

NOÇÕES BÁSICAS DE CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

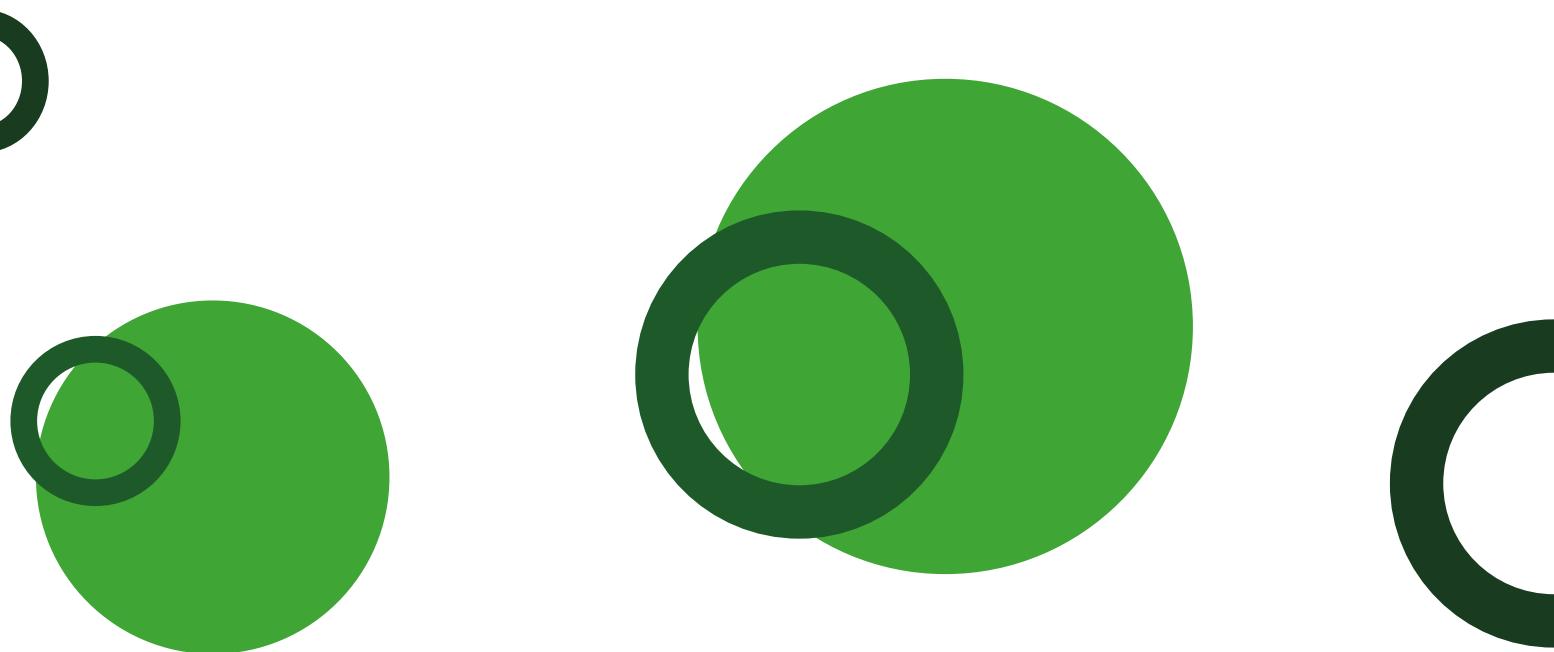
HISTÓRIA DA CARTOGRAFIA

APRESENTAÇÃO

OS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir desta unidade você será capaz de:

- conhecer os primeiros mapas e sua importância histórica;
- diferenciar os tipos de representação cartográfica (globo, mapa, carta e planta);
- compreender a escala na cartografia;
- entender os sistemas geodésicos de referência e suas coordenadas;
- conhecer os principais sistemas de projeção cartográfica e suas aplicações;
- conhecer os principais tipos de distorções, precisão e confiabilidade cartográfica.



Organização

Kátia Spinelli
Manoel Ricardo
Dourado Correia

Reitor da UNIASSELVI

Prof. Hermínio Kloch

Pró-Reitora do EAD

Prof.ª Francieli Stano
Torres

Edição Gráfica e Revisão

UNIASSELVI

.01

OS PRIMEIROS MAPAS E SUA IMPORTÂNCIA HISTÓRICA



1 INTRODUÇÃO

História dos mapas e da Cartografia é um tema inesgotável, bastante amplo e complexo e confunde-se com a própria trajetória da humanidade, inclusive anterior à escrita.

Na história da Cartografia e da humanidade, verifica-se que os mapas antigos eram vistos como veículos de orientação no espaço geográfico. As principais características deles era a estocagem dos dados geográficos que serviam para análise dos lugares e de como chegar até eles. Com a evolução humana e também da Cartografia, os mapas passaram a ser considerados também como uma forma de comunicação de dados e, mais recentemente, como um instrumento de visualização científica (NOGUEIRA, 2009).

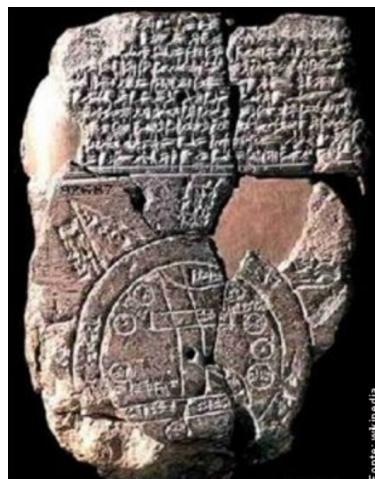
2 HISTÓRIA DA CARTOGRAFIA

O vocábulo CARTOGRAFIA, etimologicamente – descrição de cartas, foi introduzido em 1839 por Manoel Francisco de Barros e Souza de Mesquita de Macedo Leitão. Independentemente do significado etimológico, a sua concepção inicial continha a ideia do traçado de mapas. No primeiro estágio da evolução, o vocábulo passou a significar a arte do traçado de mapas, para em seguida conter a ciência, a técnica e a arte de representar a superfície terrestre (IBGE, 1999).

Tais documentos eram muito rudimentares, elaborados de acordo com as técnicas e materiais disponíveis, que avançaram rapidamente ao progresso atual, conhecido pelas técnicas do geoprocessamento ou geotecnologias.

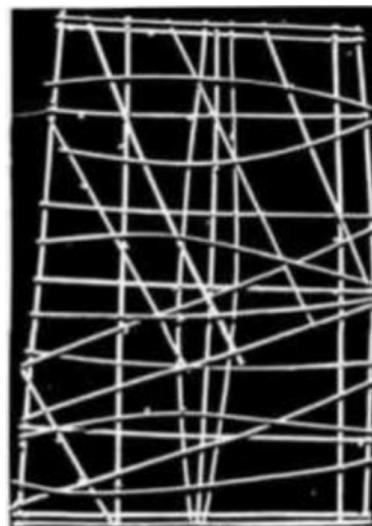
Diversos povos ocidentais e orientais, com os seus aspectos culturais próprios de sua sociedade, nos legaram os mais variados mapas. O mapa de Ga-Sur (Figura 1), possivelmente, é um dos mapas mais antigos e foi confeccionado pelos babilônios, talvez entre 2500 a 4500 a.C. Trata-se de uma pequena placa de argila cozida, com 7cm, encontrada na Mesopotâmia, possivelmente representando esta região, com o rio Eufrates e duas cadeias de montanhas circunvizinhas. Outro exemplo de mapa rudimentar, feito com tiras de palha e conchas, é atribuído aos indígenas das Ilhas Marshall, a nordeste da Austrália (Figura 2).

FIGURA 1 - UM DOS MAPAS MAIS ANTIGOS, O MAPA DE GA-SUR, FOI CONFECCIONADO PELOS BABILÔNIOS



FONTE: Disponível em: <<http://twixar.me/cJrT>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

FIGURA 2 - MAPA RUDIMENTAR ATRIBUÍDO AOS INDÍGENAS DAS ILHAS MARSHALL

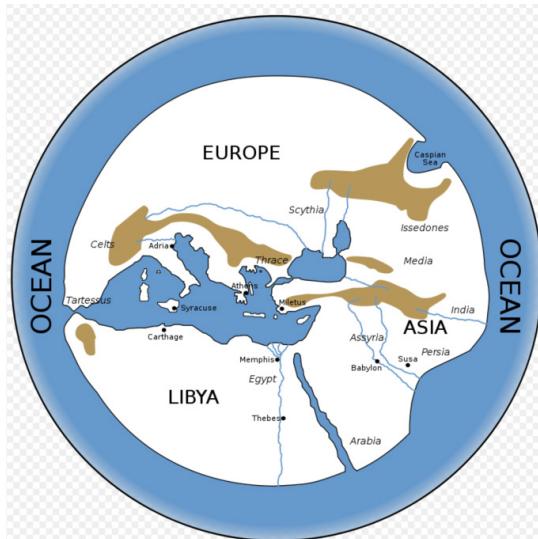


FONTE: Disponível em: <<http://twixar.me/cJrT>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

Os gregos tiveram também notória influência no desenvolvimento da cartografia ocidental. Anaximandro de Mileto, Cláudio Ptolomeu, Heródoto, Erastóstenes de Cirene, Hecateu de Mileto, por exemplo, foram os nomes mais influentes. Eles calcularam a circunferência da Terra, versaram acerca

das projeções, fizeram um sistema geométrico-numérico para descrever os movimentos do céu, definiram o que conhecemos como rede geográfica – conjunto de linhas imaginárias formadas por paralelos e meridianos, utilizada para localizar qualquer ponto na superfície terrestre, bem como confeccionaram mapas daquela região (Figura 3). Os gregos representaram ainda um dos marcos da cartografia antiga, pois suas ideias influenciaram o mundo ocidental por muitos séculos.

FIGURA 3 - MAPA DO MUNDO NA CONCEPÇÃO DE HECATEU DE MILETO



FONTE: Disponível em: <<http://twixar.me/3yrT>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

No norte da Itália também foram descobertos mapas rupestres, representando componentes da paisagem agropastoril italiana, inclusive com certo grau de detalhe.

Possivelmente, alguns mapas foram perdidos no curso da civilização. A Índia, por exemplo, teve poucos documentos cartográficos preservados, especialmente após a ocupação europeia.

Os mapas antigos chineses demonstravam a preocupação dos governantes em registrar as riquezas naturais, inclusive a sua cartografia é pretérita à europeia. Um dos nomes respeitados no período foi o de Pei Hasiu (224 a 273 d.C.) e do almirante Zheng He (1371 a 1433 d.C.).

Após o período de decadência na Baixa Idade Média e baseando-se nos trabalhos de Ptolomeu, os cartógrafos do século XVI refinaram bastante os mapas da época e a cartografia ressurge a partir do belga Gerhard Mercator, com a invenção de uma projeção com meridianos retos e equidistantes e paralelos também retos, porém cada vez mais espaçados entre si na direção dos polos. A projeção de Mercator teve fundamental importância, já que permitiu introduzir outro tipo de projeção muito utilizada em cartografia, a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), de propriedade cilíndrica, transversa

e secante. Quanto às projeções, abordaremos *a posteriori* as definições, os tipos e as principais aplicações dos sistemas de projeções cartográficas.

Nos séculos anteriores, o aperfeiçoamento da astronomia, da agrimensura e da geometria ofereceu conhecimentos e técnicas para a formação de uma verdadeira ciência cartográfica, alicerçada em cálculos complexos e rigorosos, tornando-a mais acurada e precisa.

3 ESCALA E TIPOS DE REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA (GLOBO, MAPA, CARTA E PLANTA)

Neste momento, aludiremos aos tipos de representação cartográfica – globo, mapa, carta e planta – e sua relação com a escala. Neste sentido, Nogueira (2009) afirma que a confusão no Brasil entre as palavras mapa, carta e planta tem origem no uso popular de documentos cartográficos, ou seja, as pessoas que usavam mapas foram cristalizando ideias que acabaram por criar a presente situação.

Nogueira (2009) também afirma que na linguagem coloquial e em diversas outras áreas da ciência não ligadas diretamente à cartografia, tais como Medicina, Economia e Administração, também são utilizados os termos “mapeamento” e “mapa”. Contudo, tanto o ato de mapear quanto o produto – mapa – são diferentes daqueles que se conhecem da cartografia. Geralmente, significam uma forma de levantamento de dados e de apresentá-los, ou ainda, um instrumento facilitador para a compreensão da estrutura de um fenômeno qualquer, que pode ou não ser geográfico.

O vocábulo mapeamento tem assumido um significado mais amplo, por vezes, meios de comunicação noticiam “[estão procedendo ao mapeamento da droga num determinado local [...]” ou, “[o mapeamento do DNA humano [...]”. No entanto, na verdade, o resultado de um levantamento ou pesquisa é algo muito diferente dos mapas gerados na cartografia, uma vez que esses representam elementos selecionados do espaço geográfico, de forma reduzida, com simbologias, projeções e parâmetros técnicos específicos (*datum*, elipsoide de revolução, sistema de coordenadas etc.).

A palavra carta vem do latim *charta*, que significa papel, já a palavra mapa vem de *mappa* e significa pano. Observa-se, então, nos primórdios, que a diferença estava no tipo do material com o qual eram produzidos.

Nos dias de hoje, estes termos estão ligados à escala de representação e fidedignidade, gerando os seguintes conceitos, conforme IBGE (1999):

O mapa é a representação no plano, normalmente em escala pequena (Figura 4), dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos.

Nota-se, atualmente, que a principal diferença entre o mapa e o globo está na superfície de representação, enquanto o mapa utiliza o plano, o globo emprega uma superfície esférica.

O globo é a representação cartográfica sobre uma superfície esférica, em escala pequena, dos aspectos naturais e artificiais de uma figura planetária, com finalidade cultural e ilustrativa.

A representação da superfície da Terra por meio de globos apresenta-se isenta de deformações inerentes às projeções cartográficas planas, no entanto, o seu uso é condicionado por outros tipos de limitações, tais como:

- a) O seu volume.
- b) A impossibilidade prática de utilizar escalas grandes.
- c) A dificuldade em realizar medições sobre a superfície.
- d) O fato de a metade do planeta ser visível de uma só vez.

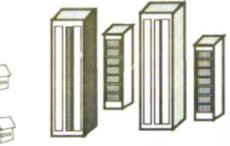
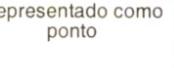
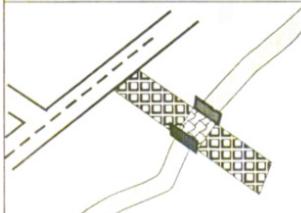
Essas limitações supracitadas levam a que a utilização dos globos terrestres esteja, em geral, limitada aos propósitos pedagógicos ou decorativos.

A carta é a representação no plano, em escala média ou grande, dos aspectos artificiais e naturais de uma área tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais – paralelos e meridianos – com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de precisão compatível com a escala.

A planta é um caso particular de carta. A representação se restringe a uma área muito limitada e a escala é grande, consequentemente, o número de detalhes é bem maior.

Geralmente, as plantas possuem escala grande (1:2.000) e representam uma área restrita (pequena), como um quarteirão ou um bairro, um terreno ou um condomínio (Figura 4). Ainda que a escala das plantas tenda a representar as informações do mundo real com uma maior riqueza de detalhes, ela restringe as dimensões da área representada.

FIGURA 4 – COMPARAÇÃO DOS FENÔMENOS DO MUNDO REAL E A CONCEPÇÃO CARTOGRÁFICA NA VISÃO LOCAL E NA VISÃO REGIONAL OU MAIS DISTANCIADA

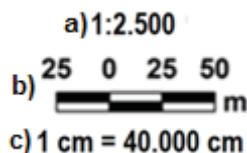
Mundo Real	Escala Grande	Escala Pequena
	Representado como Área 	Representado como ponto 
	Representado como Área 	Representado como linha 

FONTE: Nogueira (2009)

A finalidade básica de um mapa, carta ou planta é transmitir informações específicas a respeito da área cartografada para o usuário.

Entre os diversos componentes de um mapa, nota-se que a escala é um dos elementos fundamentais para o seu bom entendimento e uso eficaz. Pode-se defini-la como a relação ou proporção existente entre as distâncias lineares representadas em um mapa e aquelas existentes no terreno ou na superfície real. Elas também são apresentadas nas formas numérica, gráfica ou nominal (Figura 5).

FIGURA 5 – EXEMPLOS DE ESCALA NUMÉRICA (A), GRÁFICA (B) E NOMINAL (C)



FONTE: O autor

A escala numérica representa a relação entre os comprimentos de uma linha na carta e o correspondente comprimento no terreno, em forma de fração, na qual o numerador é sempre a unidade. Essa forma de representação é a maneira mais utilizada em mapas impressos. Por exemplo, 1:100.000 ou 1/100.000. Em ambos os casos, a leitura é feita da seguinte forma: a escala é de um para cem mil, portanto, cada unidade medida no mapa corresponde a cem mil unidades na realidade, ou seja, mil metros. Com a unidade para numerador.

$$E = \frac{1}{N} \quad \text{onde} \quad N = \frac{D}{d}$$

$$\text{Logo, } E = \frac{1}{\frac{D}{d}} \Rightarrow E = \frac{d}{D}$$

Sendo:

E = escala

N = denominador da escala

d = distância medida na carta

D = distância real (no terreno)

No geral, as escalas numéricas têm para numerador a unidade e para denominador, um múltiplo de 10.

A escala nominal ou equivalente é apresentada nominalmente, por extenso, por uma igualdade entre o valor representado no mapa e sua correspondência no terreno. Exemplos: 1 cm = 20 km ou 1 cm = 50 km. Aqui um centímetro corresponde a 20 quilômetros, e um centímetro corresponde a 50 metros, respectivamente.

Quando se fala de escala numérica, relaciona-se a medidas lineares e indica quantas vezes foi ampliada ou reduzida uma distância. Enquanto se refere à superfície, usa-se a escala de área, que indica quantas vezes foi ampliada ou reduzida uma área.

Enquanto a distância em uma redução linear é indicada pelo denominador da fração, a área ficará reduzida por um número de vezes igual ao quadrado do denominador dessa fração.

A escala gráfica é a representação gráfica de várias distâncias do terreno sobre uma linha ou barra graduada com subdivisões denominadas de talões.

A posição dos segmentos à direita ou à esquerda à referência zero, intitula-a, respectivamente, de escala primária e de escala de fracionamento ou talão. O último segmento é dividido em submúltiplos da unidade escolhida, graduados da direita para a esquerda.

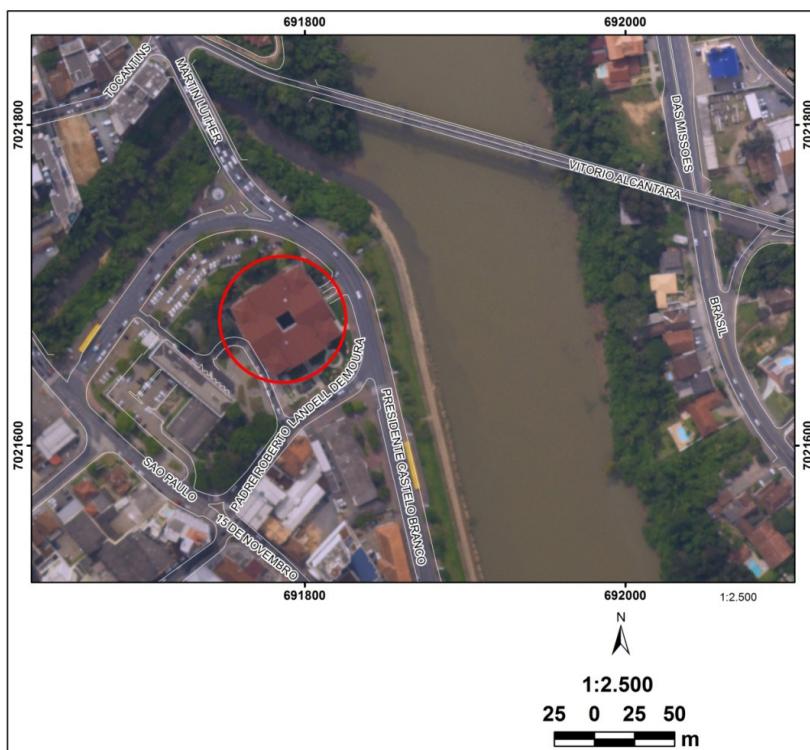
A escala gráfica nos permite realizar as transformações de dimensões gráficas em dimensões reais sem efetuarmos cálculos. Para sua construção, entretanto, torna-se necessário o emprego da escala numérica.

O seu emprego consiste nas seguintes operações:

- 1º) Recorre-se na carta a distância que se pretende medir (pode-se usar uma régua ou compasso).
- 2º) Transporta-se essa distância para a escala gráfica.
- 3º) Por fim, leia-se o resultado obtido.

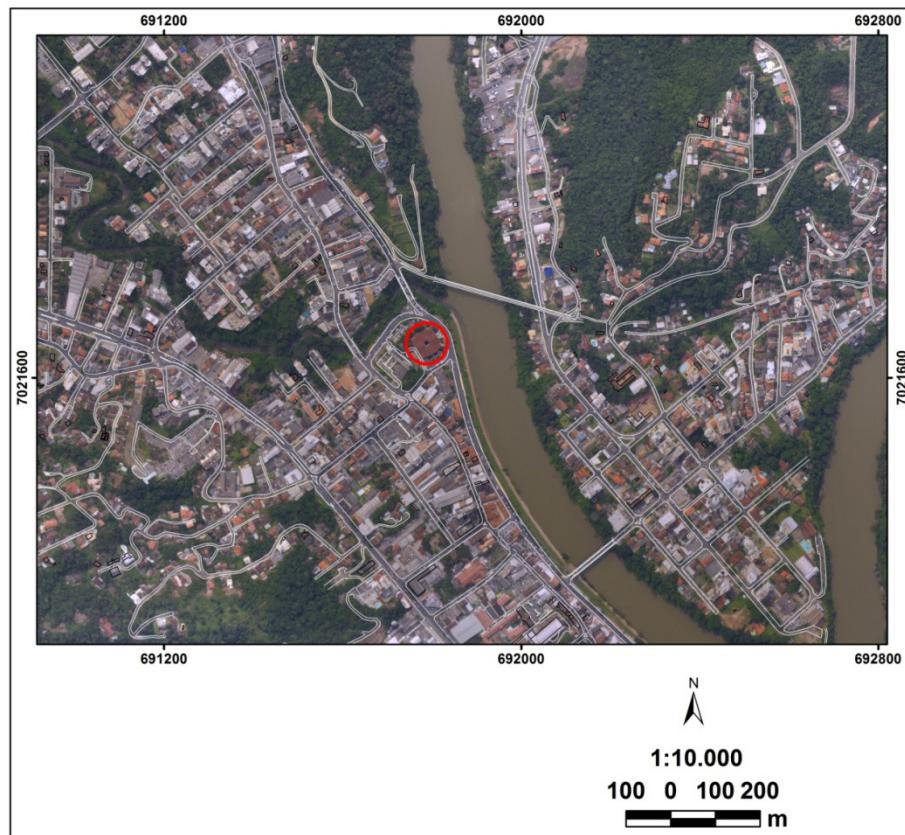
Nos trabalhos com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o uso da escala gráfica é preferível em razão da sua funcionalidade para impressão. Nesse sentido, tem-se que, na medida em que a escala acompanha possíveis distorções de ajustes de plotagem, as preocupações quanto à impressão tornam-se reduzidas (FITZ, 2008). Observa-se, por exemplo, as reduções de escala e perda gradual de detalhe entre os mapas das figuras 6, 7 e 8.

FIGURA 6 – NESTA ESCALA É POSSÍVEL NOTAR VEÍCULOS E EDIFICAÇÕES



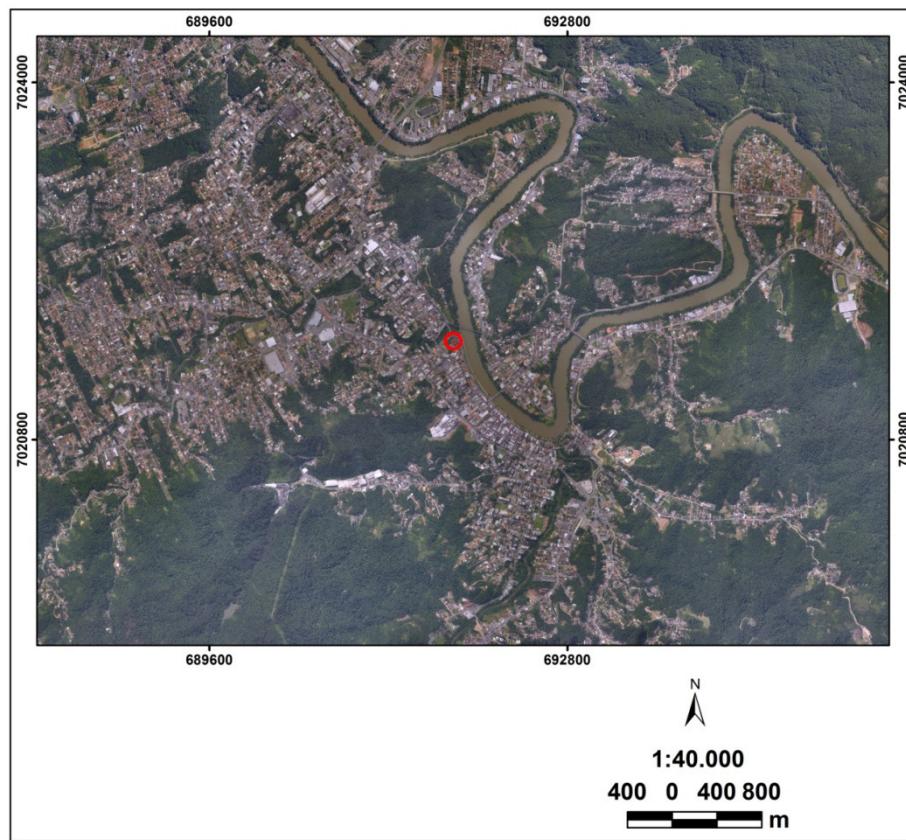
FONTE: O autor

FIGURA 7 – NÃO É POSSÍVEL VISUALIZAR VEÍCULOS COM A REDUÇÃO DE 4 VEZES NA ESCALA, QUANDO COMPARADO COM O MAPA ANTERIOR



FONTE: O autor

FIGURA 8 – NESTA ESCALA, 16 VEZES MENOR QUANDO COMPARADO COM OS DOIS MAPAS ANTERIORES, JÁ SE TORNAR DIFÍCIL SEPARAR EDIFICAÇÕES



FONTE: O autor

3.1 SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA E SUAS COORDENADAS

Uma das condições essenciais para quem trabalha com geoprocessamento diz respeito ao uso de sistemas de referência. Quando se deseja estabelecer uma relação entre um ponto determinado do terreno e um elipsoide de referência, é preciso referir-se a um sistema específico que faça esse relacionamento (FITZ, 2008).

As aferições das formas e dimensões da Terra realizadas ao longo dos séculos – atualmente de compreensão um tanto óbvia – foram motivos de debates exaustivos e até de violentas execuções num passado não tão remoto. Recentes medições realizadas levaram, portanto, à ideia de que a forma da Terra não seria plana, muito menos esférica, uma vez que ocorre um pequeno “achatamento” nos seus polos. Por conseguinte, sua forma estaria próxima à de um elipsoide, figura matemática cuja superfície é gerada pela rotação de uma elipse em torno do seu semieixo menor, utilizado como superfície de referência geodésica.

Vários elipsoides de revolução têm sido utilizados a partir do início do século XIX (Quadro 1), desde o elipsoide de Everest (1830) até o tradicional World Geodetic System (WGS84). A maior parte da cartografia mundial ainda se assenta no elipsoide internacional de Hayford. A disseminação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) trouxe, por outro lado, uma importância acrescida ao WGS84.

QUADRO 1 – ELIPSOIDES DE REFERÊNCIA UTILIZADOS AO LONGO DOS ANOS

Elipsoide de referência	a: eixo maior (m)	b: eixo menor (m)
Everest (1830)	6.377.276	6.356.075
Puissant (1830)	6.378.858	6.356.809
Clarke (1880)	6.378.249	6.356.515
Hayford (1909)	6.378.388	6.356.912
SAD-69 (1967)	6.378.160	6.356.774
WGS72 (1972)	6.378.135	6.356.751
GRS80 (1980)	6.378.137	6.356.752
WGS84 (1984)	6.378.137	6.356.752
SIRGAS (2000)	6.378.137	6.356.752

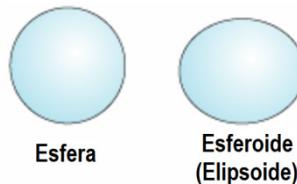
FONTE: O autor

Cada país adota um sistema de referência próprio, conforme exposto anteriormente. O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), por exemplo, é composto por redes de altimetria, gravimetria e planimetria.

No SGB, o referencial de altimetria vincula-se ao geoide, superfície equipotencial do campo gravimétrico da Terra, aproximadamente com o nível médio do mar, supostamente prolongado sob os continentes.

Se a Terra fosse um corpo homogêneo e geometricamente regular, o geoide teria a forma de um elipsoide de revolução (Figura 9). Na realidade, e devido, sobretudo, à irregularidade da distribuição da massa da litosfera, existem diferenças significativas entre o geoide e o modelo elipsoidal da Terra (WGS-84), que atingem valores máximos, em altitude, da ordem dos 100m. Embora muito menos irregular do que a superfície da Terra, a geometria do geoide é demasiado complexa para que este possa ser utilizado como modelo geodésico da Terra, razão pela qual se utiliza o elipsoide de revolução (GASPAR, 2008).

FIGURA 9 – REPRESENTA-SE A TERRA COMO UM ELIPSOIDE, MAS NÃO COMO UMA ESFERA, DEVIDO À IRREGULARIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DA SUA MASSA



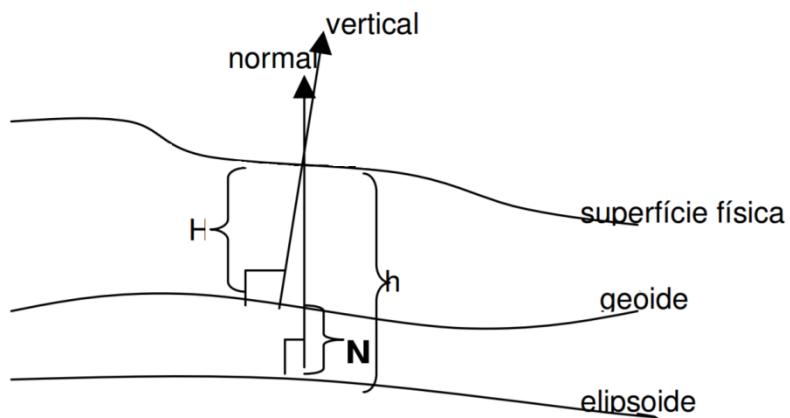
FONTE: Elaborada pelo autor.

No Brasil, a superfície equipotencial coincide com a marca “zero” do marégrafo instalado no litoral catarinense, mais precisamente no Porto Henrique Lajes, localizado na cidade de Imbituba-SC. Esta marca ou referência é denominada de *datum*, o qual determina o conjunto de parâmetros que constituem a referência de um sistema de coordenadas geodésicas ou altimétricas.

A altitude ortométrica é a distância vertical entre a superfície física e o geoide, também dependente do campo gravimétrico terrestre. Por razões práticas, é a modalidade de altitude utilizada em cartografia, dado ao fato de o geoide coincidir aproximadamente com o nível médio do mar.

No caso da altitude geodésica elipsoidal ou, simplesmente, altitude elipsoidal, constitui-se da distância entre um ponto da superfície física e a superfície elipsoidal, medida sobre a normal a esta. Quando a superfície de referência é o elipsoide de revolução, utiliza-se a designação de altitude geodésica elipsoidal ou, simplesmente, de altitude elipsoidal, conforme pode ser visto na Figura 10, as altitudes ortométricas e as geométricas estão relacionadas por:

FIGURA 10 – SUPERFÍCIES UTILIZADAS NA CARTOGRAFIA



FONTE: O autor.

Onde:

H - altitude ortométrica;

h - altitude geométrica; e

N - ondulação do geoide.

As altitudes indicadas pelos receptores dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite – GNSS (na sigla em inglês) são do tipo elipsoidal. Estas altitudes proporcionadas pelo GPS (geométrica) têm apenas um significado matemático e, geralmente, na cartografia e em obras de engenharia se utilizam das altitudes ortométricas, por possuírem um significado físico.

Assim, a altitude determinada pelo receptor GNSS, comumente denominada de GPS, não está relacionada ao nível médio do mar ou, de forma mais metódica, ao geoide, mas a um elipsóide de referência com dimensões específicas, conforme exposto anteriormente. Portanto, para um usuário determinar sua altitude com relação ao nível médio do mar (denominada ortométrica), torna-se necessário ter o valor da ondulação geoidal (N), ou seja, a distância entre o geoide e o elipsóide de referência (Figura 10). No caso dos *datum* globais, como o WGS84, o seu valor máximo é da ordem de uma centena de metros.

Para converter a altitude elipsoidal (h) obtida pelos receptores GNSS/GPS em altitude ortométrica (H), faz-se necessário utilizar o valor da altura geoidal ou ondulação do geoide (N) fornecida por um modelo de ondulação geoidal, utilizando a seguinte expressão:

$$H = h - N$$

Existe um grande interesse por um modelo de ondulação geoidal brasileiro cada vez mais preciso para aplicações nas áreas de mapeamento e engenharia. É com este objetivo que o MAPGEO2015 foi concebido e produzido pelo IBGE com a colaboração da Escola Politécnica da Universidade

de São Paulo – EPUSP. Esse modelo foi calculado com uma resolução de 5' de arco no *datum* SIRGAS2000, compreendidos entre as latitudes de 6°N e 35°S e entre as longitudes de 75°W e 30°W, dentro do território brasileiro.

O referencial de gravimetria do SGB dispõe de milhares de estações no território nacional, as quais recolhem dados da aceleração da gravidade.

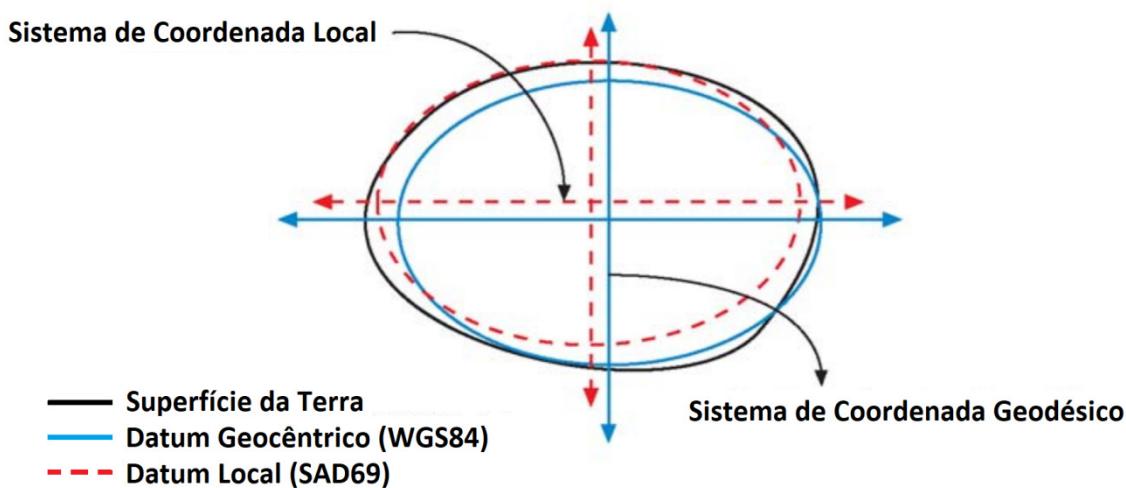
O referencial planimétrico, amplamente utilizado nos levantamentos topográficos e nas geotecnologias, é utilizado para a definição das superfícies, origem e orientação do sistema de coordenadas horizontais no terreno.

O Brasil aplicou o *datum* Córrego Alegre até a década de 1970, tendo como superfície de referência o Elipsoide de Hayford (1924), que teve a sua origem deslocada do centro de massa da Terra para a superfície topográfica local, tornando-o um topocêntrico ou local (Figura 11).

Em seguida, por um breve período o Brasil conviveu com o *datum* Astro-geodésico de Chuá, sendo um ensaio para adoção do SAD-69 (Sistema Geodésico Sul-Americano de 1969).

O *datum* SAD-69 é um sistema regional e teve sua recomendação indicada em 1969 na XI Reunião Pan-americana de Consulta sobre Cartografia. Embora a reunião fosse realizada em 1969, o Brasil adotou-o oficialmente somente em 1979.

FIGURA 11 – SUPERFÍCIE DA TERRA IRREGULAR, E A DIFERENÇA ENTRE O DATUM LOCAL (SAD69) PARA O DATUM GEOCÊNTRICO (WGS84)



FONTE: O autor.

Nos dias de hoje, notadamente pela utilização massiva de receptores de navegação por satélite, passou-se a utilizar, no Brasil, um sistema de referência geocêntrico (SIRGAS 2000) similar ao WGS84 (Figura 11). Logo, a adoção do SIRGAS 2000 segue uma tendência atual, considerando-se as

potencialidades dos receptores GNSS/GPS e as facilidades para a comunidade usuária, já que com esse sistema geocêntrico, as coordenadas obtidas com os receptores podem ser aplicadas diretamente aos levantamentos cartográficos, evitando a necessidade de transformações e integração entre os dois sistemas referenciais.

Esse sistema geocêntrico leva em consideração os seguintes parâmetros:

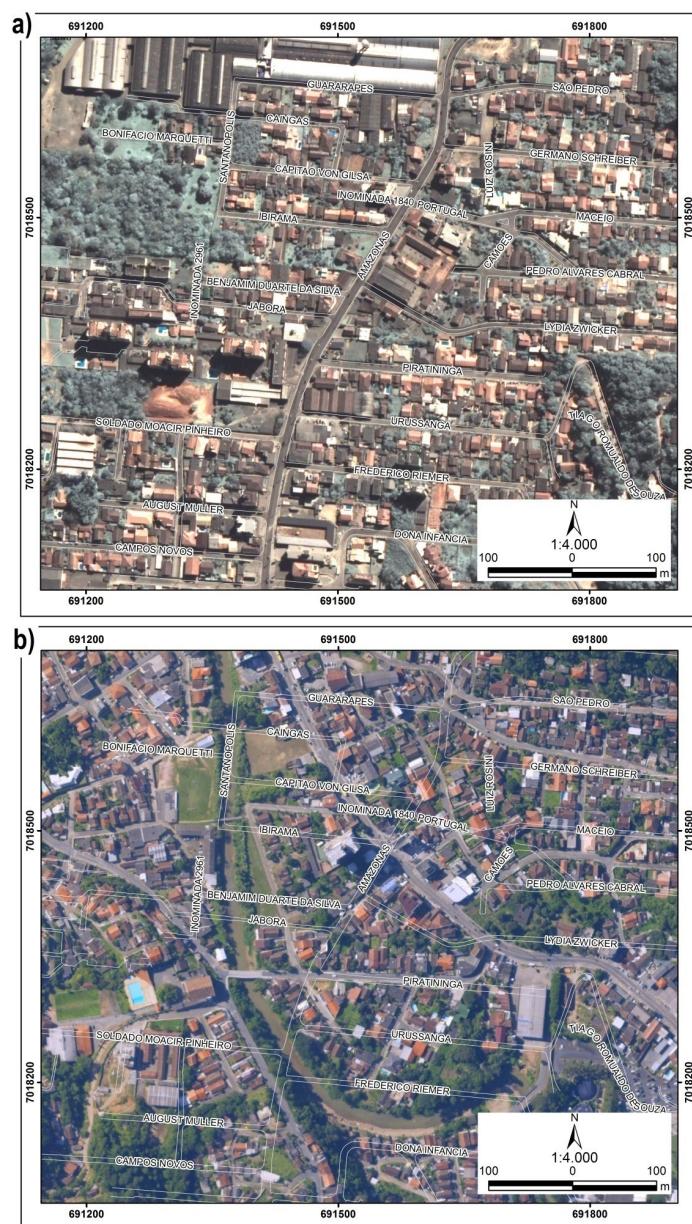
- International Terrestrial Reference System (ITRS) – Sistema Internacional de Referência Terrestre.
- Elipsoide de Referência: Geodetic Reference System 1980 (GRS80) – Sistema Geodésico de Referência de 1980:
 - ✓ raio equatorial ou semieixo maior (a) = 6.378.137 m
 - ✓ raio polar ou semieixo menor (b) = 6.356.752
 - ✓ achatamento ($f = \frac{a-b}{a}$) = 1/298,257222101.

3.2 MUDANÇA DE DATUM

Um dos problemas corriqueiros na criação da base de dados de inúmeros projetos tem sido a coexistência de mapas e cartas topográficas em distintos sistemas geodésicos de referência, tais como: SAD-69, SIRGAS 2000 e o WGS84. Os usuários das geotecnologias e receptores de navegação por satélite já estão relativamente acostumados a conviver com escolhas de projeção e seleções de “datum” sempre que precisam realizar entrada ou importação de dados nas mais variadas aplicações possíveis. Além da miscelânea de dados de entrada com datum distintos, deve-se observar também pelos usuários que as coordenadas geográficas – na verdade, geodésicas – são definidas sobre a superfície de referência selecionada e que, portanto, variam de “datum” para “datum”. Por conseguinte, deve-se verificar em qual datum encontra-se o mapeamento e fazer as adequações necessárias à compatibilização, particularmente com a difusão e uso da tecnologia GPS, uma vez que esse sistema utiliza os parâmetros do datum WGS 84.

Na Figura 12, por exemplo, pode-se observar, para fins de demonstração, o deslocamento das vias e das ruas com relação à imagem aérea causado pela diferença de datum, estando a base vetorial – vias e ruas – e a base raster – imagem aérea –, respectivamente, no SAD-69 e SIRGAS 2000.

FIGURA 12 – A) COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE A BASE VETORIAL (VIAS E RUAS) COM A BASE RASTER (IMAGEM QUICKBIRD) B) DESLOCAMENTO ENTRE BASE VETORIAL (VIAS E RUAS) COM A BASE RASTER (IMAGEM AÉREA) CAUSADO PELA DIFERENÇA DE DATUM



FONTE: O autor.

As diferenças entre SAD-69 e SIRGAS 2000, por exemplo, traduzem-se em discrepâncias de algumas dezenas de metros (Quadro 2). Essas discrepâncias são negligenciáveis para projetos que envolvam mapeamentos em escala pequena, mas são absolutamente preponderantes para escalas maiores que 1:250.000. É o caso, por exemplo, de aplicações voltadas para planejamento urbano em escalas maiores.

QUADRO 2 – PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS DATUM UTILIZADOS

SIRGAS	WGS84	CÓRREGO ALEGRE	SAD69
Translação X	+0,478 m	+206,048 m	+67,348 m
Translação Y	+0,491 m	-168,279 m	-3,879 m
Translação Z	-0,297 m	+3,823 m	+38,223 m

FONTE: Boletim de serviço nº 1602 (suplemento) e resoluções nº 23/89 e nº 1/2005 – IBGE

Portanto, no caso de a base de dados apresentar documentos cartográficos e imagens de sensoriamento remoto referenciados em *datum* distintos, torna-se necessário fazer a conversão para um *datum* comum, utilizando, por exemplo, sistemas computacionais que apresentem esta rotina, tais como: SIG, Processador digital de Imagem (PDI) etc. Este mesmo cuidado deve ser adotado ao se coletar dados com GPS: ou o usuário altera o *datum* padrão WGS84 do GPS para o da sua preferência nas próprias configurações do receptor, ou utiliza-o na configuração padrão e, posteriormente, se converte num sistema computacional.

3.3 SISTEMA DE REFERÊNCIA

A localização de um ponto na superfície terrestre é determinada por meio de um sistema de coordenadas ou de referência. Estes sistemas estão associados a uma superfície de referência que se aproxima do formato real da Terra, conforme abordado anteriormente. É o caso, por exemplo, do elipsoide de revolução.

Existem três tipos de sistemas de referenciamento utilizados nas ciências cartográficas: a) os sistemas de coordenadas planas ou retangulares – usados, por exemplo, nas quadrículas cartográficas; b) os sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionais e, por fim; c) os sistemas de coordenadas definidos sobre a esfera ou o elipsoide, tais como as coordenadas geográficas e geodésicas.

Antes de descrever os dois sistemas mais usuais nas geotecnologias, o tridimensional e o esférico, torna-se necessário definir primeiramente o conceito de sistemas de coordenadas, que é a forma de referenciar, sem ambiguidade, a posição de um ponto no plano, no espaço tridimensional ou sobre uma superfície, por meio de ângulos e distâncias, medidos a partir de referências determinadas.

Geralmente, as coordenadas esféricas são expressas em graus sexagesimais, enquanto que as coordenadas cartesianas se apresentam em unidades métricas – quilômetro ou metro.

O sistema de coordenadas cartesiano tridimensional 3-D é caracterizado por um conjunto de três eixos (X, Y e Z), ortogonais entre si. A origem do sistema pode coincidir com o centro de massa da Terra, denominado geocêntrico. As características deste sistema são as seguintes:

O eixo X é definido pela intersecção do plano do meridiano de Greenwich com o plano do equador, sendo positivo na direção de longitude 0° .

O eixo Y é definido pela intersecção do plano do meridiano de longitude 90° Leste com o plano equatorial, sendo positivo na direção de longitude 90° .

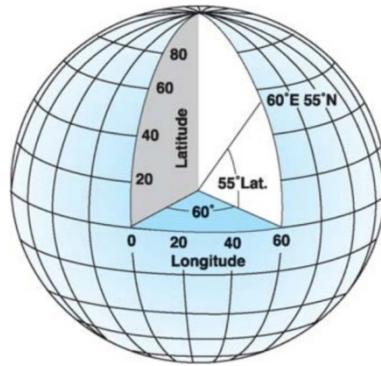
O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e orientado positivamente na direção do Polo Norte.

Os sistemas de coordenadas esféricos utilizam dois ângulos (latitude e longitude) e uma distância à origem para referenciar as posições no espaço tridimensional. Os valores dos pontos localizados na superfície terrestre são expressos por coordenadas geográfica (definida pela vertical e a superfície da Terra) e geodésica (definida pela normal e a superfície de referência geodésica), contendo unidades de medida angular, ou seja, graus ($^\circ$), minutos ($'$) e segundos ($''$).

Desta forma, define-se Latitude (Figura 13) como sendo o ângulo formado entre a vertical do lugar e o plano do equador. Quando o ângulo é formado entre a normal do lugar e o plano do equador tem-se a Latitude geodésica. Elas variam de 0° a $\pm 90^\circ$, sendo considerada negativa no hemisfério sul e positiva no hemisfério norte.

Já a Longitude (Figura 13) pode ser definida como o ângulo diedro (espaço entre dois semiplanos não contidos num mesmo plano com origem numa aresta comum) entre o plano do meridiano do lugar e o plano de um meridiano tomado como referência, por exemplo, o meridiano de Greenwich. A Longitude geodésica é determinada entre os planos dos meridianos geodésicos do lugar e de Greenwich. Quando o ponto estiver situado a oeste de Greenwich, a longitude terá valor negativo, e a leste, valor positivo. Elas variam de 0° a $\pm 180^\circ$, sendo considerada negativa a oeste de Greenwich, também conhecida de hemisfério ocidental.

FIGURA 13 – EXEMPLO DE VALORES DE LATITUDE E LONGITUDE



FONTE: O autor

Usa-se também a indicação do hemisfério correspondente na coordenada geográfica ou geodésica. Por exemplo, para latitude, o N significa que o ponto se localiza no hemisfério norte e o S no hemisfério sul. Para longitude, o E (do inglês *East*) significa que o ponto se localiza no hemisfério oriental e o W (do inglês *West*) no hemisfério ocidental.

Na Terra ou na esfera celeste existem os paralelos especiais (Figura 14). Os trópicos de Câncer, no hemisfério norte, e de Capricórnio, no hemisfério sul, são os paralelos de latitude igual à máxima declinação do Sol (cerca de $23^{\circ} 27'$ Norte e Sul).

Os círculos polares são paralelos cuja latitude é igual a $66^{\circ} 33'$, que é o complemento para 90° da latitude dos trópicos. O círculo polar no hemisfério norte é denominado de círculo polar ártico, e o do hemisfério sul como círculo antártico.

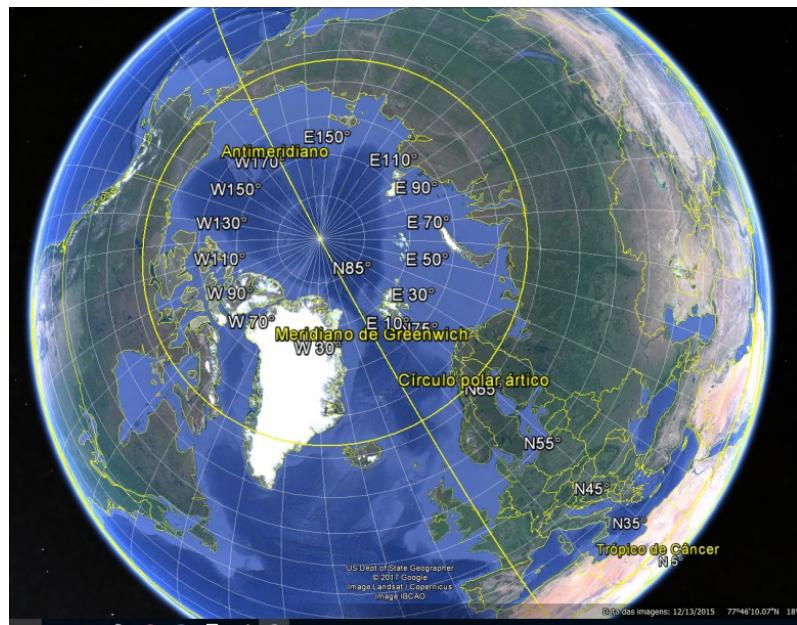
A malha formada pelos meridianos e paralelos de um mapa ou globo é denominada de rede geográfica. As principais linhas imaginárias em forma de círculos e semicírculos utilizadas para a indicação dos diferentes pontos da Terra podem ser vistas didaticamente no aplicativo Google Earth (Figuras 14, 15 e 16).

FIGURA 14 – PARALELOS ESPECIAIS - EQUADOR, TRÓPICOS DE CÂNCER E DE CAPRICÓRNIO – VISUALIZADOS NO APLICATIVO GOOGLE EARTH



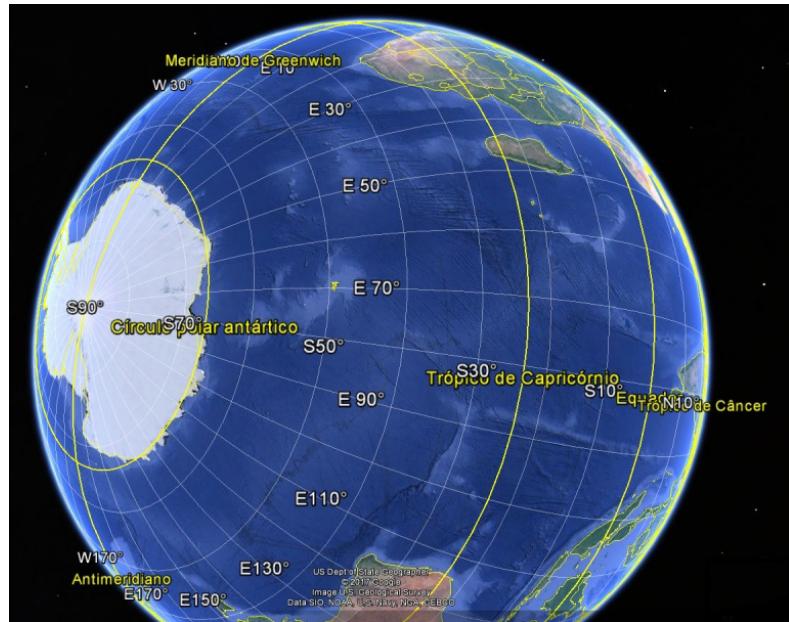
FONTE: Captura de tela da aplicação no aplicativo Google Earth

FIGURA 15 – MERIDIANO, ANTIMERIDIANO E CÍRCULO POLAR ÁRTICO



FONTE: Captura de tela da aplicação no aplicativo Google Earth

FIGURA 16 – MERIDIANO, ANTIMERIDIANO E CÍRCULO POLAR ANTÁRTICO VISUALIZADOS NO APLICATIVO GOOGLE EARTH



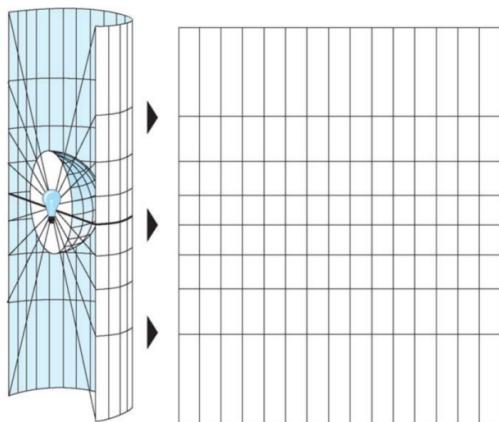
FONTE: Captura de tela da aplicação no aplicativo Google Earth

Nos aplicativos voltados para aplicações cartográficas, Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Processamento Digital de Imagens (PDI), por exemplo, os sistemas de coordenadas utilizados para armazenamento e visualização da componente gráfica são o esférico e o cartesiano. Além disso, para que seja possível a correta sobreposição entre os planos de informação, o sistema de coordenadas deve ser comum entre os planos, bem como as unidades das coordenadas. Caso contrário, é necessário que se faça uma conversão para um sistema único.

4 SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA

Desde os primeiros anos escolares, aprende-se que a latitude e a longitude definem a localização de objetos e pessoas sobre a superfície terrestre a partir de ângulos referenciados ao meridiano de Greenwich e ao paralelo do equador, conforme visto anteriormente. Como tal, eles constituem o sistema mais abrangente e conhecido de localização e sustentam uma variedade de formas de análise, incluindo o cálculo da distância entre pontos sobre a superfície curva da Terra. No entanto, muitas tecnologias para trabalhar com dados geográficos são inherentemente planas, incluindo mapas e cartas de papel impressas em épocas remotas, que evoluíram durante vários séculos antes do advento de dados geográficos digitais ou o próprio SIG. Por várias razões, muitos trabalhos em SIG ou mapas digitais lidam com uma Terra plana ou projetada, ainda que paguemos pelas distorções inerentes ao processo, consequência inevitável de torná-la plana (Figura 17).

FIGURA 17 – COMO AS CARACTERÍSTICAS TRIDIMENSIONAIS DO GLOBO SÃO COMPACTADAS PARA CABER SOBRE UMA SUPERFÍCIE PLANA



FONTE: O autor

As projeções cartográficas podem ser definidas como a correspondente matemática entre as coordenadas planas do mapa e as coordenadas esféricas (angulares) da Terra; ou qualquer arranjo sistemático de meridianos e paralelos descrevendo a superfície curva da esfera ou elipsoide em um plano. A representação da superfície curva sobre o plano é, indiscutivelmente, a alternativa mais utilizada em projeções cartográficas, pois possibilita a representação da topografia, geologia, pedologia, vegetação etc. de uma determinada região.

Especificamente, a Terra é, muitas vezes, tornada plana porque:

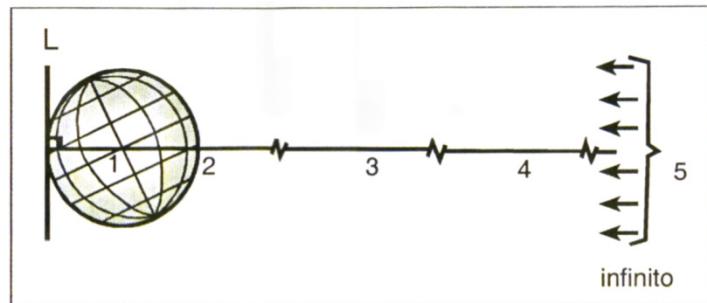
- O papel e/ou mapa, além de plano, podem ser facilmente manipulados, e ainda podem ser usados como um meio para a entrada de dados em SIG por escanerização ou digitalização manual e também para saída de dados na forma de mapa ou imagem.

- Imagens ou matrizes são essencialmente planas, uma vez que é impossível cobrir uma superfície curva com quadrados iguais, sem lacunas ou sobreposições.
- O filme fotográfico e/ou detectores, presentes nas câmeras ou sensores a bordo de aeronaves e/ou satélites, são planos e ainda são amplamente utilizados para captar imagens da Terra.
- Quando a Terra é vista do espaço, observa-se somente uma das suas faces, além disso, parte do centro da imagem registrada possui mais detalhes que diminuem rapidamente para as bordas. Logo, para ver a Terra inteira de uma vez com detalhamento aproximadamente igual, ela precisa ser distorcida de alguma forma, e é mais conveniente torná-la plana.
- Um mapa ideal deve manter a verdadeira forma das feições representadas, a inalterabilidade das áreas e constantes as relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes. Ainda que existam mais de 300 maneiras diferentes de tornar plano o esferoide, nenhuma delas retrata precisamente essa planificação, logo, existirá sempre uma deformação.
- A esfera é um sólido não achatável ou não planificável. Assim, sempre que se achatá uma esfera, necessariamente ela sofrerá alterações ou deformações. Como solução, os mapas podem ser empregados, já que eles podem ser facilmente manipulados e atendem a diferentes finalidades.

Após definir e enumerar os motivos da sua utilização, as projeções podem ser classificadas em função dos seguintes parâmetros: quanto ao método construtivo – geométrico, analítico e convencional; de acordo com as prioridades/feições que conservam do mundo real (equidistantes, equivalentes, conformes e afiláticas); o tipo da superfície de projeção – azimutal, cônica e cilíndrica; a forma de contato entre ela e o local mapeado (secante e tangencial); e as suas posições (normal, transverso e oblíquo). Além das principais características e classificações, serão apresentadas as principais projeções cartográficas adotadas no Brasil: Conforme de Gauss, a recente projeção Cônica Conforme de Lambert, a Universal Transversa de Mercator (UTM) e suas derivadas regional (RTM) e local (LTM).

No método construtivo geométrico há duas variações básicas: a projeção em perspectiva (Figura 18) e a pseudoperspectiva. A primeira adota um ponto de vista fixo, enquanto a segunda, um ponto de vista móvel. Já o analítico baseia-se em lei de correspondência matemática e representa a maioria das projeções e, finalmente, o método convencional que se fundamenta em princípios projetivos arbitrais.

FIGURA 18 – PONTOS DE PROJEÇÃO PARA SISTEMAS PERSPECTIVOS

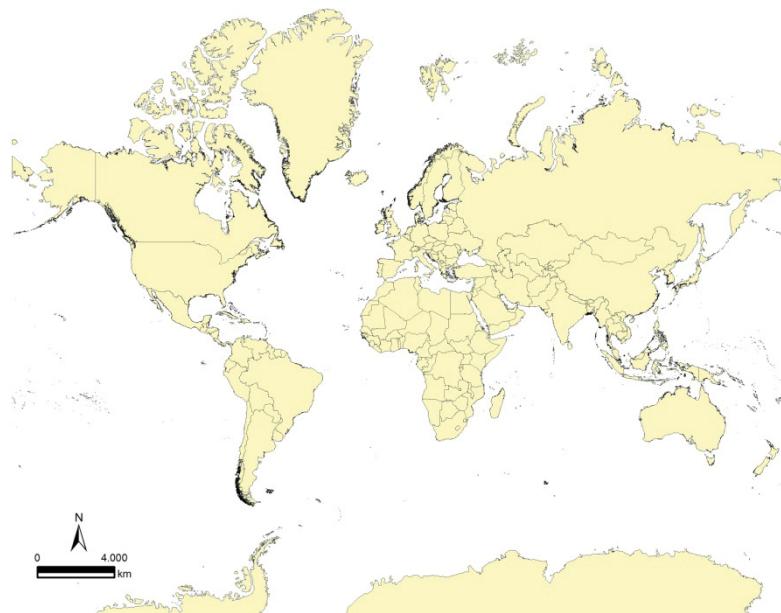


FONTE: Robinson et al. (1995)

As projeções cartográficas necessariamente distorcem a Terra, por isso é impossível, em princípio, a escala de qualquer mapa plano ser perfeitamente uniforme ou o tamanho do pixel de qualquer imagem ser perfeitamente constante. Porém, as projeções podem preservar certas propriedades. Duas dessas propriedades são particularmente importantes, embora qualquer projeção preserve no máximo uma delas, nunca ambas.

A conformidade assegura que as formas ou ângulos das feições na superfície terrestre sejam preservadas na projeção, isto é, que as escalas da projeção nas direções x e y sejam sempre iguais. Essa propriedade é importante em mapas que são usados para analisar ângulos, tal como acontece em navegação, onde uma linha reta ou loxodrómica traçada sobre o mapa tem uma orientação constante. Na projeção de Mercator (Figura 19), na qual os ângulos das figuras pequenas são conservados, mas as grandes áreas aparecerão aumentadas. Um exemplo sempre citado nos livros didáticos é o da Groenlândia, que aparece no planisfério construído nessa projeção, com superfície superior à da América do Sul, apesar de ser cerca de oito vezes menor.

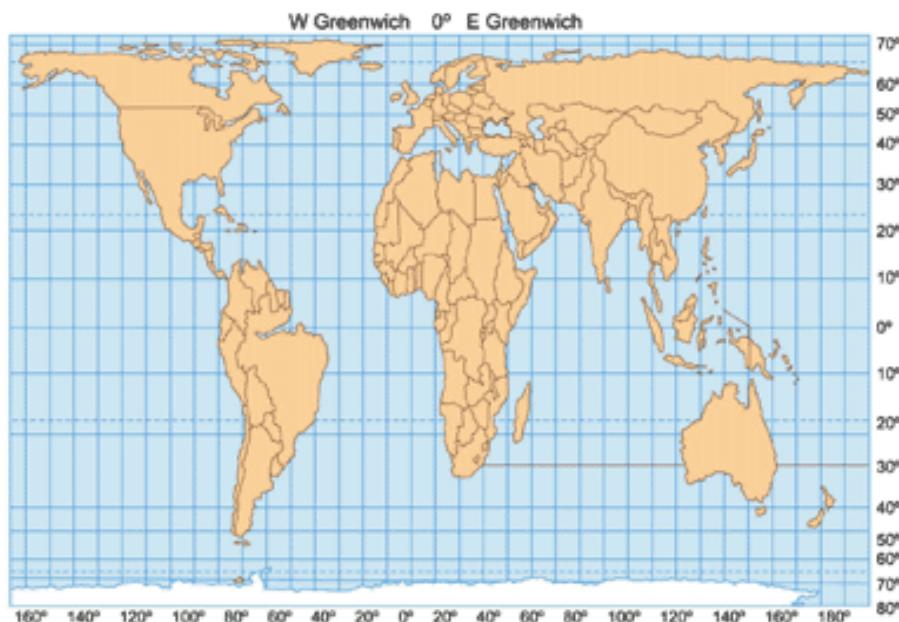
FIGURA 19 - NA PROJEÇÃO DE MERCATOR OS ÂNGULOS SÃO CONSERVADOS, MAS AS ÁREAS SÃO DISTORCIDAS



FONTE: O autor

Na propriedade de equivalência, as áreas medidas no mapa mantêm a mesma proporção em relação às áreas medidas na superfície terrestre. A projeção equivalente de Albers, por exemplo, pode ser utilizada para o cálculo da área de desflorestamento de um município da Amazônia ou da cobertura vegetal do município de Florianópolis. A projeção de Peters (Figura 20), oposta à de Mercator, apresenta verdadeiramente as áreas dos países, porém as formas são visivelmente alteradas. Os partidários dessa projeção para o planisféricio consideram-na politicamente mais correta e são oposicionistas à de Mercator, que aumenta a área dos países do hemisfério norte, predominantemente mais avançados econômica e culturalmente.

FIGURA 20 - A PROJEÇÃO DE PETERS APRESENTA VERDADEIRAMENTE AS ÁREAS DOS PAÍSES, PORÉM AS FORMAS (ÂNGULOS) SÃO VISIVELMENTE ALTERADAS



FONTE: Wikipédia. Disponível em: <<http://twixar.me/LPrT>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

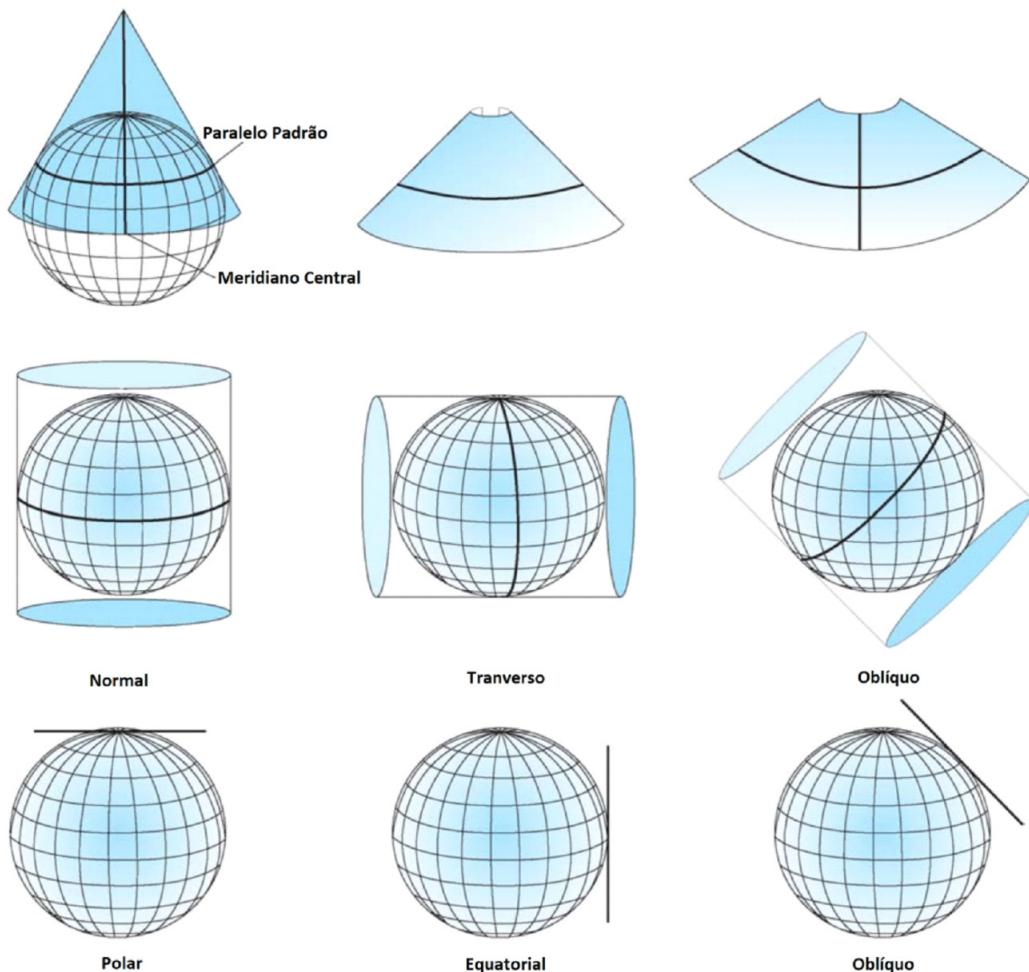
As afiláticas conservam tanto os ângulos quanto as áreas. Nesses sistemas é dada a preferência para reduzir ambas as deformações em vez de eliminar uma à custa de contemplar a outra.

Por sua vez, qualquer uma das projeções citadas anteriormente pode apresentar o atributo equidistante em alguma direção, nunca em todas, ou seja, ela conserva inalterada a relação entre os comprimentos medidos em certas direções com aqueles desenhados no mapa. Gemael (2002) ressalva que a projeção Conforme de Gauss mantém a propriedade equidistante segundo e exclusivamente no meridiano central.

Além de suas propriedades de distorção, outra forma comum de classificar as projeções de mapas se dá pela analogia com um modelo físico de como posições na superfície plana de um mapa são relacionadas com posições na superfície curva da Terra. Existem três classes principais, mas note que elas não cobrem todas as projeções conhecidas:

As projeções cilíndricas, azimutais e cônicas (Figura 21), de forma análoga, utilizam figuras geométricas de papel (cilindro, cone e o plano) para recobrir a Terra parcialmente ou integralmente, em seguida as feições da Terra são projetadas nessas superfícies e posteriormente desenroladas.

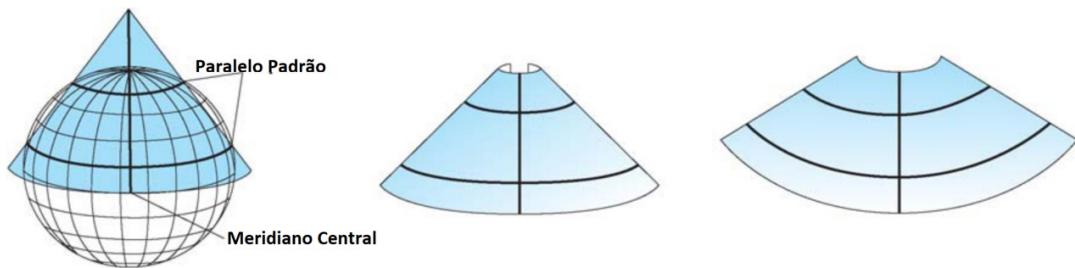
FIGURA 21 – AS FIGURAS GEOMÉTRICAS – CILINDRO, CONE E O PLANO - UTILIZADAS NOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO E AS SUAS POSIÇÕES NORMAL, TRANSVERSO E OBLÍQUO



FONTE: O autor

Em cada caso, a orientação da projeção define a relação específica, se o papel é enrolado em volta do equador ou se toca em um polo. Onde o papel coincide com a superfície, a escala de projeção é 1, mas onde o papel está a alguma distância da superfície a feição projetada será maior do que é na Terra e não ocorrerá estiramento nem deformação. Projeções tangentes ocorrem quando somente um dos paralelos tem real grandeza, já as projeções secantes (Figura 22) ocorrem quando a superfície de projeção secciona dois paralelos à superfície de referência, como a Projeção Cônica Conforme de Lambert.

FIGURA 22 – PROJEÇÃO SECANTE OCORRE QUANDO DOIS PARALELOS CONSERVAM SUAS DIMENSÕES



FONTE: O autor

Quanto à posição da superfície de projeção em relação à superfície, elas podem ser normal, transverso e oblíquo (Figura 21). Embora a posição da superfície ocorra nos três tipos de projeções – cilíndrica, cônica e azimutal –, será utilizada a projeção azimutal para explicá-las:

O aspecto normal significa que o plano de projeção é perpendicular ao eixo de rotação da Terra, com ponto de tangência no polo, nesse caso designada de projeção polar.

Para o aspecto transverso, o plano é perpendicular ao plano do equador (projeção equatorial).

O aspecto oblíquo acontece quando o plano da projeção não é perpendicular ao eixo da Terra nem perpendicular ao plano do equador.

Dois conjuntos de dados podem diferir tanto na projeção cartográfica quanto no *datum* (materialização do elipsoide de referência), portanto, é importante conhecer ambos para iniciar os trabalhos nos sistemas computacionais.

A seguir serão apresentadas as principais projeções cartográficas adotadas no Brasil: Conforme de Gauss, Cônica Conforme de Lambert e Universal Transversa de Mercator (UTM) e suas derivadas regional (RTM) e local (LTM).

4.1 PROJEÇÃO CONFORME DE GAUSS

A projeção Conforme de Gauss é também conhecida pela denominação de Gauss-Kruger. Geometricamente pode ser visualizada como um cilindro transverso tangente à Terra ao longo do Meridiano Central (MC) do fuso (NOGUEIRA, 2009).

4.2 PROJEÇÃO CÔNICA CONFORME DE LAMBERT

A projeção de Lambert é uma cônica modificada, secante cuja propriedade é de ortomorfismo (Figura 23). Foi criada em 1772, tendo pouco uso no início; contudo, hoje em dia é bastante utilizada em navegação aérea (GEMAEI, 2002). Ela possui as seguintes propriedades: cônica, conforme, analítica, secante, os meridianos são linhas retas convergentes e os paralelos são círculos concêntricos com centro no ponto de interseção dos meridianos.

A existência de duas linhas de contato com a superfície (dois paralelos padrão) nos fornece uma área maior com um baixo nível de deformação. Isto faz com que esta projeção seja bastante útil para regiões que se estendam na direção este-oeste, porém pode ser utilizada em quaisquer latitudes. A partir de 1962, foi adotada para a Carta Internacional do Mundo, ao Milionésimo (IBGE, 1999).

FIGURA 23 – MAPA DO BRASIL REPRESENTADO PELA PROJEÇÃO CÔNICA CONFORME DE LAMBERT



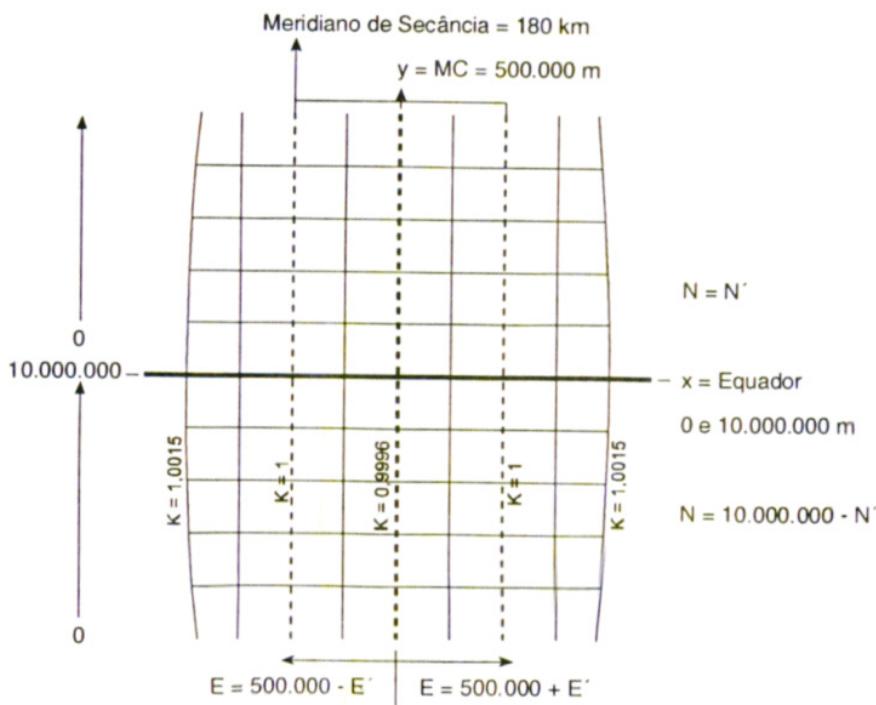
FONTE: O autor

4.3 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)

A essência do sistema UTM é uma modificação da projeção transversa de Mercator proposta por Gauss, a qual mais tarde foi reestruturada por Kruger ao estabelecer o sistema de fusos. No Brasil, ela foi adotada em 1955 pela diretoria do Serviço Geográfico do Exército. Suas características e aplicações são descritas a seguir, conforme o site do IBGE (1999):

- a) O mundo é dividido em 60 fusos, onde cada um se estende por 6° de longitude. Os fusos são numerados de um a sessenta começando no fuso 180° a 174° W Gr. e continuando para este. 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.
- b) 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 elipsoide de referência (descrito por latitude, longitude) estará biunivocamente associado ao terno de valores Meridiano Central, coordenada E e coordenada N.
- c) Avaliando-se a deformação de escala em um fuso UTM (tangente), pode-se verificar que o fator de escala é igual a 1 (um) 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 1/1030 nos extremos do fuso.
- d) A cada fuso associamos 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 0 (zero) m, para contagem de coordenadas ao longo do meridiano central, para os hemisférios sul e norte, respectivamente. Isto elimina a possibilidade de ocorrência de valores negativos de coordenadas (Figura 24).

FIGURA 24 - ESPECIFICAÇÕES DE UM FUSO UTM – N' É A DISTÂNCIA EM METROS À LINHA DO EQUADOR E E' É A DISTÂNCIA EM METROS AO MC



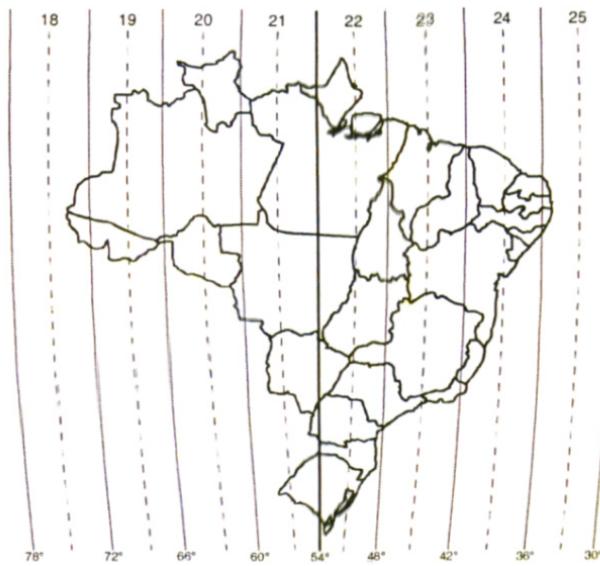
FONTE: Nogueira (2009)

e) Cada fuso deve ser prolongado até 30' sobre os fusos adjacentes, criando-se assim uma área de superposição de 1° de largura (Figura 25). Esta área de superposição serve para facilitar o trabalho de campo em certas atividades.

O sistema UTM é indicado para o mapeamento topográfico a grande escala, e é o Sistema de Projeção adotado para o Mapeamento Sistemático Brasileiro. Ele é usado entre as latitudes 84° N e 80° S, com regiões de predominância na extensão Norte-Sul.

O território brasileiro tem oito fusos UTM, cuja numeração é 25,24,23,21,20,19 e 18, conforme pode ser visto na Figura 25.

FIGURA 25 – OS OITOS FUSOS UTM QUE SÃO UTILIZADOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO



FONTE: Nogueira (2009)

As projeções Regional Transversa de Mercator (RTM) e Local Transversa de Mercator são modificações do sistema UTM (Tabela 1), criadas com a finalidade de aumentar a acurácia na representação cartográfica, cujo objetivo é de torná-las compatíveis com as atividades que requerem mais precisão. Para tal, cada fuso de 6° na projeção UTM pode ser subdividido em fusos de 2° e 1° de amplitude, nas projeções RTM e LTM, respectivamente. Devido à menor amplitude de fuso, as projeções RTM e LTM passam a ter módulo de deformação da escala no MC de $K_0 = 0,999995$.

TABELA 1 – MODIFICAÇÕES DO SISTEMA UTM

Projeções	Amplitude do fuso	K_0	Distorção no meridiano central
UTM	6°	0,9996	1/2.500
LTM	1°	0,999995	1/200.000
RTM	2°	0,999995	1/200.000

FONTE: O autor

Num sistema computacional (PDI, SIG etc.) não é possível manipular conjuntamente planos de informação situados em fusos UTM distintos, uma vez que cada fuso apresenta um sistema de coordenadas único, com sua origem definida pelo cruzamento do meridiano central do fuso e a linha do equador. Portanto, para que seja possível a manipulação, é necessário converter o sistema de coordenadas para um sistema único.

5 DISTORÇÕES, PRECISÃO E CONFIABILIDADE CARTOGRÁFICA

Para trabalhar com geotecnologias, é necessário o entendimento de determinadas técnicas específicas. Uma delas diz respeito ao uso de bases cartográficas confiáveis, o que se vincula diretamente à compreensão de regras básicas para essa forma de representação da realidade (FITZ, 2008).

5.1 PRECISÃO GRÁFICA

É a menor grandeza medida no terreno, capaz de ser representada no mapa na referida escala.

A experiência demonstrou que a menor dimensão gráfica percebida pelo olho humano ou o menor comprimento gráfico que se pode representar em um desenho é de 1/5 de milímetro ou 0,2 mm, sendo este o erro admissível num mapa. Para fins de comparação, o valor de 0,2 mm é inferior à metade do grafite de 0,5 mm utilizado na lapiseira.

A partir deste valor (0,2 mm), pode-se determinar o erro tolerável nas medições cujo desenho deve ser feito em determinada escala. O erro de medição permitido será calculado da seguinte forma:

Seja:

$$E = \frac{1}{M}$$

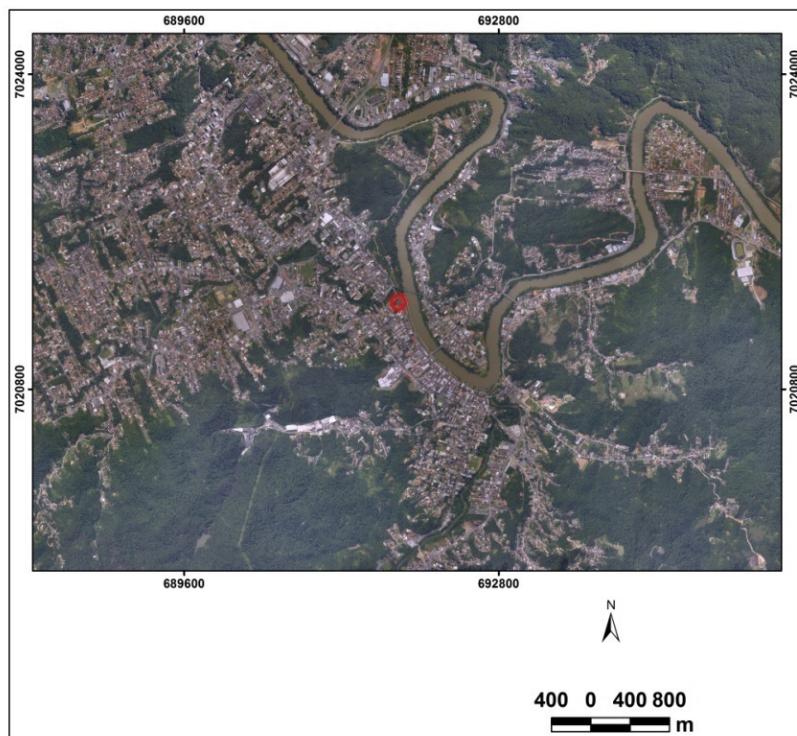
Sendo e_m = erro tolerável em metros
 $e_m = 0,0002 \text{ metro} \times M$

Desta forma, o erro tolerável varia na razão direta do denominador da escala e inversa da escala, ou seja, quanto maior for a escala, menor será o erro admissível.

As feições do mundo real cujas dimensões forem menores que os valores dos erros de tolerância não serão representadas graficamente no mapa. Em muitos casos é necessário utilizar convenções cartográficas, cujos símbolos de

natureza pontual irão ocupar, no mapa, dimensões independentes da escala. No mapa da Figura 26, por exemplo, não é possível manter uma relação de escala com algumas feições do mapa (calçadas ou pequenas edificações), neste caso, a feição será representada por um símbolo de natureza pontual.

FIGURA 26 – NÃO É POSSÍVEL MANTER UMA RELAÇÃO DE ESCALA COM ALGUMAS FEIÇÕES DO MAPA (CALÇADAS OU PEQUENAS EDIFICAÇÕES), NESTE CASO, A FEIÇÃO SERÁ REPRESENTADA POR UM SÍMBOLO DE NATUREZA PONTUAL



FONTE: O autor

5.2 ESCOLHA DE ESCALAS

Um determinado local que se queira mapear e que possua muitas feições de 5m de extensão, a menor escala que se deve adotar para que essas feições tenham representação será:

$$\text{Da fórmula: } e_m = 0,0002 \text{ metro} \times M; \quad \text{obtém-se: } M = \frac{e_m}{0,0002}$$

$$M = \frac{5m}{0,0002m} = \frac{50.000}{2} = 25.000$$

A escala adotada deverá ser igual ou maior que 1:25.000, já que o erro prático de 0,2 mm corresponde a 5m no mundo real. Observa-se então que multiplicando 5×5.000 encontrar-se-á 25.000, ou seja, o denominador da escala mínima para que as feições com 5m de extensão possam ser representadas.

Nos aplicativos voltados para uso da informação espacial, um plano de informação (PI), também denominado de *layer*, devidamente georreferenciado, pode ser exibido e manipulado em qualquer escala de visualização, inclusive maiores do que o seu original. Contudo, o usuário deve ficar atento, pois a inexistência de limite técnico não o habilita a manusear planos de informação em escalas muito ampliadas em relação ao original, uma vez que a escala de visualização no aplicativo é diferente da escala de elaboração. Como o erro cartográfico é função direta da escala do mapa, a ampliação da escala provoca igualmente a ampliação dos erros associados à escala do mapa. Neste sentido, é fundamental que o usuário tome conhecimento da escala do mapa/base original e do método utilizado na elaboração do mapeamento.

REFERÊNCIAS

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GASPAR, J. A. **Dicionário de ciências cartográficas**. Lisboa: Lidel, 2008. 327p.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: UFPR, 2002.

IBGE Diretoria de Geociências. **Noções básicas de cartografia**, Rio de Janeiro: IBGE 1999 (Manuais Técnicos em Geociências, nº 8, 130 p. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv8595_v1.pdf>).

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. 3. ed. Ed. da UFSC, Florianópolis, 2009, 327p.

ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; MUEHCKE, P. C.; JON KIMERLING, A.; GUPTIL, S. C. **Elements of Cartography**, 6th ed. 1995.