

NOÇÕES BÁSICAS DE CARTOGRAFIA PARA ENGENHARIA

CAPÍTULO 04

1 INTRODUÇÃO

Desde que o brilho da inteligência humana iluminou a face da Terra e o homem começou a se locomover sobre a superfície terrestre, surgiu a necessidade imperiosa de se posicionar e de se orientar em seus deslocamentos. Para atingir tal mister, o homem, inicialmente, orientou-se, em seus deslocamentos próximos ao local em que habitava, utilizando-se das estrelas que embelezavam a abóbada celeste, bem como de referências físicas existentes ao longo dos trajetos que percorria.

Todas as civilizações, desde o homem das cavernas, mostraram extraordinária atração em relação ao céu e suas entidades, quer sob o aspecto místico, quer do ponto de vista do desenvolvimento científico. As civilizações egípcia e grega, por exemplo, proporcionaram as bases para a fundamentação da astronomia moderna.

Além da necessidade de posicionamento e orientação, também brotou a carência de registrar os itinerários e os pontos de referência utilizados pelos homens em seus deslocamentos, estes cada vez mais alcançando distâncias maiores em relação ao ponto de partida. Surgem os registros feitos sobre placas de argila. O espírito aventureiro do homem levou-o a grandes deslocamentos, exigindo o desenvolvimento de instrumentos que foram adquirindo, com o ecoar do tempo, elevado grau de sofisticação, tal como, em nossos dias, utiliza-se os denominados receptores GPS, que captam os sinais emitidos por satélites artificiais que orbitam em torno do planeta Terra, transformando-os em posição georeferenciada. Estes receptores permitem, de maneira rápida e precisa, a determinação da posição de pontos situados em qualquer local da superfície terrestre, assim como uma navegação segura (posicionamento e orientação), quer em ambientes marítimos, fluviais e lacustres, quer em ambientes do espaço aéreo, quer no espaço sideral – além da fronteira externa da atmosfera terrestre.

O ato de registrar seus deslocamentos fez surgir a Cartografia. O vocábulo Cartografia foi cunhado pelo eminente cartógrafo português, o Visconde de Santarém, numa carta escrita pelo mesmo ao historiador Francisco Adolfo Varnhagem, no ano de 1839. Pode-se, a princípio, entender a Cartografia como sendo a técnica do traçado de cartas geográficas e de seu estudo. Embora o termo Cartografia seja recente, a sua história é muito antiga. A humanidade já expressava seus conhecimentos geográficos muito antes do aparecimento da escrita, em que a feitura de mapas inclui-se entre os tipos mais antigos da arte gráfica. O denominado *Mapa de Ga-Sur*, inscrição esculpida em uma estela de barro cozido, é a mais antiga representação cartográfica conhecida. Este referencial histórico foi descoberto na região do atual Iraque, cuja elaboração estima-se estar situada no período compreendido entre 3.800 e 2.500 anos antes da era cristã.

Extremamente rica é a história da Cartografia Brasileira, cujo desenvolvimento da atividade de mapeamento cartográfico sistemático têm seu marco fincado nas expedições das “Entradas e Bandeiras”, realizadas no sentido do interior do território brasileiro, a partir do século XVI. As “Entradas e Bandeiras” foram expedições organizadas no período colonial brasileiro, com o propósito de apresar índios ou descobrir minas.

Atribui-se ao português João Emenelaus, membro da comitiva de Pedro Álvares Cabral, quem, utilizando um astrolábio, determinou pela primeira vez as coordenadas geográficas da então recém descoberta Terra de Vera Cruz.

1.1 Definições

1.1.1 – Cartografia

Segundo Cêurio de Oliveira (1), “*Cartografia é a ciência que se ocupa da elaboração de mapas de toda espécie. Abrange todas as fases do trabalho, desde os primeiros levantamentos até a impressão final dos mapas*”.

De acordo com João Soukup (2), numa definição mais abrangente, “*Cartografia é a arte e a ciência de elaborar mapas; é arte porque para sua perfeita execução necessita satisfazer as exigências de um conjunto de preceitos como: saber escolher e aproveitar-se dos dados numéricos e literários geográficos, possuir um senso instruído e uma habilidade experimentada no desenho minucioso e arranjo de símbolos, letreiros, etc. A Cartografia é ciência porque exige uma constante ocupação metódica com a intervenção e o aperfeiçoamento das projeções cartográficas e com o estudo e a organização dos métodos gráficos da mais compreensível representação dos elementos do conteúdo como também na parte dos processos de impressão*”. Portanto, a Cartografia apoia-se em estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseadas nos resultados de observações, objetivando a elaboração e preparação de cartas e mapas.

1.1.2 – Plantas, Cartas e Mapas

Define-se a *Planta Topográfica* como sendo uma representação gráfica de uma parte limitada da superfície terrestre, sobre um plano de referência horizontal, para fins específicos, na qual não se considera a curvatura do modelo geométrico que idealisticamente representa da Terra. As escalas utilizadas para essa representação normalmente são grandes (por exemplo, 1/1.000, 1/2.000, etc.), permitindo visualizar-se com maior destaque os inúmeros detalhes topográficos da região investigada, para atender aos diversos interesses da Engenharia Civil e da Arquitetura. O mapa em escala pequena permite a representação da totalidade ou de uma vasta porção da superfície terrestre. Assim, os planisférios e o mapa-múndi são representações globais da Terra, respectivamente sobre uma superfície plana e sobre uma esfera. O mapa em escala grande (1/10.000, 1/25.000, por exemplo) permite, ao contrário, a representação detalhada de uma área limitada., em que o relevo é representado com a ajuda de diversos procedimentos dos quais o mais utilizado é a curva de nível.

Não existe uma diferença rígida entre as definições de *Carta* e *Mapa*, tornando bastante difícil estabelecer uma separação definitiva entre o significado desses vocábulos. A *Carta* é definida como sendo a representação gráfica sobre uma superfície plana, dos diversos aspectos físicos, naturais e artificiais, de parte ou de toda a superfície

terrestre. Esta representação leva em consideração a curvatura terrestre. As escalas utilizadas normalmente são pequenas, permitindo o traçado das características topológicas mais abrangentes que a superfície terrestre apresenta, quer natural, quer artificial.

A palavra *Mapa* tem sua origem na Idade Média, sendo empregada exclusivamente para designar as representações terrestres. Com o desenvolvimento do comércio ultramarino, os mapas marítimos passaram a ser denominado de *Cartas Náuticas*. Com o passar do tempo, o uso da palavra *Carta* generalizou-se e passou a designar não somente as *Cartas Náuticas*, como também toda uma série de outras modalidades de representação da superfície da Terra. Porém, de uma forma mais rigorosa, pode-se definir o *Mapa* como sendo uma representação da Terra nos seus aspectos geográficos – artificiais ou naturais – que se destina a fins culturais ou ilustrativos. A *Carta*, por sua vez, é definida como sendo a representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo uma avaliação precisa de distâncias, ângulos (direções), a localização geográfica de pontos específicos, áreas e detalhes.

Existem outras formas de representação da superfície terrestre, como, por exemplo, as *maquetes*, estas sendo reproduções de uma pequena área da superfície terrestre, com o uso de materiais artesanais, que visam facilitar a identificação das características topológicas sobre um modelo reduzido. O *bloco-diagrama* permite a representação, em perspectiva e em corte, de uma dada região.

1.1.3 – Mapeamento

Define-se *mapeamento* como sendo um conjunto de operações de levantamento, construção e reprodução das cartas de uma determinada região do espaço geográfico geo-referenciado.

2 CLASSIFICAÇÃO DOS MAPAS E CARTAS QUANTO ÀS FINALIDADES

A classificação das cartas, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a seguinte:

- Cartas Geográficas/Topográficas

Cartas Topográficas são confeccionadas mediante um levantamento topográfico regular e que incluem os acidentes naturais e artificiais, permitindo a medida nas cartas, facilmente e com precisão, de distâncias, ângulos, a posição de pontos (coordenadas), etc. Podem ser cartas topográficas planimétricas, altimétricas ou plani-altimétricas. A Carta Geográfica, quando construída em escala pequena, da ordem de 1: 1.000.000, representando a superfície da Terra nos seus aspectos físicos e culturais, para fins ilustrativos, recebe a denominação de mapa, mais especificamente de Carta Internacional ao Milionésimo.

- Cartas Cadastrais e Plantas

Cartas Cadastrais e Plantas são aquelas, geralmente em escala grande, usada para mostrar limites verdadeiros e usos das propriedades, simplificada na representação de detalhes naturais ou artificiais, quando julgados desnecessários.

- Cartas Aeronáuticas

São as que representam a superfície da Terra com sua cultura e relevo, de maneira a satisfazer, especificamente, as necessidades da navegação aérea.

- Cartas Náuticas

São as que resultam dos levantamentos dos mares, rios e lagos navegáveis e que se destinam à orientação e segurança da navegação.

- Cartas Especiais ou Temáticas

São representações, na forma de carta, mapa ou planta, em qualquer escala, que expressam aspectos específicos. Têm-se as cartas geológicas, geomorfológicas, meteorológicas, pedológicas, de vegetação, dentre outras.

3 FORMAS DA TERRA: SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA.

As coordenadas são elementos matemáticos que servem para determinar a posição de um ponto sobre uma superfície ou no espaço, em relação a um sistema de referência. As coordenadas geográficas (latitude e longitude) permitem marcar um ponto localizado na superfície terrestre sobre um globo terrestre (superfície de projeção, com forma esférica, auxiliado por um conjunto de linhas denominadas de meridianas e paralelas) ou sobre cartas e mapas (auxiliado por um sistema quadriculado de linhas representadas sobre um plano horizontal, resultantes da projeção dos meridianos e paralelos). Por sua vez, nas plantas topográficas utiliza-se um sistema de referência plano-ortogonal, para localizar um ponto por sua coordenadas cartesianas, quer no plano euclidiano (X,Y) , quer no espaço euclidiano (X,Y,Z) , onde a coordenada Z representa a altura do ponto em relação ao plano horizontal XOY . Pode-se também representar a posição de um ponto qualquer da superfície topográfica por suas coordenadas semi-polares ou cilíndricas (r, θ, Z) , onde r e θ são as coordenadas polares do ponto representado (projeção ortogonal do ponto sobre o plano euclidiano XOY).

3.1 Forma real: superfície física irregular

O resfriamento lento da Terra, após a sua formação, provocou a contração progressiva do núcleo terrestre, causando as depressões e elevações observadas na sua parte mais externa – denominada de crosta, as quais formaram o relevo da sua.

No decorrer do tempo geológico, a superfície terrestre sofreu vários processos de desgaste (ações erosivas e sedimentares), de forma que ocorreram amplas modificações no seu relevo, resultando numa superfície extremamente irregular. Em decorrência, a superfície topográfica real, ou seja a superfície terrestre propriamente dita, não serve como superfície de referência para a determinação precisa de pontos localizados sobre ela, devido as irregularidades da mesma, que acompanha as elevações das montanhas e as depressões dos oceanos e rios. Este aspecto constitui um problema para a Cartografia,

que tem por objeto fundamental a representação gráfica da superfície do planeta Terra, e, para atingir este mister, torna-se necessário conhecer a forma da superfície terrestre geométrica e matematicamente definida.

Então, por ser a Terra um sólido irregular não suscetível a tratamento geométrico analítico, a Cartografia é obrigada a considerar uma superfície de referência, a mais próxima possível de sua forma real, para a redução e tratamento das observações geodésicas realizadas e, até mesmo, daquelas decorrentes dos levantamentos topográficos. Esta dificuldade foi superada historicamente, que sinteticamente, descreve-se da seguinte maneira: primeiramente, em tempo bastante recuado na história da evolução do conhecimento humano, o homem imaginou a Terra como uma superfície plana, porque era assim que ele a via em seu redor. Em seguida, a idéia de esfericidade da Terra nasceu na Grécia Antiga, em consequência das observações dos eclipses lunares e medições feitas por Eratóstenes, de maneira que no tempo de Ptolomeu, a forma da Terra já era admitida como sendo esférica e utilizada na elaboração dos mapas de então.

No fim do século XVII, Isaac Newton lançou a idéia do achatamento da Terra, em virtude do seu movimento de rotação, dando origem a uma série de pesquisas geodésicas que permitiram, com os resultados obtidos pelas expedições procedidas por geodestas franceses no século XVIII, adotar para a Terra a forma de um elipsóide achatado segundo a linha dos pólos.

Medições geodésicas mais precisas e realizadas em períodos mais recentes da evolução histórica da Geodésia, eliminaram totalmente a hipótese de ser a forma da Terra um elipsóide geometricamente regular. Ao contrário, os geodestas chegaram à conclusão de que a forma da Terra era extremamente irregular.

Para superar esse problema, no sentido de atender aos propósitos da Cartografia, foram estabelecidas algumas superfícies teóricas de referência para representar a Terra, segundo determinados modelos, apresentados a seguir, para que qualquer ponto localizado na superfície terrestre possa ter sua posição identificada com rigor matemático e representado cartograficamente com elevado grau de acurácia. São inúmeros os pontos geodésicos que foram monumentalizados na superfície terrestre, em diversas partes do globo, em áreas continentais (em maior quantidade) e em áreas oceânicas, visando ao atendimento de interesses científicos, militares, econômicos e outros.

3.2 – Formas aproximadas, segundo modelos matemáticos - características geométricas

Como a Cartografia necessita de uma superfície de referência geometricamente definida, surgiu inicialmente a concepção do *Geóide* para representar a superfície teórica da Terra. Neste modelo, a superfície terrestre irregular pode ser representada pela superfície do nível médio do mar, considerada, numa abstração geométrica, suposta prolongada por sob os continentes e normal em todos os seus pontos à direção da gravidade. Esta superfície assim construída recebeu a denominação de Geóide que, etimologicamente, significa “forma da Terra”. Como se trata de uma superfície para a qual não foi, até então, possível estabelecer uma equação analítica representativa para a mesma, houve a necessidade de definir uma outra superfície de referência que possuísse características geométricas e analíticas bem definidas. O Geóide é utilizado como superfície de referência apenas para a definição da altura dos pontos geodésicos e topográficos, nas áreas continentais e oceânicas, denominada de *altitude*.

Concebe-se, em seguida, como consequência das idéias de Isaac Newton, a forma teórica denominada de *Elipsóide de Revolução*.

O *Elipsóide de Revolução* é uma figura geométrica tridimensional, gerada pela rotação de uma semi-elipse em torno de seu eixo menor, que imita a forma e o movimento rotacional da Terra. É o sólido imaginário que mais se aproxima do Geóide. Os elementos geométricos que caracterizam o elipsóide matemático são perfeitamente dedutíveis.

As operações geodésicas realizadas em várias partes da superfície terrestre resultaram em valores diferentes para os elementos do *Elipsóide Terrestre*, conduzindo para a definição de um caráter essencialmente local do elipsóide. As medições clássicas, todas elas baseadas nas medidas de vários arcos de meridiano, definiram os principais elipsóides terrestres:

ELIPSÓIDE	Semi-eixo equatorial (m)	Semi-eixo Polar (m)	Achatamento
Bessel	6.378.397,000	6.356.679,000	1:299,2
Clarke	6.378249,000	6.356.515,000	1:293,5
Hayford	6.378.388,000	6.356.912,000	1:297,0
SAD 69	6.378.160,000	6.356.774,719	1:298,25

Tabela 1: principais elipsóides terrestres

Em virtude dos resultados obtidos nas operações geodésicas, poder-se-ia então adotar para a superfície de referência de uma região a mapear, o elipsóide terrestre local, isto é, aquele cujos parâmetros traduzam a superfície mais próxima da superfície terrestre da região considerada. Considerando, porém, as vantagens que advêm para a conexão dos vários trabalhos geodésicos a adoção de um só elipsóide terrestre, foi recomendado o uso do elipsóide de Hayford como Elipsóide Internacional de Referência, por indicação da União Geodésica e Geofísica Internacional, cujas características básicas estão apresentadas na Tabela 1.

Em representações cartográficas que permitem menor precisão é adotada a redução do elipsóide de referência a uma esfera terrestre de raio igual a média dos raios terrestres, cujo valor é igual a 6.367 km. Portanto, quando é possível e os interesses técnicos permitem, adota-se como superfície teórica de referência a forma do *Esferóide Terrestre* (cujos cálculos matemáticos estão baseados na Geometria de Riemann), enquanto que para as representações topográficas adota-se a geometria do Plano Topográfico (cujos princípios matemáticos são baseados na Geometria de Euclides). Assim, para os estudos topográficos, considera-se que em trechos de dimensões limitadas é possível admitir a superfície do modelo geométrico como plana, o que corresponde a desprezar a curvatura da Terra, assimilando esta superfície a um plano horizontal – *Plano Topográfico de Projeção*. O plano topográfico tem a propriedade de ser, em cada um dos seus pontos, praticamente normal à direção da gravidade e, conseqüentemente, as projeções dos pontos a representar são as verticais destes pontos.

Em conclusão, a Cartografia serve-se destes modelos geométrico-matemáticos representando a forma física da Terra para alcançar sua finalidade essencial que é a produção cartográfica, identificando cada ponto implantado na superfície

topográfica com rigor científico e matemático, pois todos estes modelos apresentam formulações analíticas facilmente dedutíveis.

4 SISTEMAS DE REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

4.1 – Aspectos conceituais

4.1.1 – Geodésia

Classicamente, a Geodésia tem sido definida a partir de seus objetivos, como a ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo gravitacional do planeta Terra, levando em consideração a curvatura da Terra.

O problema geodésico, de natureza físico-geométrica, em primeira análise, pode ser tratado como o da definição de um sistema de coordenadas em que fiquem caracterizados os pontos descritores da superfície física da Terra (superfície topográfica). A Geodésia permite, por triangulação, situar pontos descritores em relação às direções geográficas fundamentais (latitude e longitude).

O sistema de coordenadas associado à família de pontos descritores denomina-se SISTEMA GEODÉSICO, sendo necessária, para se atingir os objetivos da Geodésia, a sua extensão à toda superfície da Terra.

Denomina-se “*Levantamentos Geodésicos*” ao conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção dos parâmetros definidores das coordenadas dos pontos integrantes do sistema geodésico. Estes levantamentos são classificados como:

- Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão: denominados de 1ª Ordem, de natureza científica e fundamental, realizados em extensão territorial de âmbito nacional;
- Levantamentos Geodésicos de Precisão : denominados de 2ª e 3ª Ordem, realizados em extensão territorial de âmbito regional;
- Levantamentos Geodésicos para fins Topográficos : com extensão territorial de âmbito local, denominados de 4ª Ordem. A rede de pontos topográficos, planialtimétrica, é implantada para servir de apoio aos levantamentos aerofotogramétricos, assim como aos levantamentos topográficos que irão subsidiar a elaboração de projetos de engenharia de grande porte.

O estabelecimento de um Sistema Geodésico desenvolve-se tendo como objetivo contribuir para a solução do problema geodésico, sem, contudo, se descuidar dos aspectos aplicados, em que a preocupação maior é a referência para as atividades de mapeamento cartográfico. Os pontos geodésicos, subsidiariamente, suprem a comunidade técnica das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia tais como: sistemas de comunicação, transmissão de energia, barramentos para geração de energia ou abastecimento de água, titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes.

4.1.2 – Topografia

Classicamente, a Topografia é definida como sendo a ciência que

estuda uma área limitada da superfície terrestre, com a finalidade de conhecer sua forma quanto ao contorno e ao relevo, sua orientação, sem levar em consideração a curvatura da Terra. A Topografia consiste no conhecimento dos instrumentos e métodos que se destinam a efetuar a representação do terreno sobre uma superfície plana de projeção denominada de plano topográfico.

Define-se como “Levantamento Topográfico” a um conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos e distâncias com instrumentos adequados, implanta e materializa um conjunto de pontos sobre a superfície terrestre, importante e necessário para o detalhamento topográfico.

4.1.3 – Projeções cartográficas: classificação dos sistemas de projeções

A representação ideal da superfície da Terra seria aquela a ser feita sobre uma outra superfície de projeção semelhante, guardando apenas uma proporção correspondente à escala. É com base neste princípio que se constrói o denominado “Globo Terrestre” que, na vida prática cotidiana, se mostra de uso difícil e pouco adequado. Surge então, a necessidade do uso de cartas ou mapas, que constituem numa projeção sobre uma superfície plana ou sobre uma superfície desenvolvível, porém apresentando imperfeições impossíveis de serem eliminadas totalmente.

Por outro aspecto, a representação da superfície terrestre sob a forma de carta ou mapa implica na representação de uma superfície muito grande sobre outra de dimensões bastante reduzidas. É necessário, portanto, reduzir a superfície terrestre a dimensões tais que se possa representá-la dentro das que foram estabelecidas para a carta ou mapa. Essa redução importa na idéia de *escala*, que pode ser definida como a relação entre o comprimento gráfico entre dois pontos representados na carta ou mapa e o correspondente comprimento medido horizontalmente entre os mesmos pontos implantados no terreno.

A Teoria das Projeções compreende o estudo dos diferentes sistemas, incluindo a exposição das leis segundo as quais se obtém as interligações dos pontos localizados na superfície terrestre com os da superfície de projeção (carta ou mapa). Diversos métodos podem ser empregados para se obter essa correspondência de pontos, constituindo os denominados “Sistemas de Projeções”.

O vocábulo projeção não significa que os métodos empregados sejam, na sua totalidade, realmente projeções no sentido geométrico, sendo preferível utilizar o termo “representação”, ou seja “Sistemas de Representações”.

A representação da superfície da Terra, considerada elipsóidica ou esférica, sobre uma superfície plana ou sobre uma superfície desenvolvível acarreta deformações ou distorções inevitáveis. Essas deformações se refletem sobre os ângulos, os comprimentos e as áreas e, na impossibilidade de eliminá-las totalmente, pode-se evitá-las parcialmente. É, portanto, possível representar certa porção limitada da superfície terrestre de maneira a conservar uma ou outra de suas propriedades.

A construção de uma carta ou mapa requer o estabelecimento de um sistema de projeção. Este sistema será escolhido de maneira que a carta venha a possuir propriedades que satisfaçam às finalidades impostas pela sua utilização.

O ideal seria construir uma carta que reunisse todas as propriedades, representando uma superfície rigorosamente semelhante à superfície da Terra. Isto seria a *carta-ideal* e deveria possuir as seguintes propriedades:

- Conformidade: manutenção da verdadeira forma das áreas a serem representadas.
- Equivalência: inalterabilidade das dimensões relativas das mesmas.
- Equidistância: mantém constância das relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes.
- Representação dos círculos máximos por linhas retas
- Facilidade de obtenção das coordenadas geográficas dos pontos e vice-versa, ou seja, da marcação dos pontos por meio de coordenadas geográficas

As propriedades acima relacionadas seriam facilmente conseguidas, se a superfície da Terra fosse plana ou uma superfície desenvolvível. Como tal não ocorre, torna-se impossível a construção da *carta-ideal*, isto é, da carta que reunisse todas as condições desejadas. A solução será, portanto, construir uma carta que, sem possuir todas as condições ideais, possua aquelas que satisfaçam determinado objetivo.

As projeções, quanto ao método de construção, classificam-se em:

- Projeções geométricas: baseia-se em princípios geométricos projetivos.
- Projeções analíticas: são aquelas que perderam o sentido geométrico propriamente dito, em consequência da introdução de leis matemáticas, visando conseguir determinadas propriedades.
- Projeções convencionais: são as que se baseiam em princípios arbitrários, puramente convencionais, em função dos quais se estabelecem suas expressões matemáticas.

Outra importante classificação dos sistemas de projeções é aquela que está fundamentada no tipo de superfície de projeção adotado. Essa superfície de projeção pode ser um plano ou uma superfície auxiliar desenvolvível em um plano. Assim, tem-se a seguinte classificação:

- Projeções planas: quando a superfície de projeção é um plano, o qual poderá ser tangente ou secante à superfície da Terra.
- Projeções por desenvolvimento: quando a superfície de projeção é uma superfície desenvolvível, tais como superfícies cônicas, cilíndricas ou poliédricas.

Em anexo, apresentam-se os vários tipos de superfícies de projeção mais comumente empregadas utilizadas na Cartografia. Os sistemas de projeção utilizados, muito variados, prendem-se a dois grandes tipos: a *projeção conforme* (inventada por Mercator, no século XVI) e a *projeção equivalente* (inventada por Nicolas Sanson, no século XVII). A primeira tem a vantagem de conservar os ângulos entre os diferentes pontos no mapa, enquanto que a segunda conserva as superfícies (áreas).

4.2 Posicionamento de pontos: modelos de sistemas de coordenadas

Um dos princípios fundamentais da Cartografia compreende o estabelecimento de um sistema de coordenadas sobre a Terra, de maneira que cada ponto de sua superfície possa ser relacionado a esse sistema.

4.2.1 Sistema de Coordenadas Geográficas (Astronômicas)

Os antigos gregos criaram o *Sistema de Coordenadas Geográficas*, concebendo os meridianos e paralelos, utilizando o modelo esferoidal para representar idealisticamente a forma da Terra. Desse modo, os pontos da superfície terrestre são referidos a um sistema de linhas imaginárias (meridianos e paralelos) que identificam suas posições mediante coordenadas caracterizadas por suas *latitudes* e *longitudes*.

Latitude (ϕ) de um ponto da superfície terrestre é o ângulo formado entre o plano do Equador e a vertical do lugar, contado a partir do plano do Equador para o Norte e para o Sul, de 0° até 90° .

Longitude (λ) de um ponto da superfície terrestre é o ângulo diedro entre o meridiano de Greenwich e o meridiano do lugar, contado a partir daquele de 0° até 180° , considerada positiva para Leste e negativa para Oeste.

O conjunto de paralelos e meridianos, representado em uma carta e obtido por um sistema de projeção qualquer, é denominado de rede, quadriculado ou reticulado e constitui a base da construção da carta. Uma vez construído o quadriculado, os pontos da região a representar são localizados por suas coordenadas geográficas.

4.2.2 – Sistemas de Coordenadas Geodésicas

Mesma concepção anterior, somente que o modelo geométrico adotado para representar a Terra é o Elipsóide de Revolução.

Latitude (ϕ) de um ponto da superfície terrestre é o ângulo formado pela normal ao plano tangente à superfície do elipsóide e o plano do Equador. A latitude deste ponto corresponde ao arco da linha meridiana, medido na meridiana do lugar, que vai do plano do Equador até a linha normal que passa pelo ponto. A latitude varia de 0° até $\pm 90^\circ$, contados a partir do plano do Equador. É positiva no Hemisfério Norte e negativa no Hemisfério Sul.

Longitude (λ) de um ponto da superfície terrestre é o ângulo diedro que forma o plano meridiano que passa pelo ponto com o plano que passa pelo meridiano de origem (convencionalmente, o meridiano de Greenwich). A longitude varia de 0° até $\pm 180^\circ$, contados a partir da meridiana de origem. É positiva a leste de Greenwich e negativa a oeste de Greenwich. O sinal pode ser substituído pelas letras E (+) ou W (-). Os pontos da região a representar são localizados por suas coordenadas geodésicas.

4.2.3 – Sistema de Coordenadas Plano-retangulares UTM

Em outro sistema de coordenadas, também utilizado em Cartografia, as posições dos pontos situados na superfície terrestre não são referidas aos meridianos e aos paralelos, mas a eixos coordenados plano-retangulares; nesse caso, os pontos da superfície

terrestre são determinados por coordenadas retangulares X e Y. Essas coordenadas são relacionadas matematicamente às coordenadas geográficas, de maneira que umas podem ser convertidas nas outras e vice-versa.

O Sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) foi criado em 1569, pelo belga Gerard Kremer (Mercator), a partir de modificações efetuadas na Projeção Conforme de Gauss. Mercator fez vários mapas, dentre os quais tem-se o primeiro grande mapa do mundo para uso dos navegadores, utilizando um sistema de representação plana da Terra, cuja superfície de projeção é a de um cilindro tangente ao equador esférico.

Atualmente, a maior parte dos mapas digitais usa o Sistema UTM. A manipulação correta das informações contidas nos mapas exige alguns conhecimentos básicos deste sistema.

Como a Terra é esférica, é impossível representá-la no papel sem um sistema de projeção adequado. Qualquer sistema provoca deformações na representação. Se tentarmos planificar uma esfera plástica, ela irá apresentar rasgos e vincos na superfície. A principal vantagem do sistema UTM é a da propriedade de conformidade: os ângulos das figuras representadas não se alteram, ou seja, a forma geométrica é preservada. Outra vantagem é a facilidade de interpretação das distâncias, já que as coordenadas são expressas em metros. As distâncias apresentam deformações, mas elas são conhecidas e podem ser calculadas a cada ponto de interesse.

O uso do Sistema UTM é normalizado no Brasil para cartas com escalas entre 1:1.000.000 e 1:25.000. Não existe nenhuma normalização para escalas maiores, como 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000. Conclui-se que o uso generalizado do sistema está ligado as suas vantagens, à popularização entre grande número de profissionais e à continuidade das normas estabelecidas para a Cartografia Sistemática.

Mercator utilizou como superfície de projeção 60 cilindros transversos e secantes à superfície de referência (elipsóide de revolução), cada qual com amplitude de 6° em longitude. Seu uso é limitado entre os paralelos 80° S e 84° N. Os cilindros são distribuídos na superfície de referência, de modo a abranger os fusos de 6° de amplitude, compreendidos entre as longitudes múltiplas de 6° (... , 60° , 54° , 48° , ...), apresentando seus meridianos centrais (M.C) nas longitudes múltiplas de $6^\circ \pm 3^\circ$ (... , 57° , 51° , 45° , ...). Sobre este meridiano central (M.C), existe uma deformação linear de coeficiente $k_0 = 0,9996$. Do mesmo modo, na interseção dos cilindros com a superfície de referência — as linhas de secância — o coeficiente de deformação linear é unitário. Não existem deformações lineares nestas regiões. A **Figura 1** ilustra o anteriormente exposto.

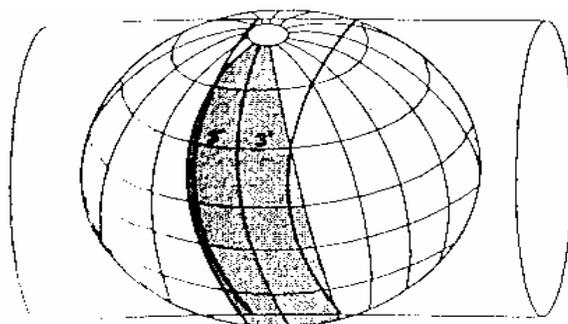


Figura 1: Superfície de projeção cilíndrica

Cada um dos fusos, chamados fusos UTM, tem origem na interseção do seu meridiano central com a linha do Equador. As coordenadas UTM destes pontos são: $x = E$ (Este) = 500.000,00 m e $y = N$ (Norte) = 10.000.000,00 m, no Hemisfério Sul, enquanto que no Hemisfério Norte $y = N = 0,00$ m.

As coordenadas UTM são obtidas a partir de coordenadas geográficas, latitude e longitude de pontos de interesse, usando fórmulas complexas. O coeficiente de deformação linear (k), que varia de 0,9996 sobre o M.C a 1,001 nos extremos do fuso, passando pelo valor unitário sobre as linhas de secância, também é obtido a partir de fórmulas, sendo função das coordenadas E e N dos pontos em questão. Isto está ilustrado pela Figura 2.

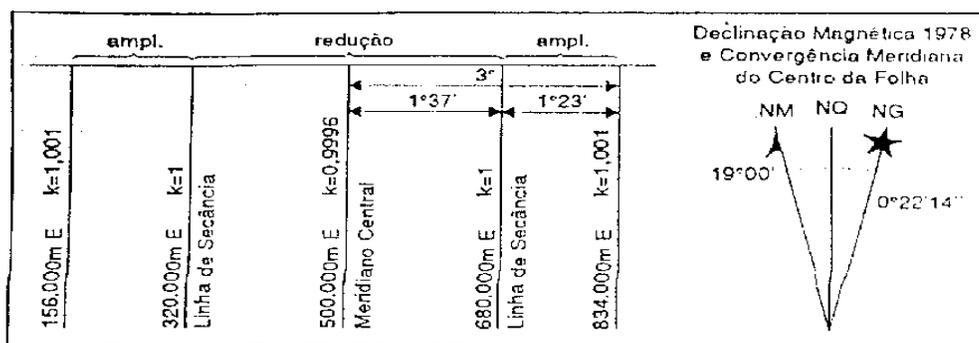


Figura 2: Variação do valor do coeficiente de deformação linear.

A Figura 3, esquematicamente apresentada a seguir, mostra a distribuição dos fusos no Brasil.

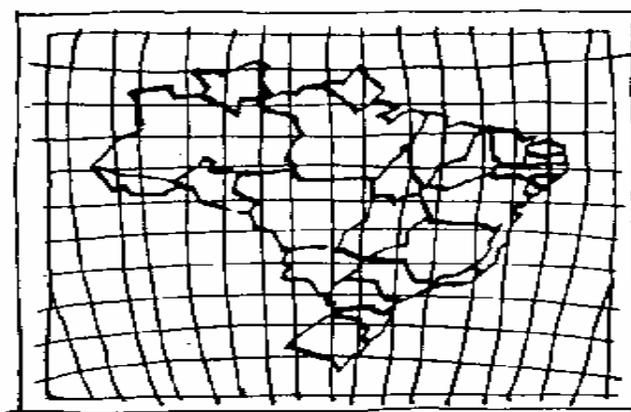


Figura 3 : os fusos UTM

A distância que separa os extremos Leste e Oeste do Brasil, Mais especificamente, entre Recife (PE) e a divisa do Amazonas com o Peru, é cerca de 4.500 km. São quase 40° de amplitude em longitude, envolvidos por oito (8) fusos UTM. Só o Estado do Amazonas, apresenta quatro (4) fusos, como se pode observar na Figura 3.

O Sistema UTM é conforme, as distâncias e as áreas apresentam deformações. A deformação de área é função exclusiva da deformação linear. Esta é função da posição ocupada pelos pontos dentro de um fuso UTM. Esta variável é conhecida como coeficiente linear e representada pela letra grega kapa (k). A orientação das figuras também pode ser considerada pseudodeformação, a não ser no meridiano central de cada fuso, onde o Norte da quadrícula UTM (NQ) coincide com o Norte Verdadeiro (NV). Em todas as demais regiões dos fusos esses dois eixos formam entre si, um ângulo denominado *convergência meridiana*, esta representada pela letra grega gama (γ).

Nos projetos de engenharia, ao manipular dados como distâncias, áreas e azimutes, obtidos a partir de coordenadas UTM, deve-se transformar, corrigir ou usar com outros elementos compatíveis. Exemplificando o exposto, imagine-se uma ligação ferroviária ligando Brasília a Cabo Frio, seguindo uma linha reta. A partir de mapas que continham representadas as duas localidades foram extraídas as suas coordenadas UTM (estas coordenadas foram extraídas graficamente de uma carta em escala 1:25.000, por isso, tem apenas caráter ilustrativo), apresentadas a seguir:

PONTO	E (m)	N(m)
BRASÍLIA	188.460.952	8.256.565.212
CABO FRIO	805.153.040	7.458.415.965

É possível calcular imediatamente a distância que as separa, assim como o valor do azimute da direção Brasília – Cabo Frio:

- Distância (UTM) = 1.008,6 km
- Az (Brasília—Cabo Frio) = 322°18'30,39" SWNE (contado do Sul por Oeste).

Calculando-se o valor correspondente ao coeficiente de deformação linear médio desta seção, pode-se obter a distância real entre as duas localidades, ou seja:

- Aa distância corrigida (campo) = 1.009,4 km.

Calculando-se o valor da convergência meridiana, para a Estação Brasília, e aplicando-o sobre o azimute, ter-se-á:

- Az (campo) = 323°05'53.50" SWNE

Caso não aplicasse estas correções, a suposta ligação ferroviária seria concluída nas proximidades da cidade de Macaé, pouco ao Norte de Cabo Frio.

Também devem ser tomados cuidados ao trabalhar com mapas informatizados, gerados em UTM e manipulados por programa CAD. As coordenadas planas UTM se repetem a cada fuso transposto e a individualização de uma posição é dada pela longitude do meridiano central em cada fuso.

Exemplificando: suponha-se que uma empresa instale uma torre de transmissão de sinais de telefonia numa localidade situada nas coordenadas: E = 753.852,673 m e N = 7.543.917,438 m. Com estes valores encontrar-se-ão três pontos

específicos do Brasil: Nova Friburgo (RJ), Jaú (SP) e Nova Fátima (MS). O exemplificado revela a necessidade de especificar-se o meridiano central do fuso. Neste caso, ter-se-á, respectivamente, os meridianos centrais com valores iguais a 45° , 51° e 57° .

Existem várias outras situações em que o uso do sistema é inadequado. A escolha incorreta das coordenadas UTM numa obra de engenharia pode ter conseqüências muito desastrosas.

4.2.4 – Sistema topográfico de coordenadas plano-retangulares

É um sistema de coordenadas segundo o qual os pontos topográficos têm sua posição identificada no plano euclidiano ou no espaço euclidiano, mediante um sistema de referência plano-ortogonal: qualquer ponto fica perfeitamente localizado nas plantas topográficas por suas coordenadas cartesianas, quer no plano euclidiano (X, Y) , quer no espaço euclidiano (X, Y, Z) , onde a coordenada Z representa a altura do ponto em relação ao plano horizontal XOY (denominada de cota ou de altitude, dependendo do referencial de nível utilizado). Pode-se também representar a posição de um ponto qualquer da superfície topográfica por suas coordenadas semi-polares ou cilíndricas (r, θ, Z) , onde r e θ são as coordenadas polares do ponto representado (projeção ortogonal do ponto sobre o plano euclidiano XOY).

4.3 – Orientação dos sistemas de representação cartográfica

Os sistemas de coordenadas necessitam serem orientados para possibilitar uma articulação com uma rede de posicionamento georeferenciada, definida a partir de medidas geodésicas.

4.3.1 Orientação geográfica: observações astronômicas

Os sistemas de coordenadas podem ser orientados em relação aos meridianos geográficos, mediante a realização de observações astronômicas. Vários são os processos de determinação da direção da meridiana geográfica ou verdadeira de um local. Dentre estes processos, o mais utilizado é denominado de *Método da Distância Zenital Absoluta do Sol*, o qual consiste em observar o Sol, numa posição qualquer de sua trajetória, medindo a distância zenital (Z). O azimute verdadeiro do astro é calculado resolvendo o triângulo de posição, no qual se conhecem a co-latitute, distância polar e distância zenital.

4.4 – Orientação magnética: bússola ou declinatória

Os sistemas de coordenadas podem ser orientados em relação aos meridianos magnéticos, mediante a utilização de uma bússola ou com a declinatória do teodolito. Este tipo de orientação deve somente ser empregado para medições topográficas cujos resultados irão dar suporte para projetos de pequeno porte de obras de engenharia e de arquitetura. Para obras de engenharia de grande porte, tais como sistemas de comunicação, barragens, canais, sistema de adução para abastecimento de água, dentre outras, deve-se dar, preferencialmente, orientação geográfica aos levantamentos topográficos, em virtude dos conhecidos problemas relacionados com a orientação magnética.

5 ANEXO

Apresenta-se na **Figura 4** dada abaixo as superfícies desenvolvíveis no plano, que servem de superfície de projeção para a representação cartográfica da superfície topográfica e dos detalhes.

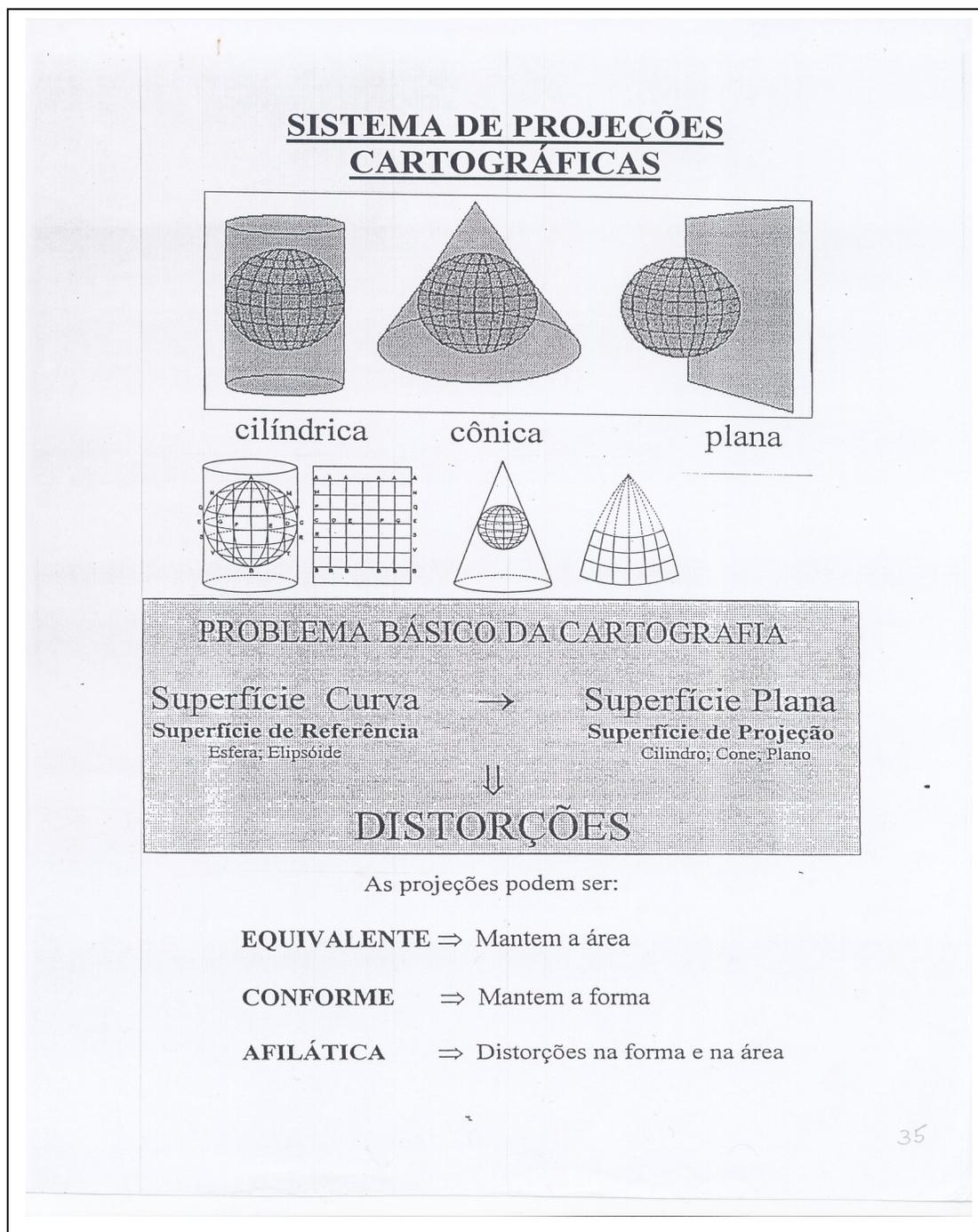


Figura 4: Problema básico da Cartografia