

## Projeções Cartográficas

**Mapas** são feitos por muitas razões e variam em conteúdo. A história da civilização foi ilustrada por meio de mapas: mapas de batalha feitos por soldados, mapas exploratórios feitos por conquistadores e desbravadores, mapas temáticos por cientistas.

**Mapas** são o mundo reduzido a pontos, linhas e áreas e usam uma variedade de recursos visuais: tamanho, textura ou padrão, cor, orientação e principalmente, a forma definida pela sua projeção.

Usa-se um **Sistema de Projeção Cartográfica** quando é necessário levar em conta a **curvatura da terra** em planimetria e quando a região a levantar, mesmo sendo reduzida, tiver que ser ligada com regiões limítrofes.

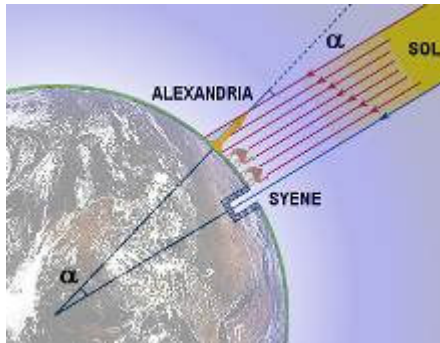
Então, o primeiro passo para confecção de qualquer mapa tem que começar com a escolha de uma **projeção** ... e há dúzias para escolher.



- [Forma da Terra](#)
- [Localização de pontos na superfície terrestre](#)
- [Meridiano de Greenwich](#)
- [Projeção cartográfica](#)
- [Classificação das projeções](#)
- [Propriedades das projeções](#)
- [Exemplos de projeções](#)
- [Universal transversa de Mercator](#)

## Forma da Terra

Até o **século IV A.C.**, aproximadamente, a Terra era considerada plana. Os sábios da antigüidade pensavam que a forma do planeta era **retangular**, circundada pelos mares. Acreditavam que nos limites das águas com o espaço, habitavam seres e criaturas mitológicas.

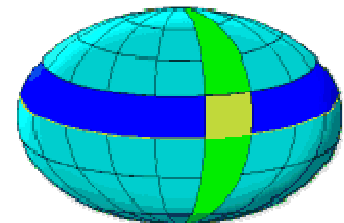


Eratóstenes

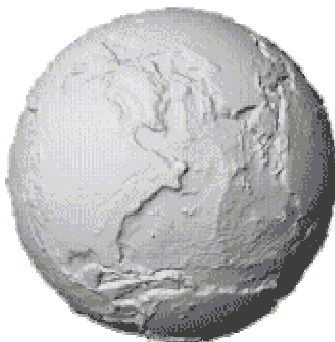
Já no **século III A.C.**, **Eratóstenes** provou sua esfericidade, calculando a circunferência da Terra a partir da diferença de latitudes ente **Syene** e **Alexandria**. [Clique aqui](#) para mais detalhes sobre a experiência de Eratóstenes. (Anexo 1)

Durante muitos séculos a Terra foi considerada esférica sem causar maiores problemas para a navegação, que usava métodos astronômicos para a **determinação de rotas**. Ainda, hoje, a forma esférica é útil em trabalhos (de áreas não muito grandes), o que implica grandes **simplificações nos cálculos**.

Por volta de **1700**, com a evolução de métodos astrogeodésicos, equipamentos e os enunciados das **leis de Kepler**, surgiram as primeiras teorias e experimentos tratando a Terra como **esférica**, mas com certo **achatamento nos polos**. Esta superfície era de difícil desenvolvimento matemático, razão pela qual adotaram-se **elipsóides de revolução** para modelá-la. O **elipsóide de revolução** é a figura resultante da rotação de uma elipse em torno de um de seus eixos.



Elipsóide de Revolução



Geóide

Com o desenvolvimento tecnológico, os equipamentos tornaram-se muito sofisticados e precisos, os métodos evoluíram e **centenas de elipsóides** foram desenvolvidos de modo a representar a Terra o mais fielmente possível.

Na **Geodésia**, a determinação de **coordenadas geodésicas** de pontos é feita sobre uma superfície **elipsóidica** que se aproxima da forma da terra. O **elipsóide** é uma superfície regular, matematicamente definida e com dimensões específicas.

A **Geodésia física**, por meio de estudos gravimétricos, esboçava uma nova forma à Terra, denominada **Geóide**. Por outro lado, o geóide coincide com a superfície pela qual o **nível médio dos oceanos** se prolongaria pelos continentes ajustando-se ao efeito combinado da **força gravitacional** e a **força centrífuga** da rotação da terra.

Como resultado da distribuição desigual da massa da terra, a superfície geoidal é irregular e, sendo o elipsóide uma superfície regular, os dois não coincidirão. As diferenças entre as superfícies são chamadas **ondulações geoidais** (N).

O **geóide** é uma superfície ao longo da qual a **força de gravidade** é igual em todos os pontos e a direção da força de gravidade sempre é perpendicular. Isto é significativo porque instrumentos de medição que possuem dispositivos niveladores são comumente usados em medidas geodésicas. Quando corretamente nivelado, o eixo vertical do instrumento coincide com a direção de gravidade e é perpendicular ao geóide.



Ondulação Geoidal

O ângulo entre a linha absoluta que é perpendicular ao geóide (chamada de **vertical do lugar**) e a perpendicular ao elipsóide (chamada de **normal**) é definido como a **deflexão da vertical**.

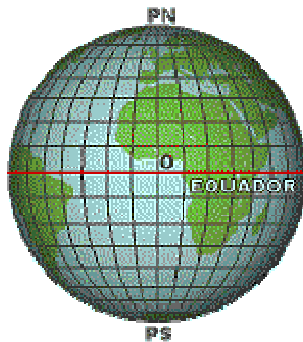
O **Geóide** também é um **modelo matemático** de desenvolvimento complexo, pois sua forma exata depende de características gravimétricas. Assim, novamente a adoção do **elipsóide de revolução** para a sua representação foi conveniente, combinado ao parâmetro **ondulação geoidal** (N).

### Localização de Pontos na Superfície Terrestre

Constantemente, os usuários de mapas têm a necessidade da **determinação de coordenadas** ou da **localização** de pontos na superfície terrestre, vinculados ao mapa em uso. São vários os processos utilizados para esse fim. Os processos mais importantes são os que empregam as **coordenadas geográficas**.

### Coordenadas Geográficas

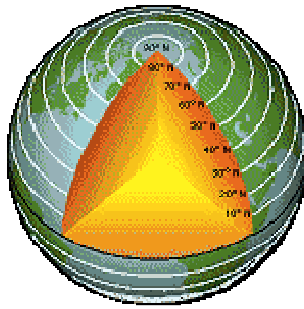
Para compreendermos essas coordenadas devemos estar familiarizados com as noções de **latitude** e **longitude** sobre o globo terrestre.



Equador

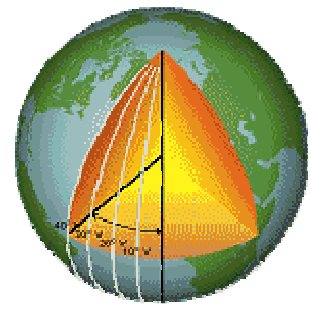
Se **O** representar o centro da Terra e **PN-PS** a linha dos polos, podemos definir:

- O **equador** é o círculo imaginário determinado na superfície terrestre pela interseção desta com um plano perpendicular à linha dos polos, passando pelo centro da Terra.
- A paralela ao plano do equador determinará a seção que é chamada **paralelo de latitude**. Logo, **paralelos de latitude** ou simplesmente **paralelos** são todos os círculos determinados pelas interseções com a superfície terrestre de planos paralelos ao plano do **equador**.



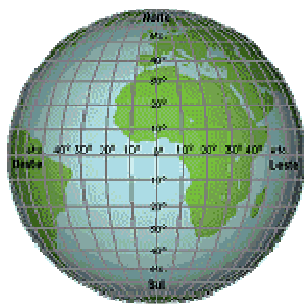
Latitude

A seção formada pela interseção da superfície terrestre com um plano que passe por um ponto na superfície terrestre e pelos pólos (PN e PS) determinando na superfície da Terra a elipse **ponto-PN-PS** é chamada **meridiano de longitude**. Assim, **meridianos de longitude** ou **meridianos**, são os traços feitos pelas interseções de todos os planos que contêm os pólos com a superfície terrestre.



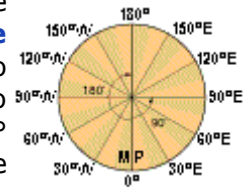
Longitude

Um ponto na superfície terrestre (interseção de um paralelo e de um meridiano) será definido em **coordenadas geográficas** pela **latitude do paralelo** e pela **longitude do semi-meridiano** que passam por esse ponto.

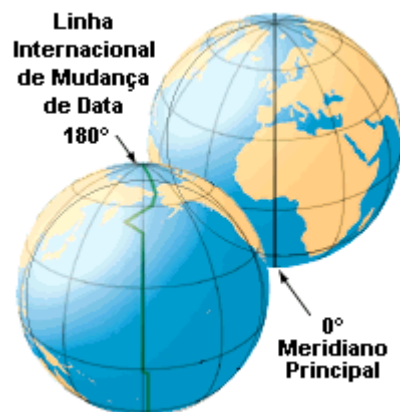
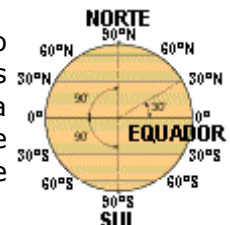


Coordenadas Geográficas

O **meridiano de longitude** mais famoso é o **Primeiro Meridiano** que passa sobre o **Observatório de Greenwich** na Inglaterra. Ao primeiro meridiano é arbitrado o valor de  $0^\circ$ . A partir daí, são  $180^\circ$  de longitude a leste (direita) e  $180^\circ$  de longitude para o oeste (esquerda) do Meridiano Principal.



A linha do **equador** divide o globo em duas partes iguais (Hemisférios Norte e Sul). O **equador** está na latitude  $0^\circ$ . Daí, são  $90^\circ$  de latitude ao norte (acima) e  $90^\circ$  de latitude para o sul (abaixo) do equador.



Meridiano Principal

Uma das linhas famosas de latitude sul do equador é o **Trópico de Capricórnio** ( $23^\circ30' S$ ) e o **Círculo Antártico** ( $66^\circ30' S$ ). Ao Norte do equador está o **Trópico de Câncer** ( $23^\circ30' N$ ) e o **Círculo Ártico** ( $66^\circ30' N$ ).

Além do Primeiro Meridiano, Meridiano Principal ou **Meridiano de Greenwich**, outro meridiano de importância para um Sistema de Coordenadas Geográficas é o **Meridiano  $180^\circ$**  também conhecido como **Linha Internacional de Mudança de Data**. A leste deste Meridiano é o dia seguinte ao dia a oeste do mesmo.

## Meridiano de Greenwich

### Por que o Primeiro Meridiano (Longitude 0°) passa por Greenwich?

O **Primeiro Meridiano** é uma linha imaginária que liga o Pólo Norte ao Pólo Sul e **Greenwich** é uma cidade inglesa localizada nas margens do **Rio Tâmisa**.

Nesta cidade, foi construído o **Observatório Real de Greenwich** em 1675 por ordem do Rei Charles II. No Observatório, o principal telescópio era chamado de *The Primary Transit*. O meridiano que passava sobre este instrumento foi adotado como o **meridiano de referência** para a Grã-Bretanha.



Observatório de Greenwich

Em **outubro de 1884**, 41 delegados de 25 nações se encontraram em Washington-DC nos Estados Unidos para a **Internacional Meridian Conference**. Na Conferência, os seguintes princípios foram estabelecidos:

- Era necessário adotar um único **meridiano mundial** para substituir os inúmeros que já estavam em uso;
- O Meridiano que passava pelo **Observatório no Greenwich** seria o **Primeiro Meridiano**;
- Que a longitude seria calculada de leste para oeste a partir deste meridiano até 180°;
- Todos os países adotariam um **dia universal**;
- O **dia universal** seria um Dia Solar Médio e começaria à meia-noite em Greenwich contado no formato de 0 a 24 horas;
- Os dias náuticos e astronômicos em todos lugares começariam à meia-noite;
- Vários estudos técnicos seriam feitos para regulamentar a aplicação do sistema decimal para a divisão de tempo e espaço.

A **Resolução 2**, fixando o **Meridiano de Greenwich** foi aprovada por 22 votos a 1 (San Domingo votou contra), **França** e **Brasil** se abstiveram.



Primary transit

Houve muitas linhas meridianas consideradas como Meridiano Principal. Em 1881, eram consideradas cerca de 14 linhas meridianas para serem utilizadas em mapas e orientação incluindo cerca de 9 linhas só em **Greenwich**.

No pátio do Observatório existem algumas **barras de metal** fixadas no solo e na parede que marcam um dos locais (talvez o mais famoso) da linha do primeiro meridiano que passa pelo *Transit*.



Primeiro meridiano

Na década de 50, o Observatório foi transferido para **Sussex** devido à interferência da poluição e luzes de Londres nas observações estelares. Em 1990, o Observatório foi mais uma vez transferido para a **Universidade de Cambridge**. A transferência do observatório não modificou a referência meridiana que permanece no seu local original.

## Projeção Cartográfica

A Terra é uma esfera (ou mais corretamente, um esferóide) e um globo é a melhor representação ou **modelo da superfície** da Terra. Um mapa, por outro lado, tem que representar com tanta precisão quanto possível, a Terra **tridimensional** em uma superfície **bidimensional** (plana).

Na confecção de um mapa é importante assegurar uma relação conhecida entre as verdadeiras posições na superfície da Terra e os pontos correspondentes no mapa. Então, o primeiro passo para confecção de qualquer mapa é a escolha de uma **Projeção Cartográfica** ... e há dúzias para escolher.

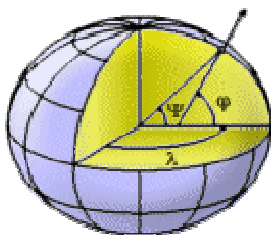
### O que é a Projeção de um Mapa ?

O processo de sistematicamente transformar partes da Terra esférica para que sejam representadas em uma superfície plana mantendo as relações espaciais é chamado de **Projeção Cartográfica**. Este processo é obtido pelo uso de **Geometria** e, mais comumente, por meio de **fórmulas matemáticas**.

### Desenvolvimento de uma Projeção Cartográfica

O termo **projeção** vem da noção de colocar uma **fonte de luz** dentro de um **globo transparente** e projetar as sombras dos meridianos, paralelos e outras características geográficas sobre uma anteparo colocada **tangencialmente** ao globo. Várias projeções úteis podem ser construídas deste modo e são chamadas de **projeções perspectivas**. Projeções perspectivas diferentes podem ser construídas apenas mudando a posição da fonte de luz.

O processo de produzir um mapa plano de uma superfície pode ser entendido como uma sucessão de transformações. As irregularidades na forma da terra tornam difícil este processo de **modelagem matemática**. Assim o primeiro passo no processo é modelar a Terra como um **objeto sólido mais simples** que tem a mesma área de superfície.

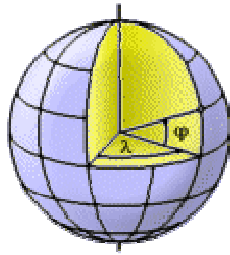


Elipsóide

Para mapas em **grandes escalas** que mostram uma porção pequena da superfície terrestre com grande detalhe, a Terra é modelada como um **elipsóide** que dá uma melhor aproximação à verdadeira forma da Terra que uma esfera perfeita.

Organismos reponsáveis pela cartografia oficial nos diversos países usam elipsóides diferentes, ajustando os raios polar e equatorial (semi-eixos) para os melhores valores da região de interesse. Clique sobre o link para visualizar uma tabela contendo parâmetros dos elipsóides mais comuns utilizados em diversos países.

Veja a [tabela de elipsóides](#) mais comuns



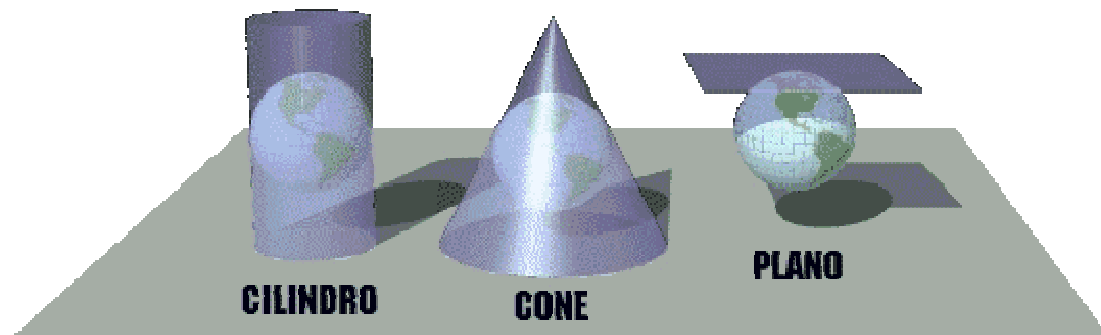
Esferóide

Para mapas em **pequenas escalas** que mostram uma área grande com pequeno detalhe, um modelo **esférico** é usado por ser matematicamente mais simples e porque em escalas pequenas, a distorção devido às irregularidades na forma da Terra pode ser consideradas desprezíveis.

Em termos geométricos, a Terra como um **esferóide** ou **elipsóide** (uma esfera ligeiramente achatada nos pólos) é considerada uma superfície que não pode ser desenvolvida, porque não importa como o **esferóide** ou **elipsóide** seja dividido, ele não pode ser **planificado**.

Selecionado o **modelo matemático** apropriado, o próximo passo é reduzir o tamanho do modelo para a escala desejada do mapa. A escala pode ser calculada como a relação entre o raio do modelo e o raio da Terra (aproximadamente 6.300 km). Porém, por causa da distorção introduzida na representação de um esferóide ou elipsóide em um plano, a escala do mapa variará de lugar para lugar.

O passo final no processo é projetar o **reticulado** (meridianos e paralelos) sobre a superfície de desenvolvimento. Qualquer superfície que pode ser planificada é uma **superfície de desenvolvimento**. Superfícies e métodos de projeções diferentes são usados para obter mapas com propriedades geométricas diferentes.



## Tabela de Elipsóides

Nome Popular	Semi-Eixo Maior(m)	Achatamento (1/...)
Airy 1830	6377563,40	299,324965
Airy Modificado	6377340,19	299,324965
Australian National (KAU63 ou SA69)	6378160,00	298,250000
Bessel 1841	6377397,16	299,152813
Clarke 1858	6378293,65	294,260000
Clarke 1866	6378206,40	294,978698
Clarke 1880	6378249,15	293,465000
Clarke 1880 (variação A)	6378249,20	293,465980
Clarke 1880 (variação B)	6378249,15	293,466308
Danish	6377104,00	298,805359
Delambre 1810	6376985,07	308,640000
Everest 1830 (Indiano)	6377276,35	300,801700
Everest Modificado	6377304,06	300,801700
Everest Timbali	6377298,56	300,801700
Fischer 1960 (Mercury)	6378166,00	298,300000
Fischer 1968 (Mercury Modificado)	6378150,00	298,300000
Fischer Modificado 1960 (Sul Ásia)	6378155,00	298,300000
Geodetic Reference System 1967	6378160,00	298,247167
Geodetic Reference System 1980	6378137,00	298,257222
Hayford 1909	6378388,00	297,000000
Heiskanen 1929	6378400,00	298,195400
Helmert 1907	6378200,00	298,300000
Hough 1956	6378270,00	297,000000
Internacional 1924	6378388,00	297,000000
IUGG 1967	6378160,00	298,250000
Kaula 1963 (SA69)	6378160,00	298,250000
Krassovsky	6378245,00	298,300000
South American 1969	6378160,00	298,250000
Struve 1860	6378298,30	294,730000
War Office 1924	6378300,58	296,000000
World Geodetic System 1960	6378165,00	298,300000
World Geodetic System 1966	6378145,00	298,250000
World Geodetic System 1972	6378135,00	298,260000
World Geodetic System 1984 (WGS-84)	6378137,00	298,257224

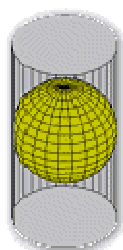


## Classificação das Projeções

A maioria das projeções são derivadas de **fórmulas matemáticas**, mas algumas são mais fáceis de visualizar quando projetadas em uma superfície de desenvolvimento.

Embora um número infinito de projeções seja teoricamente possível, foram descritas aproximadamente **400 projeções** na literatura cartográfica e só algumas dezenas destas são extensamente usadas. Estabelecer uma classificação de projeções serve como auxílio para entender as suas propriedades e para selecionar uma projeção apropriada para um determinado propósito.

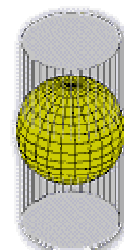
As projeções podem ser classificadas em termos das propriedades geométricas de representação e pela **superfície geométrica** da qual elas são derivadas. Algumas das projeções mais simples são apoiadas sobre **formas geométricas** que podem ser planificadas sem deformar suas superfícies. Como exemplos de formas geométricas que refletem estas propriedades temos cones, cilindros e planos. Assim, temos as projeções [cônica](#), [cilíndrica](#) e [planar](#) (azimutal ou zenital).



TANGENTE

Estas formas geométricas podem ser **tangentes** ou **secantes** ao **elipsóide** ou **esferóide**. No caso da **tangente**, o cone, cilindro ou o plano toca a Terra em uma única linha ou ponto. No caso da **secante**, o cone ou cilindro intercepta ou corta a Terra em mais de um local.

Seja **tangente** ou **secante**, a localização deste contato é importante porque define a linha ou ponto de **menor distorção** na Projeção. Nas projeções **cônicas** e **cilíndricas**, o eixo destas formas normalmente coincide com o eixo principal do **elipsóide** (Terra).



SECANTE

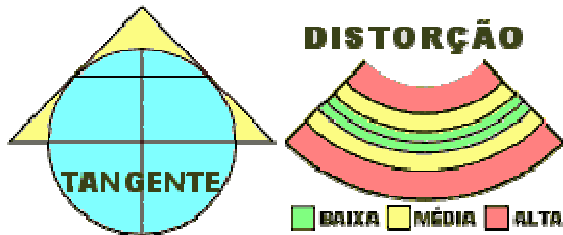
As outras projeções que não podem ser relacionadas facilmente a estas três superfícies são definidas como **pseudo**, **modificadas** ou **individual** (ou única).

Assim, temos as projeções [cônica](#), [cilíndrica](#) e [planar](#) (azimutal ou zenital).

### Projeção Cônica

- [Projeção Cônica](#)
  - [Projeção Cônica Eqüidistante](#)
  - [Projeção Cônica Equivalente](#)
  - [Projeção Cônica Conforme](#)

Na projeção cônica, a superfície terrestre é projetada sobre um cone tangente ou secante ao elipsóide que então é longitudinalmente cortado e planificado.

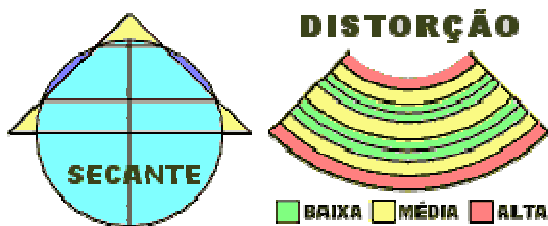


Projeção Cônica Tangente

Os paralelos (linhas de latitude) são representados por **arcos circulares concêntricos** e os meridianos (linhas de longitude) por **retas radiais** igualmente espaçadas.

Os paralelos estão representados em escala. A distorção é menor em uma faixa estreita ao longo do paralelo aumentando ao se distanciar do mesmo.

Este tipo de projeção é geralmente usado para representação de regiões de latitude média (entre  $+25^\circ$  e  $+65^\circ$ ,  $-25^\circ$  e  $-65^\circ$  de latitude). O resultado é uma menor distorção na forma original da superfície representada



Projeção Cônica Secante

Os paralelos localizados entre os dois paralelos de referência (secantes) são menores que seu verdadeiro comprimento no esferóide, enquanto paralelos externos aos de referência são maiores.

O uso da secância na representação permite uma **melhor distribuição da distorção** e reduz a mesma nas proximidades do norte e sul do mapa.

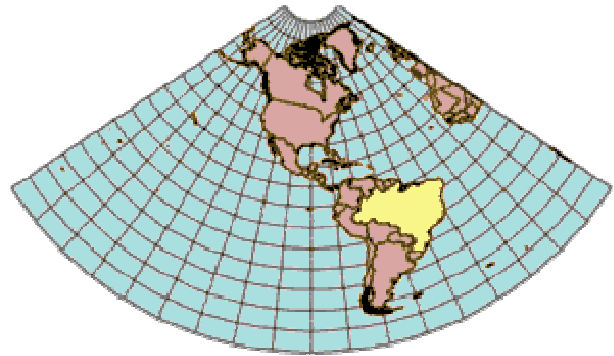
**Projeções cônicas** geralmente representam regiões de **latitude média** ou os hemisférios norte ou sul. Escolhendo um paralelo no centro da região de interesse (tangência), a distorção das características geométricas pode ser reduzida. Usando a secância, a distorção pode ser reduzida mais ainda desde que os dois paralelos escolhidos compreendam dois terços da área a ser mapeada.

## Projeção Cônica Equidistante

As **projeções cônicas equidistantes** podem ser construídas usando um (tangente) ou dois (secante) paralelos de referência.

São obtidas ajustando o espaçamento entre paralelos de forma que sejam espaçados **igualmente** ao longo dos meridianos e a distância entre os paralelos no mapa seja igual ao comprimento de arco de paralelo no esferóide.

As distâncias medidas ao longo dos meridianos e ao longo dos paralelos de referência estão em escala, mas outras distâncias são distorcidas.



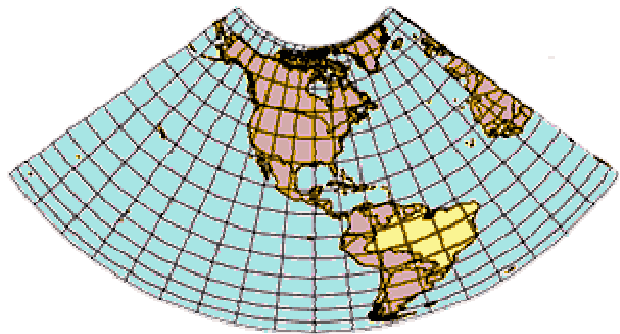
Projeção de L'Isles

## Projeção Cônica Equivalente

As **projeções cônicas equivalentes** modificam o espaçamento dos paralelos para manter a **escala constante**. A projeção de Alber é construída modificando o espaçamento dos paralelos para obter uma projeção equivalente.

Os meridianos são representados da mesma maneira que na projeção cônica tangente, mas o espaçamento entre paralelos é ajustado para permitir a representação de superfícies com **pequena distorção de distâncias e formas**.

A projeção de **Alber** é bastante usada nos Estados Unidos como a base para sistemas de coordenadas usadas nos mapas topográficos.



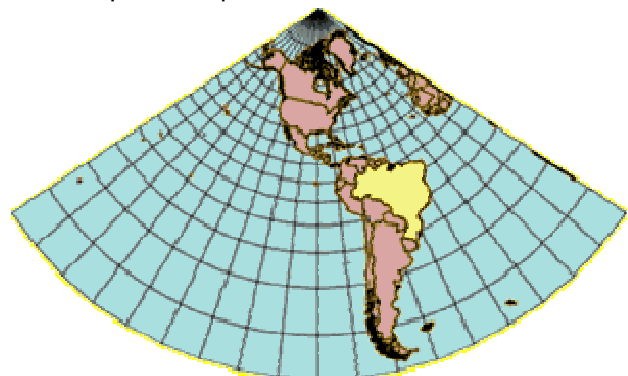
Projeção de Alber

## Projeção Cônica Conforme

A **projeção cônica conforme** permitem que em qualquer ponto, a escala seja **constante** em todas as direções. Como resultado, a forma de áreas pequenas são representadas com distorção mínima, mas as formas de áreas maiores são distorcidas por causa das mudanças de escala ponto a ponto.

A projeção é construída ajustando o espaçamento dos paralelos de forma que a escala na direção leste-oeste seja exatamente a mesma na direção norte-sul.

O uso de dois paralelos de referência (secante) é mais comum porque permite uma distribuição melhor da distorção do mapa. A projeção de **Lambert** é bastante usada em mapas no Canadá.

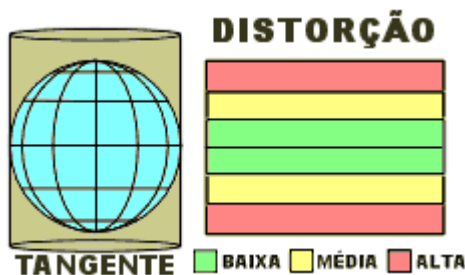


Projeção de Lambert

## Projeção Cilíndrica

- [Projeções cilíndricas](#)
  - [Projeção Cilíndrica Perspectiva](#)
  - [Projeção Cilíndrica Equivalente](#)
  - [Projeção Cilíndrica Equidistante](#)
  - [Projeção Cilíndrica Conforme](#)

Na projeção cilíndrica, a superfície terrestre é projetada sobre um **cilindro tangente** ou **secante** ao elipsóide que então é longitudinalmente cortado e planificado.

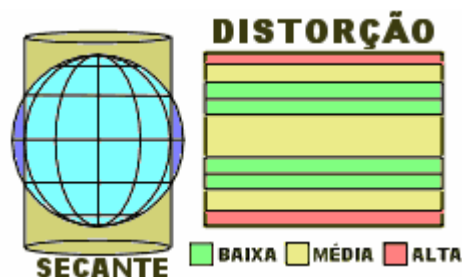


Projeção Cilíndrica Tangente

A **Projeção Cilíndrica Normal** assume que o cilindro é tangente ao elipsóide ao longo do Equador. Nesta orientação, o reticulado de meridianos e paralelos aparece como um grid retangular.

**Meridianos de longitude** são linhas retas, igualmente espaçadas, e perpendiculares ao Equador. **Paralelos de latitude** são representados como linhas retas paralelas ao Equador e tendo o mesmo comprimento do Equador.

No caso **tangente**, o Equador está representado em escala e a distorção aumenta a medida que se distancia do Equador. Este tipo de projeção é geralmente usado para representação de regiões de latitude média-alta (entre  $-70^\circ$  e  $+70^\circ$  de latitude).



Projeção Cilíndrica Secante

Os paralelos localizados entre os dois paralelos de referência (secantes) são menores que seu verdadeiro comprimento no esferóide, enquanto paralelos externos aos de referência são maiores.

O uso da secância na representação permite uma **melhor distribuição da distorção** e reduz a mesma nas proximidades do norte e sul do mapa.

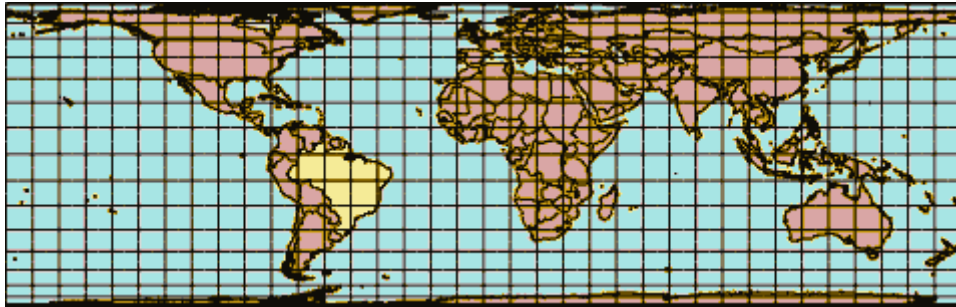
**Projeções cilíndricas** são geralmente usadas para mapas de toda a superfície terrestre, uma vez que tendem a evitar a grande distorção que acontece em projeções cônicas e azimutais em áreas que estão distantes do ponto de contato.

Em orientação normal, projeções cilíndricas apresentam uma **faixa estreita** ao longo do Equador na qual a distorção de todas as características geométricas é minimizada sendo apropriada para representação de regiões tropicais. Este padrão de distorção também faz que as **projeções cilíndricas transversas** sejam ideais para mapear áreas ao longo da direção norte-sul, mas com pouca extensão leste-oeste.

## Projeção Cilíndrica Perspectiva

A **projeção cilíndrica ortográfica** assume que a fonte de luz está localizada a uma distância **infinita** da superfície de projeção, resultando em raios paralelos de luz.

O espaçamento entre os paralelos diminui conforme se distancia do Equador. Porém, por causa da grande distorção das formas, outros tipos de projeção são preferidos para representação das regiões polares principalmente.



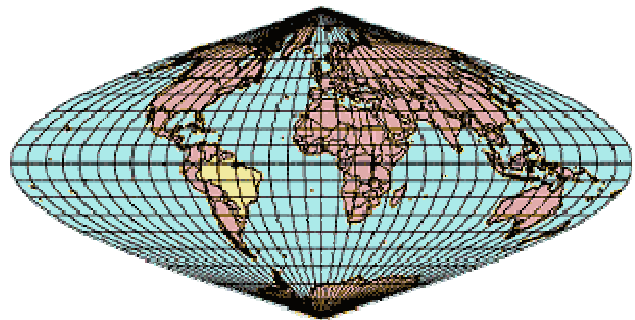
Projeção Ortográfica

Outro exemplo de projeção cilíndrica perspectiva é **projeção cilíndrica gnômonica** que ilustra o padrão básico de projeções cilíndricas normais. Os princípios são iguais aos da **projeção azimutal gnômônica**. Uma fonte de luz é posicionada no **centro** do esferóide e projeta o reticulado na superfície de projeção que é um cilindro tangente ao esferóide ao longo do Equador.

## Projeção Cilíndrica Equivalente

A **projeção cilíndrica ortográfica** é a projeção **equivalente** cilíndrica básica. Porém, por causa da grande distorção de formas nas regiões polares, não é a melhor escolha para representar estas regiões. Por isto, foram desenvolvidas projeções alternativas chamadas projeções **pseudo-cilíndricas** uma vez que são desenvolvidas a partir das projeções cilíndricas perspectiva simplesmente ajustando o espaçamento dos paralelos.

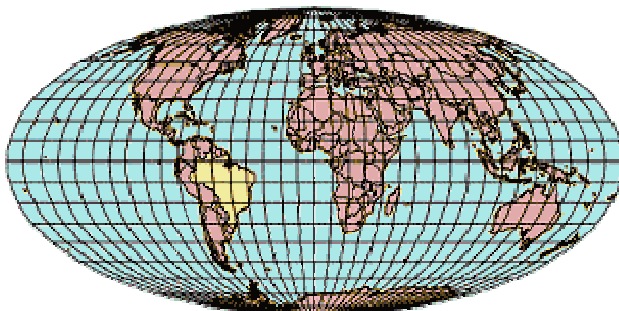
A **projeção sinusoidal** pode ser construída a partir da projeção cilíndrica equidistante através de **mudança de escala** dos paralelos de latitude de forma que sejam representados em escala. Nesta projeção, o meridiano central é uma linha direta com metade do comprimento do Equador.



Projeção Sinusoidal

Os outros meridianos são linhas curvas, igualmente espaçadas ao longo dos paralelos. O resultado é uma projeção equivalente.

A distorção nesta projeção é mínima na interseção do meridiano central com o Equador e geralmente aumenta a medida que distancia-se deste ponto. Isto torna a projeção apropriada para mapas que representam um **único continente**.



A **projeção de Mollweide** é outra projeção equivalente convencional. Nesta projeção, a Terra inteira é representada dentro de uma **elipse**. Paralelos de latitude são linhas retas paralelas ao Equador. O espaçamento dos paralelos ao longo do meridiano central é calculado para assegurar que todas as áreas

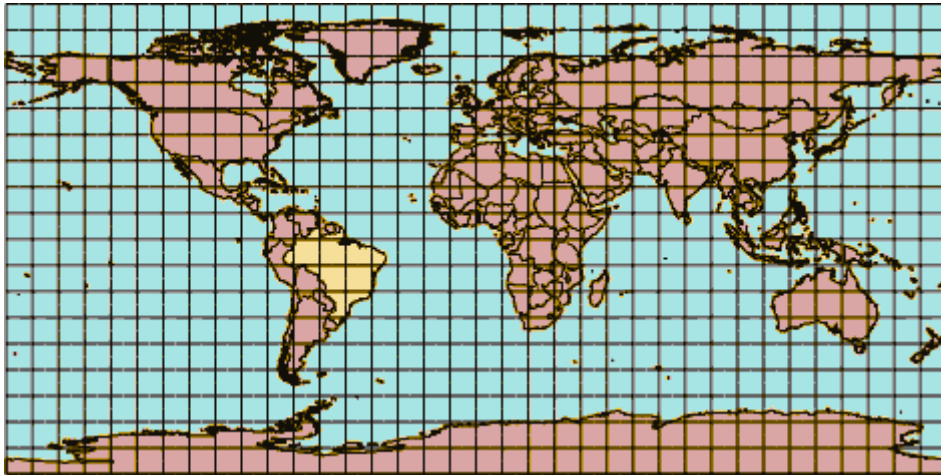
### Projeção Mollweide

no mapa sejam iguais às áreas correspondentes no **esferóide**. Como a projeção Sinusoidal, a distorção é mínima perto da interseção do Equador com o meridiano central e aumenta na direção das extremidades do mapa.

## Projeção Cilíndrica Equidistante

Como no caso das projeções azimutais, o espaçamento entre paralelos pode ser modificado para produzir uma **projeção eqüidistante**. Nesta projeção, paralelos de latitude são espaçados igualmente ao longo de meridianos sendo a distância entre paralelos na projeção igual ao comprimento de arco no esferóide.

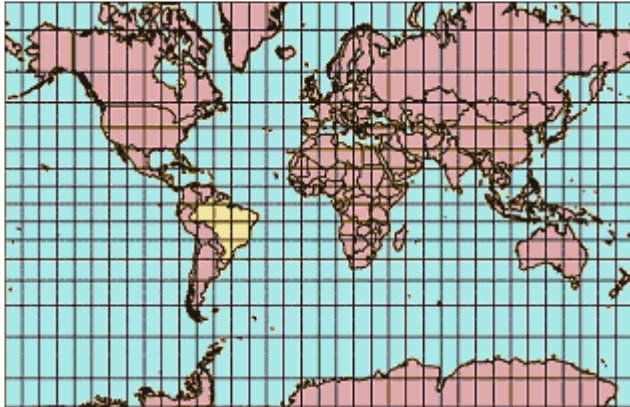
Distâncias medidas ao longo do Equador (caso tangente) ou paralelo de referência (caso secante) e distâncias medidas ao longo de qualquer meridiano estão representadas em escala. A **projeção eqüidistante cilíndrica** também é chamada de projeção equiretangular.



Projeção Equiretangular

## Projeção Cilíndrica Conforme

A **projeção de Mercator** é uma projeção conforme. Em uma projeção conforme, a escala é constante em todas as direções para cada ponto, mas varia de ponto para ponto no mapa. Nos paralelos das projeções cilíndricas, a escala aumenta na direção leste-oeste a medida que se aproxima dos polos.



Projeção Mollweide

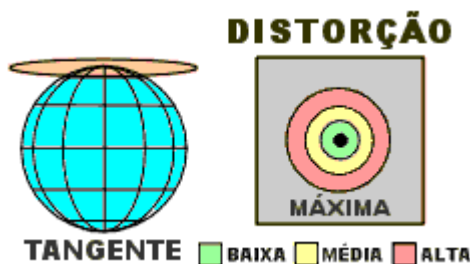
No caso tangente, só o Equador é representado em escala. Os outros paralelos são mais longos no mapa do que no esferóide. No caso extremo, os polos estão sujeitos a um **grau infinito de distorção** uma vez que estão representados em uma linha que tem o mesmo comprimento do Equador, embora seja um ponto no esferóide.

Se a escala leste-oeste aumenta quando aproxima-se dos polos, é necessário aumentar a escala norte-sul de igual valor para obter uma projeção conforme. Esta projeção foi definida por **Gerhardus Mercator** em 1569 como uma ajuda para navegação. Sua propriedade especial é representar **loxodrômicas** como linhas retas no mapa.

## Projeção Azimutal

- [Projeção Azimutal](#)
  - [Projeção Azimutal Perspectiva](#)
  - [Projeção Azimutal Equivalente](#)
  - [Projeção Azimutal Equidistante](#)

**Projeções Azimutais** são projeções sobre um **plano tangente** ao esferóide em um ponto. No tipo normal (ou polar), o ponto de tangência representa o pólo norte ou sul e os meridianos de longitude são linhas retas radiais que partem deste ponto enquanto paralelos de latitude aparecem como círculos concêntricos.



Projeção Azimutal Tangente

A distorção no mapa aumenta conforme se distancia do ponto de tangência. Considerando que distorção é **mínima perto do ponto de tangência**, as projeções azimutais são apropriadas para representar áreas que têm **extensões aproximadamente iguais** nas direções norte-sul ou leste-oeste.



Projeção Azimutal Secante

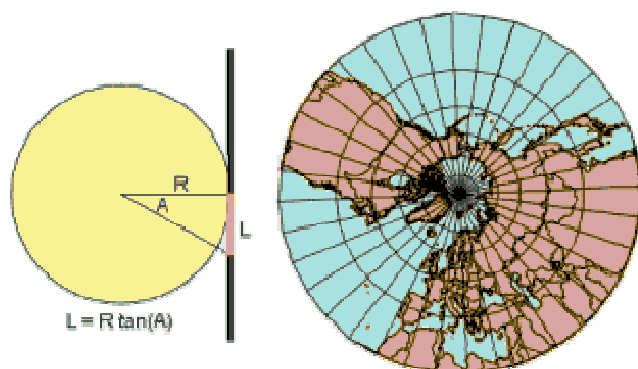
Todas as projeções azimutais normais compartilham do mesmo padrão básico de **meridianos radiais e paralelos concêntricos**.

Pode-se obter projeções diferentes modificando o espaçamento dos paralelos ao longo dos meridianos para preservar propriedades geométricas selecionadas.

**Projeções Azimutais** são freqüentemente usadas para mapear as **regiões polares**, mas podem ser centralizadas em qualquer posição na superfície da Terra. Por causa do padrão radial de distorção (aumentando com o afastamento do ponto de tangência), projeções azimutais são apropriadas para mapear áreas que têm extensões norte-sul e leste-oeste iguais. Porém, são freqüentemente escolhidas por causa da **representação correta da distância e relações direcionais sobre o ponto de tangência**.

## Projeção Azimutal Perspectiva

**Projeções perspectivas** podem ser construídas geometricamente baseado na suposição de uma fonte de luz no interior de um **esferóide transparente** que projeta as sombras dos meridianos e paralelos sobre a superfície de projeção. Propriedades geométricas diferentes podem ser obtidas mudando a posição da fonte de luz com respeito ao esferóide.



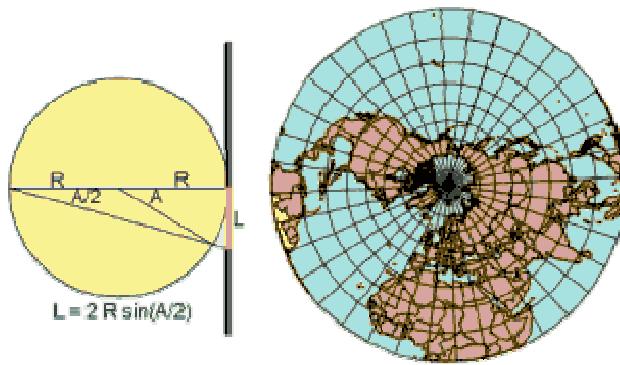
Projeção Gnômica

A **projeção gnômica** é uma projeção perspectiva onde a fonte de luz está localizada no centro do esferóide. Os **meridianos** aparecem como **linhas retas radiais** e os **paralelos** são representados como **círculos concêntricos**.

O espaçamento dos paralelos e a deformação de áreas e ângulos aumenta rapidamente ao distanciar-se do pólo que é o ponto de tangência. A área contida até o limite de **60°** do ponto de tangência no mapa pode ser representada. Além deste ponto, a distorção é muito grande.

A projeção gnômica é a mais antiga das projeções. Credita-se sua concepção a **Thales de Mileto** (~ 600 AC). A **projeção gnômica** tem a propriedade especial de representar os meridianos como linhas retas no mapa sendo útil para navegação.



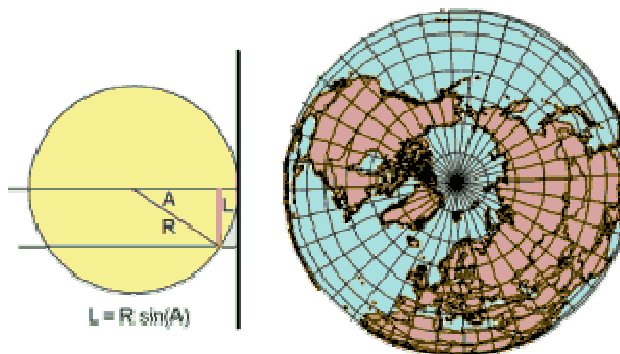


Projeção Estereográfica

A **projeção estereográfica** posiciona a fonte de luz no ponto oposto ao ponto de tangência. O espaçamento dos paralelos aumenta ao distanciar-se do pólo, mas não tão bruscamente quanto na projeção gnômonica.

Como resultado, a **deformação** de áreas e ângulos é **menos severa** e é possível representar uma área de aproximadamente  $135^\circ$  a partir do pólo em um mapa, embora normalmente as projeções estereográficas limitam-se a representar um hemisfério.

A **projeção estereográfica** é uma **projeção conforme** e é comumente usado para mapas da **região polar**. A projeção estereográfica também tem uma propriedade especial importante: os paralelos no esferóide aparecem como círculos ou arcos circulares no mapa tornando útil para representar fenômenos radiais como ondas de choque de terremotos.



Projeção Ortográfica

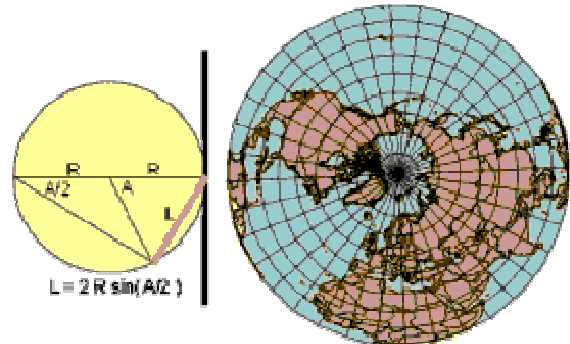
A **projeção ortográfica** assume que a fonte de luz está localizada a uma distância **infinita** do ponto de tangência resultando em raios de luz paralelos e perpendiculares à superfície de projeção.

A projeção resultante pode mostrar só um hemisfério. O espaçamento entre paralelos diminui em direção ao Equador. A **projeção ortográfica** não tem nenhuma propriedade especial mas proporciona uma visão perspectiva da Terra como se vista do espaço exterior.

## Projeção Azimutal Equivalente

Na projeção azimutal, o espaçamento dos paralelos pode ser ajustado para produzir uma **projeção azimutal equivalente**. A projeção azimutal equivalente é obtida fazendo o espaçamento dos paralelos igual ao comprimento da corda do paralelo no esferóide.

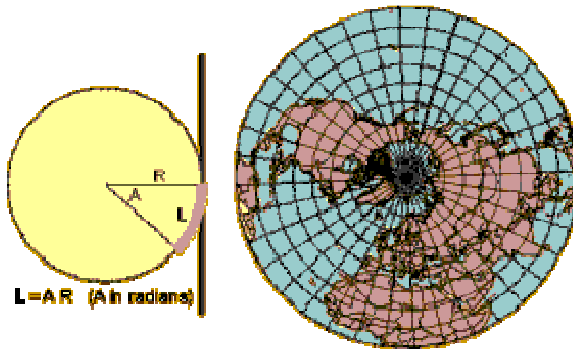
Nesta projeção, o espaçamento entre paralelos diminui com o distanciamento do pólo para compensar a deformação que acontece nos paralelos de latitude. A projeção azimutal equivalente pode representar a Terra inteira embora seja limitada freqüentemente na representação de um hemisfério.



Projeção de Lambert

## Projeção Azimutal Eqüidistante

As **projeções perspectivas** representam azimutes corretamente no ponto de tangência, mas não representam as distâncias corretamente.



Projeção Ortográfica

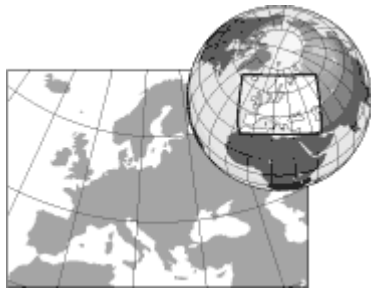
A **projeção azimutal eqüidistante** pode ser produzida a partir do padrão básico de meridianos radiais e paralelos concêntricos modificando o espaçamento dos paralelos para que eles sejam espaçados igualmente ao longo dos meridianos.

O resultado é uma projeção azimutal que pode representar a Terra inteira em um único mapa. Todas as distâncias medidas do ponto de tangência estão **em escala** e os ângulos sobre o ponto de tangência também são representados corretamente. Outras distâncias e relações angulares estão distorcidas.

Uma vez que distâncias e ângulos sobre o ponto central estão corretos, a **projeção azimutal eqüidistante** é útil para representar **rotas** de um determinado local para todos os outros locais de interesse.

### Propriedades das Projeções

## Propriedades geométricas



Esferóide e Plano

O processo matemático de uma projeção sempre resulta em alguma distorção das **relações geométricas** tais como conformidade, distância, direção, escala e área que são representadas corretamente no **esferóide**.

### Conformidade

Quando a escala de um mapa em qualquer ponto é a mesma em qualquer direção, a projeção é dita conforme. Meridianos e paralelos interceptam-se em ângulos retos. A forma é preservada localmente.

### Distância

Uma projeção é dita equidistante quando representa distâncias em escala do centro da projeção para qualquer outro lugar no mapa.

### Direção

Um mapa preserva a direção quando os azimutes são corretos em todas as direções.

### Escala

Escala é a relação entre uma distância representada em um mapa e a distância em verdadeira grandeza.

### Área

Quando um mapa representa áreas globais de modo que todas as áreas tenham a mesma relação proporcional com a verdadeira grandeza, o mapa é um mapa de igual área ou equivalente.

Não é possível representar todas as **distâncias** ou todos os **ângulos** corretamente em um mapa. Porém, é possível produzir mapas que representem apropriadamente determinadas características geométricas. Algumas projeções minimizam a distorção em algumas destas propriedades às custas de maximizar a deformação em outras.

Considerando as propriedades básicas, temos quatro classes de projeções:

- [equivalente](#)
- [eqüidistante](#)
- [azimutal](#)
- [conforme](#)

## Projeções equivalentes

As Projeções de mapas que mantêm a área constante em toda a superfície do mapa são chamadas de igual área ou projeções equivalentes. Foram desenvolvidas várias projeções equivalentes na tentativa de minimizar a distorção de outras propriedades geométricas mantendo a área constante.



Cônica Igual Área de Albers



Cilíndrica Igual Área de Behrmann



Azimutal Igual Área de Lambert

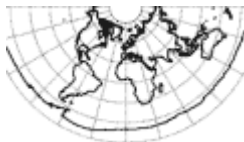
As Projeções equivalentes são bastante usadas para mapas temáticos que mostram distribuição de cenários como população, distribuição de terras agricultáveis, áreas florestadas, etc.

Também são chamadas projeções de igual área, **homolográfica**, ou **equiareal**.

## Projeções equidistantes

As Projeções equidistante preservam a escala em alguma parte do mapa, não sendo possível representar todas as distâncias corretamente em escala.

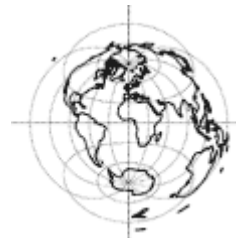
Porém, é possível produzir uma projeção tal que todas as distâncias a partir de um ou dois locais sejam verdadeiras em escala ou na qual todas as distâncias medidas perpendicularmente a uma linha sejam verdadeiras em escala.



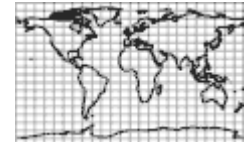
Cônica Equidistante



Cilíndrica Equidistante



Azimutal Equidistante



Miller Equidistante

## Projeções azimutais

As Projeções azimutais (ou zenitais) representam determinadas **relações angulares** corretamente. Do mesmo modo com as distâncias, nem todas as relações angulares podem ser representadas corretamente em um único mapa. Contudo é possível representar todas as relações angulares corretamente sobre um único ponto.



Azimutal Hemisfério Leste



Azimutal Hemisfério Oeste



Azimutal Hemisfério Norte



Azimutal Hemisfério Sul

## Projeções conforme

A propriedade definidora das projeções conforme é que em qualquer ponto no mapa, a escala é a mesma em todas as direções sobre o ponto. A implicação desta propriedade é que ângulos sobre um ponto são mostrados corretamente e assim sendo, pode-se esperar a representação de formas corretamente.



Cônica Conforme  
Lambert

Apesar da escala do mapa variar de ponto a ponto, a propriedade de representação correta de ângulos só se aplica aos ângulos que têm lados pequenos. As formas de áreas pequenas são preservadas nesta projeção, mas as formas de áreas maiores são distorcidas.

O termo **conforme** foi aplicado para projeções por **Gauss** em 1825, e substituiu as designações anteriores: **ortomórfica** e **autogonal**.

## Outras Projeções

Enquanto muitas projeções buscam aperfeiçoar uma das quatro propriedades geométricas acima, outras não tentam manter quaisquer delas, buscando um equilíbrio entre propriedades diferentes.

Por exemplo, enquanto uma projeção poderia não ser conforme ou equivalente, poderia manter uma distorção mínima de formas e áreas dentro de uma região. Tais projeções especiais são freqüentemente usadas como base para mapas temáticos.

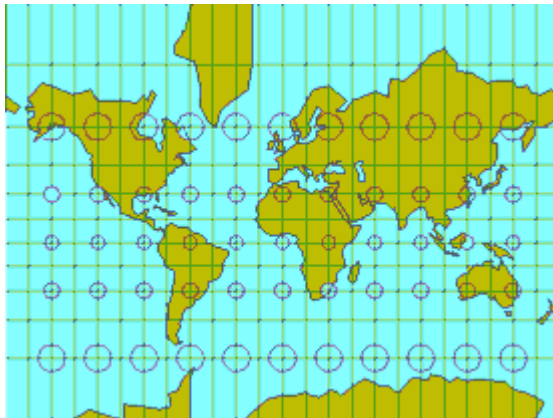
## Indicador de Tissot

O **indicador de Tissot** é um método pelo qual a distorção ou deformação de uma projeção pode ser apresentada graficamente. Para permitir esta avaliação, a visualização gráfica é feita em partes do esferóide, geralmente no encontro de meridianos e paralelos. Nesta posição de interseção, é criada uma **figura geométrica** de avaliação de distorção, normalmente um círculo.

Pode-se assumir que as características principais (**conformidade, equivalência, direção verdadeira e equidistância**) estão em harmonia no modelo do globo (esferóide). Assim, um círculo representado em diversas interseções de meridianos e paralelos do esferóide será afetado pelas características da projeção e apresentará a deformação para cada posição específica.

## Exemplos de Indicadores de Tissot

- Posicione o mouse sobre os nomes das projeções ao lado;
- Aguarde alguns instantes para que a imagem seja carregada;
- Visualize mais exemplos dos **Indicadores de Tissot** e as deformações nas diversas regiões de um mapa de acordo com este indicador ... (anexo)



Indicador de Tissot - Mercator Conforme

### Azimutal

- [Ortográfica](#)
- [Iguar área](#)
- [Gnomônica](#)
- [Equidistante](#)

### Cilíndrica

- [Estereográfica - transversa](#)
- [Equidistante - transversa](#)
- [Mercator - UTM](#)
- [Mercator - Conforme](#)

### Cônica

- [Satélite](#)
- [Lambert - Conforme](#)

### Pseudo Cilíndrica

- [Sinusoidal - Igual Área](#)
- [Mollweide Elíptica - Igual Área](#)

### Pseudo-Cônica

- [Bonne - Igual Área](#)

### Pseudo-Policônica

- [Conforme](#)
- [Escala real no meridiano](#)
- [Van der gritten](#)

## Exemplos de Projeções

- [Projeções usuais](#)
  - [Azimutal equidistante](#)
  - [Bonne](#)
  - [Estereográfica](#)
  - [Mercator](#)
  - [Mercator oblíqua](#)
  - [Policônica](#)
  - [Robinson](#)
- [Projeções não usuais](#)

## Projeções usuais

Dentre a variedade de projeções existentes para determinados propósitos, as projeções azimutais e conformes são as mais conhecidas e utilizadas em várias representações do globo terrestre.

POSICIONE O MOUSE SOBRE AS IMAGENS E AGUARDE ALGUNS INSTANTES PARA VISUALIZAR UMA VERSÃO ANIMADA DE CADA PROJEÇÃO ...

## Azimutal equidistante



Azimutal  
Equidistante

Esta projeção foi extensamente usada para atlas (especialmente em representações polares). Este tipo de projeção já era conhecida pelos **Egípcios** há 2.000 anos atrás. Os egípcios teriam usado esta projeção em seu aspecto polar para mapas estelares muito antes da era da cartografia científica.

O mapa mais antigo preparado com esta projeção foi **mapa celestial** elaborado por **Conrad of Dyfflenbach** em 1426.

A Projeção Azimutal Equidistante não é uma projeção perspectiva. Todas as direções ou azimutes do centro da projeção são verdadeiros para a forma esférica e para alguns elipsóides. As distâncias medidas a partir do ponto de tangência estão em verdadeira escala e o centro da projeção é o único local onde a distorção é nula.

## Bonne



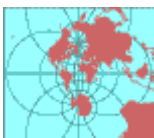
Bonne

É uma projeção cônica equivalente concebida por **Rigober Bonne** na metade do século 16. A Projeção de Bonne era a projeção preferida para atlas com mapas de grandes países e continentes proporcionando uma representação mais uniforme de áreas e uma combinação apropriada de meridianos e paralelos numa representação do globo.

Metade dos mapas mundi dos continentes e países povoados estavam preparados na **Projeção de Bonne**. Outras regiões incluíam a Península árabe, China, Rússia e os Estados Unidos.

A **Projeção de Bonne** representou um papel significativo no mapeamento topográfico em grande escala do século 19. Isto começou com sua adoção na França em 1802. Mais tarde, em outros países europeus como a Áustria, Hungria, Bélgica, Dinamarca, Itália, Holanda, Rússia, Espanha, Suíça, Escócia e Irlanda.

## Estereográfica



Estereográfica

É uma projeção azimutal conforme que pode ter sido concebida por Hiparchus no século 2. **Hipparchus** era influente no desenvolvimento da trigonometria e formalizou a projeção estereográfica como um método para resolver problemas astronômicos complexos sem usar a trigonometria esférica.

A evidência mais antiga de uso da **Projeção Estereográfica** está nos escritos *De Architectura* do autor romano e arquiteto, **Vitruvius** (88-26 AC). A primeira grande descrição sobre a projeção foi de **Claudius Ptolomeu** (150 DC) que escreveu extensivamente sobre ela no trabalho conhecido como o *Planisphaerium*.

A escala aumenta substancialmente a medida que existe afastamento do centro da projeção. Usada comumente em mapas das regiões polares ou regiões centradas em algum ponto de interesse do globo terrestre.

## Mercator



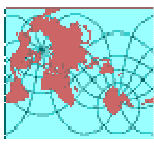
Mercator

É uma projeção cilíndrica conforme concebida por **Gerard Mercator** em 1560. Esta projeção era usada para navegação e regiões próximo equador. Era o padrão para cartografia marítima nos séculos 17 e 18.

Era usada para mapear as regiões equatoriais oceânicas no século 19 e para mapear áreas globais no século 20 (*US Geodetic Survey*).

Os meridianos são igualmente espaçados e não são convergentes e os paralelos se afastam a medida que se atinge as latitudes altas. Usada na navegação pois as direções angulares são representadas por linhas retas.

## Mercator Oblíqua



Mercator Oblíqua

É uma projeção conforme desenvolvida por **Rosenmund, Laborde e Hotine** entre 1900 e 1950. Publicada pela primeira vez em 1903 por **Rosenmund** que fez uma das primeiras referências à projeção, quando inventou uma forma elipsoidal que foi usada para o mapeamento topográfico de Suíça.

**Laborde** aplicou a projeção para o mapeamento topográfica de Madagascar em 1928. **Hotine** derivou uma forma de projeção denominada **Mercator Oblíqua Espacial**.

Uma vez que esta projeção é a variante oblíqua da Projeção de Mercator Regular, ela mantém quase todas as propriedades da projeção normal. Sua característica marcante é dois meridianos representados por linhas retas separadas de 180°.

Foi usada pelo USGS em sua forma esférica para alguns atlas do **Hawaii, Índias Ocidentais e Nova Zelândia** e para mapeamento de órbitas dos satélites Landsat 1, 2 e 3 até ser substituída pela **Mercator Oblíqua Espacial**.

## Policônica



Policônica

É uma projeção não conforme e não equivalente provavelmente desenvolvida por **Ferdinand R. Hassler** (suiço - 1770-1843) em 1820. A **Projeção Policônica** foi primeiramente aplicada como uma projeção específica em 1853 por **Edward Bissell Hunt** da US Coast Survey. Era comumente usada para cartas costeiras dos Estados Unidos.

Desde quando US Geological Survey entrou em operação em 1879 e começou a emitir mapas, a projeção policônica foi a única projeção usada naquela agência para os mapas topográficos até a metade do século 20. O uso intenso desta projeção pelas agências americanas influenciaram o seu uso em vários atlas comerciais do século 19 que continham mapas dos **Estados Unidos, Canadá, América do Norte, Ásia e Oceania**.

A **Projeção Policônica de Hassler** (figura) é universal para uma determinada figura da terra (esferóide ou elipsóide), empregando características úteis de escala. A projeção é **verdadeiramente escalada** ao longo do meridiano central e ao longo de cada paralelo. Não é nem conforme nem equivalente e só está livre de distorção ao longo do meridiano central. Portanto, seu emprego é apropriado para regiões de extensão norte-sul predominante.



## Projeção UTM - Universal Transversa de Mercator

- [Introdução](#)
- [Analogia da Projeção UTM](#)
- [Superfície de Projeção](#)
- [Características da Projeção UTM](#)
- [Meridiano Central](#)
- [Sistema de Coordenadas](#)

### Introdução

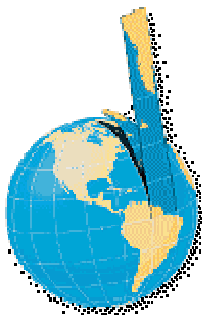
A idéia da **Projeção Transversa de Mercator** tem suas raízes no século 18, mas não foi utilizada praticamente até após a **Segunda Guerra Mundial** quando foi adotada pelo exército americano em 1947.

O nome **Universal** é devido à utilização do elipsóide de *Hayford* (1924), que era conhecido como elipsóide Universal, como modelo matemático de representação do globo terrestre. **Transversa** é o nome dado a posição ortogonal do eixo do cilindro em relação ao eixo menor do elipsóide. **Mercator** (1512-1594), holandês, considerado pai da cartografia, foi o idealizador da projeção que apresenta os paralelos como retas horizontais e os meridianos como retas verticais.

Adotada por muitas agências de cartografia nacionais e internacionais, inclusive a **OTAN**, é comumente usado em cartografia topográfica e temática, para referenciamento de imagens de satélite e como sistema de coordenadas para bases cartográficas para **Sistemas de Informação Geográfica**.

### Analogia da Projeção UTM

Para compreender como a **Projeção UTM** é desenvolvida, imagine a Terra como uma laranja, com pólos, linha do equador, paralelos e meridianos desenhados sobre ela. Imagine usar uma faca e retirar dois pequenos círculos no pólo norte e no pólo sul. Fazendo um corte na casca da laranja na direção norte-sul e repetindo este corte norte-sul a intervalos iguais, obter **60 zonas ou fusos** destacados.



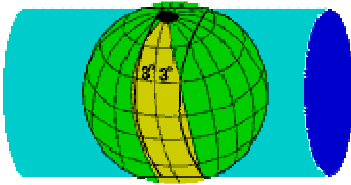
Fuso UTM

Cada uma destes fusos formará a base de uma projeção de um mapa. O **achatamento** necessário para projetar a superfície curva da casca da laranja em uma superfície plana pode ser visualizado forçando esta tira de casca laranja nesta superfície.

Comprimindo seu centro, podemos forçar a casca a ficar plana até tocar totalmente a superfície lisa. Esta **ação de planificação** resulta em uma **distorção** leve das características geográficas dentro deste fuso. Mas, sendo o fuso relativamente estreito, a distorção é pequena e pode ser ignorada pela maioria dos usuários de mapas.

## Superfície de Projeção

A **Projeção de Mercator** (não transversa) é uma projeção conforme pseudocilíndrica (preserva a forma). Ela é comumente utilizada em mapas-mundi em sua forma equatorial que apresenta uma relativa pequena distorção ao longo do equador.



Cilindro Transverso

A **Projeção Transversa de Mercator** muda a orientação do cilindro sobre o qual o mapa é projetado de modo que sucessivas pequenas regiões apresentem pequena distorção. Estas regiões possuem 6° de amplitude e são traduzidas pelas diversas rotações do elipsóide sobre o cilindro.

## Características da Projeção UTM

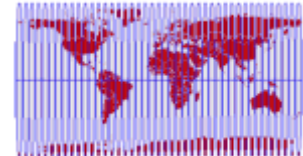


Fuso

Como o globo terrestre pode ser aproximado a uma circunferência (360°), uma divisão em **sessenta** fusos verticais faz com que cada fuso tenha 6° de largura em longitude.



60 fusos



60 fusos planejados

Os fusos UTM recebem um número como denominação contado a partir do **anti-meridiano 180°** (meridiano oposto ao Meridiano de Greenwich). O primeiro fuso recebe o número 1 e assim consecutivamente no sentido leste até o fuso 60.



Numeração



Zonas

No sentido Norte-Sul, a divisão é feita em segmentos de 8°. A nomenclatura é usada somente entre os paralelos 84° N e 80° S, começando a 80° S, com a letra **C** até a letra **X**. As letras **I** e **O** são omitidas porque podem ser confundidos com números. A distorção nos pólos é muito grande na projeção UTM. Assim para os pólos, usa-se a **Projeção Universal Polar Estereográfica (UPS)**.

[Clique aqui](#) para uma versão ampliada do mapa-mundi com a divisão em zonas e fusos...

## Meridiano Central

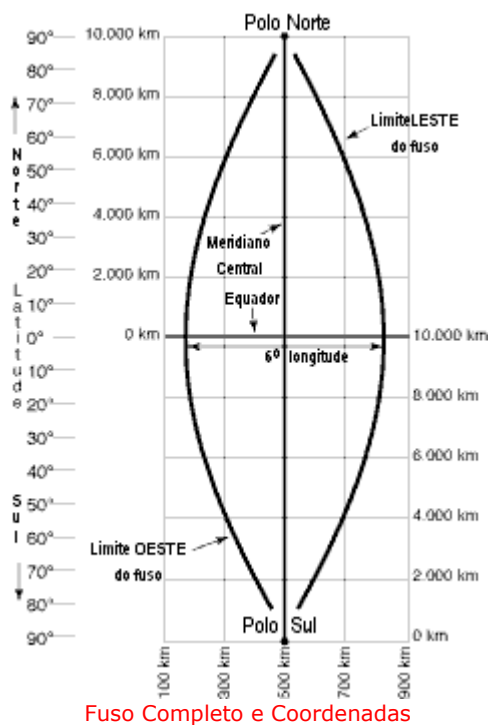
O meridiano central é o meridiano intermediário aos dois meridianos secantes ao cilindro. No meridiano central, o fator de redução de escala ( $k_0$ ) é de 0,9996 originado pela particularidade da secância do cilindro e elipsóide.

Deformação Linear

$$k_0 = 0.9996 = 1 - \frac{1}{2500}$$

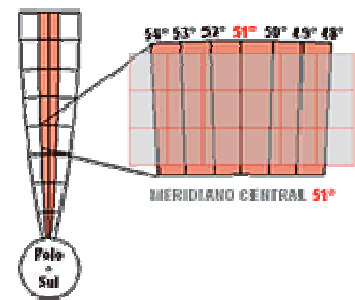
A partir do **meridiano central**, o fator cresce para leste e oeste até atingir o valor 1 nas linhas de secância (aproximadamente  $1^{\circ}37'$  a partir do meridiano central) e continua a crescer até atingir 1,0010 nas bordas do fuso ( $3^{\circ}$  do meridiano central). Nos meridianos secantes, a distorção é nula e esta linha meridiana é chamada de **Linha de Distorção Zero** (LDZ).

## Sistema de Coordenadas



As coordenadas UTM são expressas em metros. O eixo **E** (*Easting*) representa a coordenada no sentido leste-oeste.

O eixo **N** (*Northing*) representa a coordenada no sentido norte-sul.



Para evitar coordenadas negativas, é atribuído o valor **500.000 m** ao meridiano central. Assim, para os  $6^{\circ}$  de amplitude do fuso, o eixo E varia de aproximadamente **160.000 m** até **840.000 m** para cada fuso.

Para o eixo **N**, a referência é o equador e o valor atribuído depende de hemisfério. Quando tratamos de regiões no hemisfério norte, o equador tem um valor de **N** igual a **0 m**. No hemisfério sul, o equador tem um valor **N** igual a **10.000.000 m**.

## A Circunferência da Terra

Um dos fatos históricos mais relevantes para a Cartografia foi o cálculo da circunferência da Terra feito por Eratóstenes no século III AC. Por isso, Eratóstenes é conhecido como o pai da Geodésia.

## A Circunferência da Terra

**Eratóstenes** (276 AC) nascido em Cyrene (atual Líbia) foi um escritor, cientista, astrônomo e poeta grego e também o primeiro homem a ter calculado a circunferência da Terra.

Eratóstenes é considerado um dos **patronos da geodésia** porque ele foi o primeiro a descrever e aplicar uma técnica científica de medida para determinar o tamanho da Terra. Ele usou um princípio simples para calcular o tamanho de um grande círculo terrestre (círculo que atravessa o Polo Norte e Sul).

Sabendo o comprimento de um arco ( $l$ ) e o tamanho do ângulo central correspondente (**alfa**), é possível obter o raio da esfera da simples proporção entre o comprimento do arco e o tamanho do grande círculo (ou circunferência,  $2 \cdot \pi \cdot R$  no qual  $R$  é o raio da Terra) igualado à proporção entre o ângulo central e o ângulo da circunferência inteira ( $360^\circ$ )

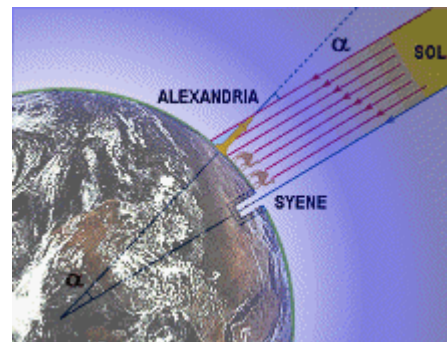
$$\frac{l}{2\pi R} = \frac{\alpha}{360^\circ}$$

Para determinar o ângulo central **alfa**, Eratóstenes escolheu a cidade de **Syene** (atual Aswan) porque o Sol no solstício de verão iluminava o fundo de um poço exatamente ao meio dia, ou seja, neste dia e neste horário o sol estava na vertical sobre este lugar.

Ele assumiu que todos os raios de sol que chegam à Terra são paralelos e observou que os raios de sol em **Alexandria** no mesmo tempo (solstício de verão ao meio dia) não eram verticais mas sim inclinados de um determinado ângulo que valia 1/50 de uma volta completa da terra.

Usando dados obtidos por agrimensores da época, ele calculou a distância ( $l$ ) entre Alexandria e Syene como sendo **5.000 stadia**. Usando a equação acima, Eratóstenes obteve para o comprimento de um grande círculo,  **$50 \times 5.000 = 250.000$  stadia**. Usando um valor contemporâneo para o *stadium* (1 *stadium* = 185 m), chega-se ao valor de **46.250.000 m**.

O resultado é aproximadamente 15% maior em comparação com as medidas modernas, mas o resultado dele foi extremamente bom considerando as suposições e o equipamento com que as observações foram feitas.



Esquema gráfico mostrando a técnica empregada por Eratóstenes para calcular a Circunferência da Terra

Projeção Ortográfica