que, em geral, representa-se sobre um sistema plano de coordenadas. Para realizar essa transformação é necessário, primeiramente, projetar a superfície topográfica, ortogonalmente, sobre uma superfície de nível. A projeção da superfície topográfica deve ser feita sobre uma superfície particular, normalmente, a superfície de altitude igual a zero, à qual se dá o nome de *geóide*. Ele não pode ser usado como uma superfície de referência para o posicionamento de pontos da superfície topográfica, embora possa ser usado como uma superfície de referência para as altitudes.

Conforme comentado anteriormente, devido à semelhança na forma, o *elipsóide* é a superfície adotada como referência para os cálculos de posição, distâncias, direções e outros elementos geométricos da cartografia. Elipsóides se ajustam ao geóide com uma aproximação de primeira ordem. A Figura 2.1 ilustra as diferenças e semelhanças entre geóide, esferóide e elipsóide.

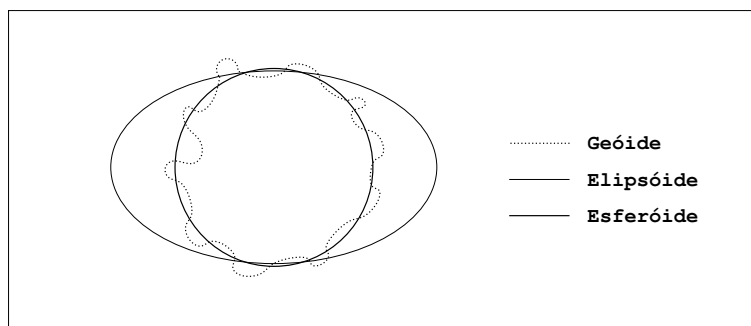


Figura 2.1: Representação de geóide, elipsóide e esferóide.

Como é possível observar, devido à distribuição irregular da massa da Terra, a superfície do geóide é irregular e, como o elipsóide é regular, essas superfícies não são coincidentes. Essas diferenças são geralmente chamadas de ondulações geoidais, alturas geoidais ou separações geoidais.

Datum

Datum é um ponto onde a superfície de referência toca a Terra, sendo caracterizado a partir de uma superfície de referência (datum horizontal ou planimétrico) e de uma superfície de nível (datum vertical ou altimétrico).

O *datum* planimétrico atualmente adotado pelo Brasil é o *South American Datum* de 1969, mais conhecido como SAD-69. Este é o *datum* comumente utilizado pelos outros países sul-americanos. Porém, um problema ainda enfrentado pelos usuários de SIGs no Brasil é a necessidade de combinação de dados que utilizam o antigo datum brasileiro, o datum de Córrego Alegre, com o datum atual.

É possível a combinação de dados com diferentes datums. Porém, deve-se observar que a diferença entre o datum de Córrego Alegre e SAD-69, por exemplo, chega a algumas dezenas de metros sobre a superfície do território brasileiro [Câmara-2005]. Para projetos de pequena escala, essa diferença não é relevante, porém, para escalas maiores, essa variação pode chegar a níveis não aceitáveis. Com o surgimento e a popularização do *Global Position System* (GPS), o *datum* WGS-84 foi adotado como universal.

Quanto ao datum vertical, até o ano de 1946, não existia no Brasil uma superfície de referência a partir da qual fossem calculadas as altitudes no País. Somente neste ano, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) deu início à sua Rede de Nivelamento de Precisão, adotando o nível médio do mar, em Torres, no Rio Grande do Sul. No ano de 1958, o marégrafo de Torres foi substituído pelo de Imbituba, em Santa Catarina, e que permanece até hoje.

2.2 Escalas

A noção de *escala* está relacionada à maneira de representar o mundo. Ela pode ser definida como o mecanismo de transformar distâncias reais na superfície da Terra em distâncias compatíveis com os tamanhos de um determinado mapa.

A escala numérica normalmente é expressa por uma fração cujo numerador é a medida no mapa e o denominador a medida correspondente no terreno, com o auxílio da mesma unidade. Por exemplo, num mapa de 1:50.000, 1

mm no mapa representa 50.000 mm no mundo real, ou seja, 50 m no terreno. Diz-se que o mapa é de 1 para 50 mil. Disto resulta que a escala é tanto menor quanto maior o denominador, o que faz com que muitas pessoas se confundam entre o que é uma escala pequena e uma escala grande. Por exemplo, uma escala 1:5.000 é maior que uma escala 1:10.000, pois basta observar o denominador.

As escalas podem ser classificadas, quanto à ordem de grandeza, em grandes e pequenas. As primeiras são aquelas em que grandes distâncias no terreno correspondem a grandes distâncias no mapa. 1:100.000 (cartas topográficas), 1:25.000 (levantamento de detalhe) e 1:5.000 (planos cadastrais ou plantas de cidades) são exemplos de escalas grandes. Já 1:250.000, 1:500.000 (cartas corográficas) e 1:5.000.000 (cartas gerais), são exemplos de escalas pequenas.

Pode-se classificar as escalas menores que 1:100.000 como mapas, aquelas situadas entre 1:100.000 e 1:10.000 como cartas e aquelas maiores de que 1:10.000 como plantas. A Figura 2.3, retirada de [Sil99], apresenta um resumo sobre as relações existentes entre o material utilizado, o produto obtido, a escala conveniente e a área de abrangência.

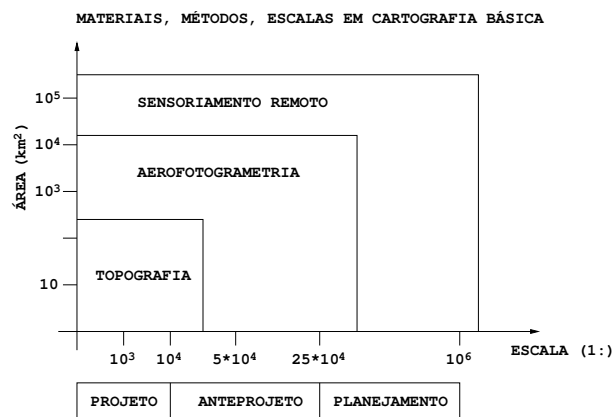


Figura 2.2: Materiais, métodos e escalas em cartografia básica.

À medida que os mapas analógicos são convertidos em mapas digitais, deve-se definir a noção da resolução espacial ou do tamanho do *pixel* de acordo com a escala em uso. Como a informação gráfica contida em um mapa é impressa com larguras mínima e máxima de 0,15 mm e 0,8 mm, respectivamente, sugere-se que a resolução espacial relacionada com a escala, ou seja, o tamanho do *pixel* na transformação de dados vetoriais para raster seja definida de acordo com as larguras mínima e máxima.

2.3 Generalização

O usuário, ao manipular os mapas num SIG, precisa, muitas vezes, visualizar as feições em diversas escalas. Daí, surge a necessidade de se adaptar os elementos de um mapa numa escala diversa, processo este conhecido como *generalização*. Esta mudança de escala visual não ocorre sem uma certa deformação ou deslocamento dos objetos. Para a realização dessa operação, faz-se necessário observar:

a) Quais são os detalhes necessários de se continuar representando? Pois alguns elementos do mapas são mais relevantes, inclusive utilizados como referências, sendo necessária a sua manutenção.

b) O quanto é necessário se manter fiel ao símbolo e a escala? Como se observa, em Cartografia, a generalização de mapas não corresponde a simples redução de uma imagem, pois os símbolos empregados são interpretados pelo analista com um chamado senso geográfico. É por isso que a generalização tem a sua importância, dificultando a automatização desse processo.

2.4 Sistemas de Coordenadas

O manuseio dos dados de mapa num SIG, faz com que o usuário consiga obter as coordenadas geográficas ao passar o mouse em qualquer ponto da tela, conforme o sistema de coordenadas estabelecido. Para a representação dos pontos sobre a superfície terrestre, é necessário selecionar um sistema de coordenadas. Em cartografia, os principais sistemas utilizados são: coordenadas geográficas, coordenadas cartesianas e coordenadas plano-retangulares.

2.4.1 Coordenadas geográficas

O sistema de coordenadas geográficas é considerado como o sistema mais antigo. O posicionamento de um ponto sobre o elipsóide de referência é realizado através do cruzamento de linhas de referência imaginárias sobre ele. As linhas de referência permitem determinar a posição de um ponto sobre a superfície esférica e, em alguns casos, estabelecer a base para as linhas de referência do sistema de coordenadas do plano.

As linhas desenhadas no sentido norte/sul são denominadas *meridianos* e as linhas desenhadas no sentido leste/oeste são denominadas *paralelos*. Essas linhas estabelecem um sistema de coordenadas denominado *sistema de coordenadas geográfico*, cuja origem é um ponto situado sobre o meridiano que passa por Greenwich, na Inglaterra, e o Equador. As coordenadas definidas

por esse sistema são denominadas *latitudes* e *longitudes*, conforme ilustra a Figura 2.3.

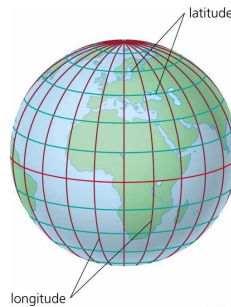


Figura 2.3: Latitude e longitude.

2.4.2 Coordenadas cartesianas

Um outro método empregado para representar as coordenadas terrestres é através do *sistema de coordenadas cartesianas*. Este sistema consiste de linhas perpendiculares em um plano que contém dois eixos principais, chamados de X (eixo horizontal) e Y (eixo vertical). O plano cartesiano é marcado por intervalos igualmente distribuídos nas linhas. A posição de qualquer ponto pode ser especificada através dos valores (X,Y). Desta maneira, qualquer ponto pode ser localizado de forma única, sem a ocorrência de localização ambígua. De acordo com [Den99], este sistema é bastante utilizado no processo de digitalização de mapas.

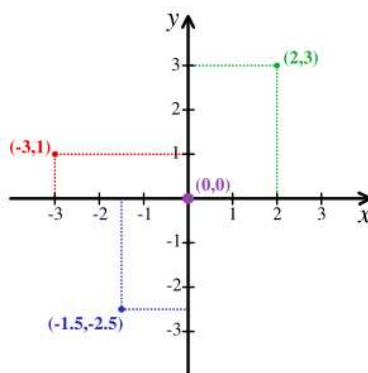


Figura 2.4: Sistema de coordenadas cartesianas.

2.4.3 Coordenadas plano-retangulares

O método de coordenadas *plano-retangulares* estabelece uma relação matemática que permite deformar a superfície elipsóidica de referência para torná-la plana. Em seguida, estabelece um sistema de coordenadas plano e escolhe a escala para fazer com que a porção da superfície medida caiba no papel. Neste sistema, o marco inicial é definido com uma origem (0,0), convencionalmente localizado ao sul e a oeste da origem da projeção. Isto se justifica pelo fato de eliminar os valores negativos das coordenadas retangulares.

A representação dos dados geográficos pode ser feita tomando-se por base um sistema de coordenadas plano, no qual se definem os pontos discretos que possuam uma perfeita ligação com os seus homólogos na superfície da Terra, de modo que todos os cálculos efetuados sobre o sistema de coordenadas no plano possam manter a correspondência mais próxima quando transportados para a superfície original, no caso, o planeta Terra.

[colocar uma figura deste sistema]

2.5 Projeções Cartográficas

Silva [Sil99] define as projeções cartográficas como a correspondência matemática entre as coordenadas plano-retangulares do mapa e as coordenadas esféricas da Terra. A representação da superfície curva terrestre sobre o plano é a alternativa mais utilizada em projeções cartográficas, pois possibilita a representação da topografia, geologia, pedologia, vegetação, entre outras, de uma determinada região. Além da representação gráfica, os mapas podem ser facilmente manipulados e atendem a diferentes finalidades. Só para se ter idéia, existem mais de 250 maneiras diferentes de tornar plano o esferóide e, entretanto, nenhuma delas retrata precisamente esta planificação.

Todas as projeções tratam as características da coordenada esferoidal como linhas de latitudes paralelas ou meridianos convergentes em diferentes modos e nenhuma consegue encontrar uma transformação perfeita.

A superfície sobre a qual se faz a projeção pode ser um plano ou uma superfície que se desenvolve desenrolada no plano. A posição dessa superfície com relação à esfera é escolhida de tal maneira que as deformações sejam mínimas para a região considerada. Quando a superfície de projeção está centrada no pólo ou é paralela ao plano equatorial, diz-se que a projeção é *polar*, *equatorial* ou *direta*. Se ela estiver centrada num ponto do Equador ou é paralela a plano meridiano, ela é *transversa* ou *meridiana*. Se estiver centrada num ponto ou círculo qualquer da esfera, ela é *oblíqua*. A Figura

2.4 exemplifica os tipos de posição mencionados.

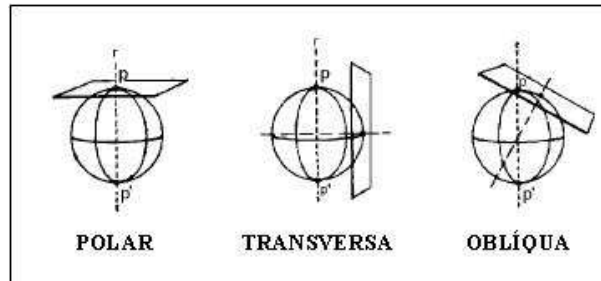


Figura 2.5: Posicionamentos da projeção em relação à Terra.

As projeções podem ser classificadas de acordo com o tipo de superfície adotada e o grau de deformação. Em relação ao tipo de superfície de projeção adotada, podem-se classificar em: *planas* ou *azimutais*, *cônicas*, *cilíndricas* ou *poliédricas*, de acordo com a representação da curva da superfície da Terra sobre um plano, cone, cilindro ou poliedro tangente ou secante à esfera terrestre. A Figura 2.5 apresenta exemplos de projeções.

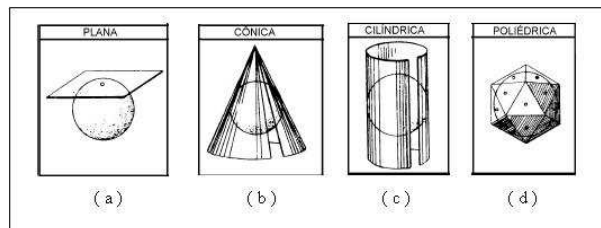


Figura 2.6: Classificação de projeções.

Quanto ao grau de deformação, as superfícies podem ser classificadas em *conformes* ou *isogonais*, *equivalentes* ou *isométricas* e *equidistantes*. As primeiras têm como principal característica a fidelidade aos ângulos observados na superfície representada. Porém, ao se manter a precisão dos ângulos, distorce-se a forma dos objetos no mapa. As equivalentes conservam as relações de superfície, não existindo deformação de área. Já as equidistantes conservam a proporção entre as distâncias, em determinadas direções, na superfície representada. A escolha da projeção dependerá do que é mais relevante de se apresentar com mais fidelidade, ou seja, os ângulos, as áreas ou distâncias.

[Colocar uma figura representando essas projeções]

2.6 Universal Transverse Mercator - UTM

Um tipo importante de projeção é a *Universal Transverse Mercator* (UTM) classificada como uma projeção cilíndrica conforme, ou seja, mantém a forma em detrimento das dimensões. Ela pode ser visualizada como um cilindro secante à superfície de referência, orientado de forma que o eixo do cilindro esteja no plano do Equador. O cilindro secante possui um diâmetro menor do que o diâmetro da superfície de referência, criando, assim, duas linhas de intersecção entre o cilindro e a superfície de referência. Essa área é denominada *fuso* ou *zona* e a Terra foi dividida em 60 fusos de 6° cada. Cada fuso é representado pelo seu número e pela longitude do seu meridiano central.

De acordo com [LRB01], o Brasil é coberto por 8 fusos (18 ao 25) abrangendo as coordenadas de longitude de 30° a 78° graus. Dentre as vantagens do uso deste tipo de projeção pode-se citar a fácil identificação dos pontos cardeais e a facilidade de identificação das coordenadas geográficas (latitude e longitude) de qualquer ponto representado, além de manter a fidelidade aos ângulos locais observados na superfície representada.

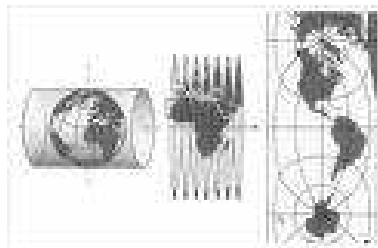


Figura 2.7: Universal Transverse Mercator.

2.7 Erro em cartografia

Para finalizar, conforme foi possível perceber pelo conteúdo deste capítulo, todas as medições feitas da Terra e representadas pelo homem sofrem uma certa influência dos instrumentos e métodos empregados e que acabam por causar um erro na representação. Porém, se for possível conhecer o nível de imprecisão gerado por este erro, isto não causará maiores problemas na manipulação destes dados.

O erro mais comum de acontecer é quanto à localização, conforme o sistema de referência adotado. Um outro erro comum para o usuário de SIG é quanto a atribuição de valores ou classes dos objetos que compõem a base

de dados. Esse último pode ser tanto numérico, como a altura de uma montanha, como pode ser um erro da classe do objeto, como a representação de um trecho de floresta como se fosse um segmento de rio.

2.8 Questões de Revisão

- Qual é a importância da Cartografia no uso de sistemas de informação geográficas?
- O que você entende por geóide?
- Qual é o datum horizontal adotado pelo Brasil?
- Qual é a finalidade das escalas nos SIGs?
- O que você entende por generalização?
- O que são meridianos?
- Qual é a principal vantagem de usar a projeção UTM?