

# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

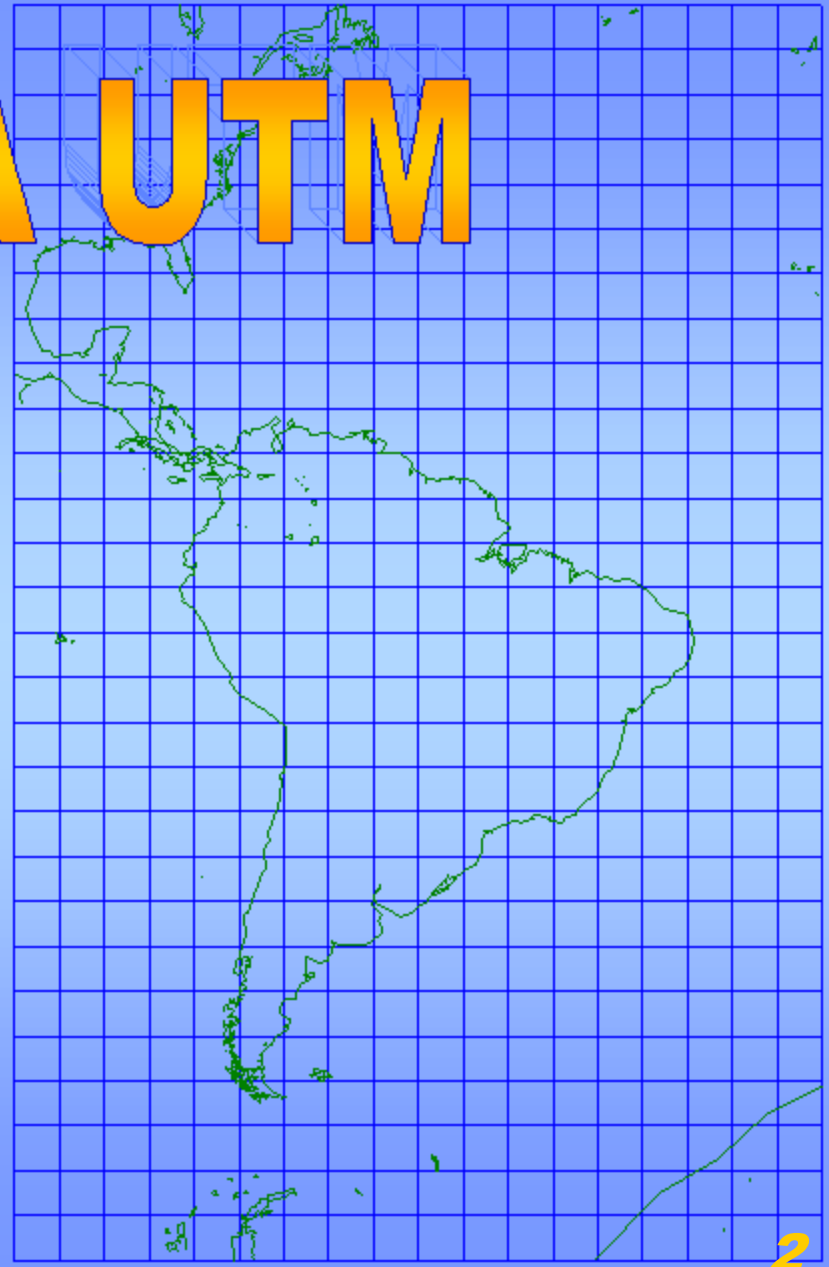
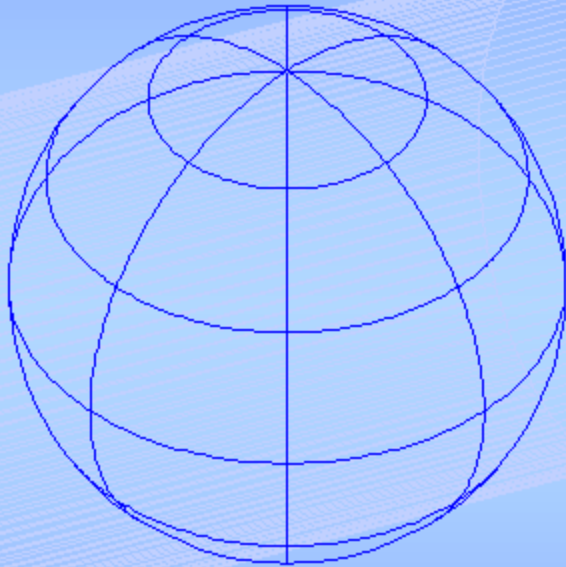
Departamento de Engenharia de Transportes – PTR

Laboratório de Topografia e Geodésia – LTG



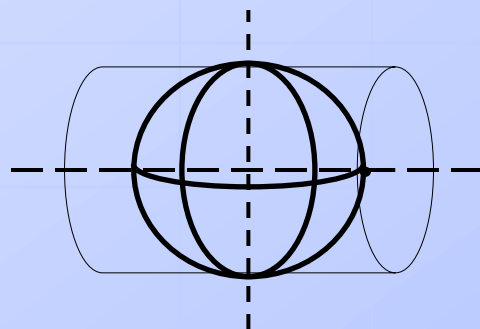
ptr 2202

# SISTEMA UTM



# O que é a Projeção UTM?

- É a projeção **Universal Transversa de Mercator**.
- Assim como a Projeção de Mercator, é uma projeção cilíndrica. Uma projeção **transversa** é aquela onde o eixo do cilindro está no plano do equador.

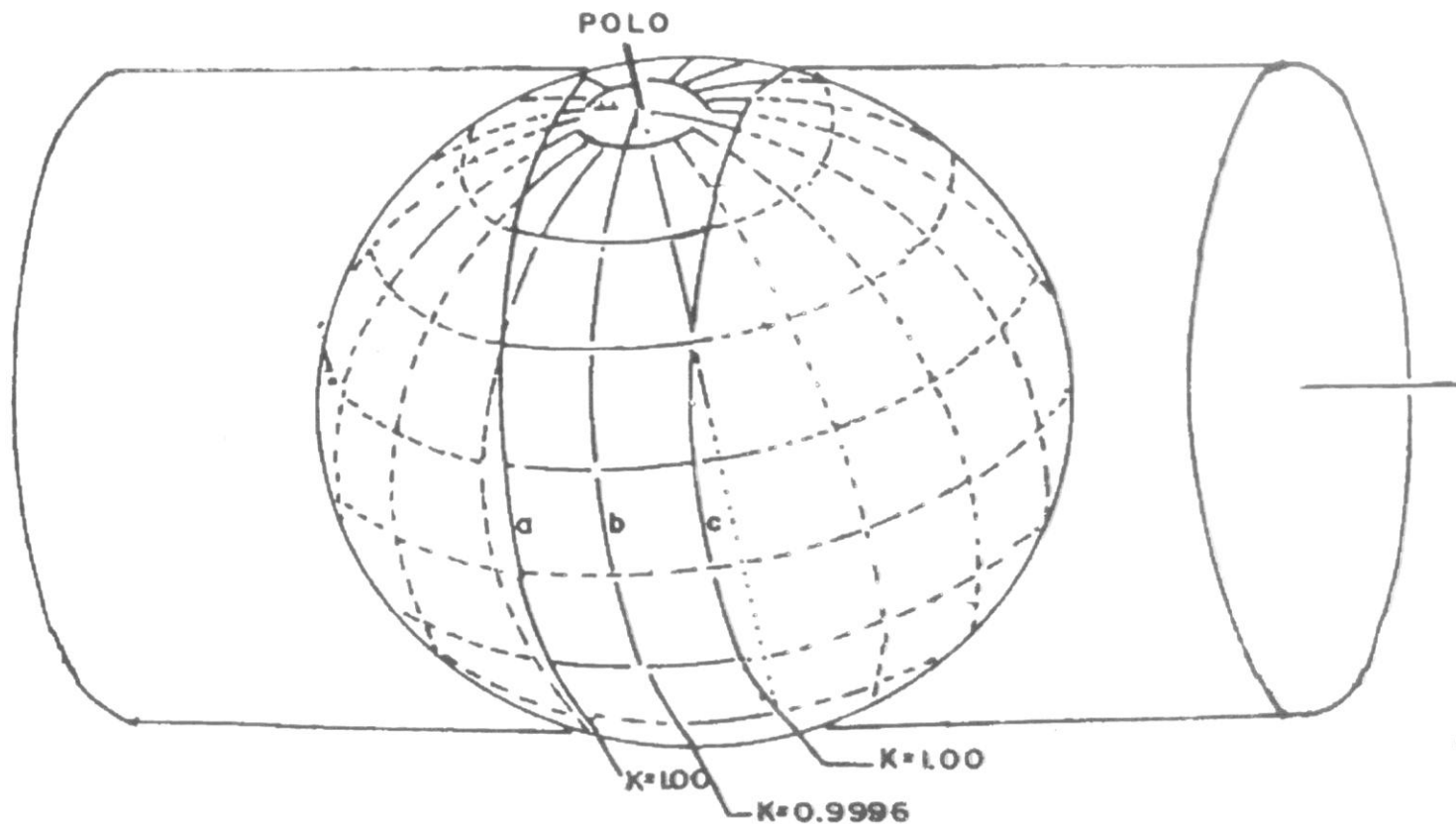


- É um sistema universal, isto é, utilizado internacionalmente para representação da superfície da Terra.

# Qual a característica da Projeção UTM?

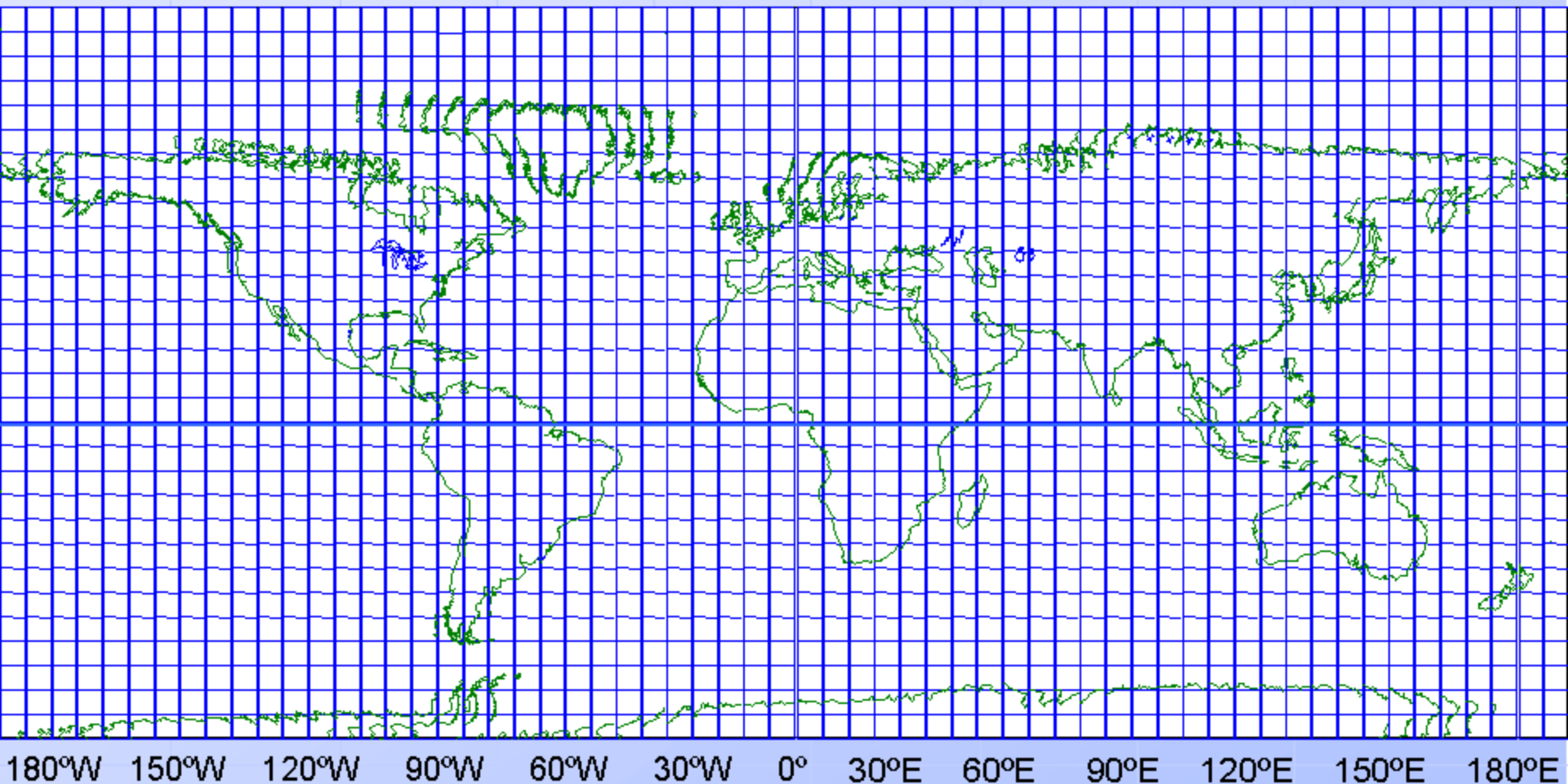
- A projeção UTM é uma *projeção analítica* que tem como objetivo minimizar todas as deformações de um mapa a níveis toleráveis, representando-os em um **sistema ortogonal**.
- Como foi visto na aula de projeções, a *projeção cilíndrica* tem distorção mínima na área próxima ao círculo de tangência/secância.
- A projeção UTM estende esta precisão ao longo da superfície da Terra, combinando diversas posições do *cilindro de projeção*.

# Esquema da Projeção UTM

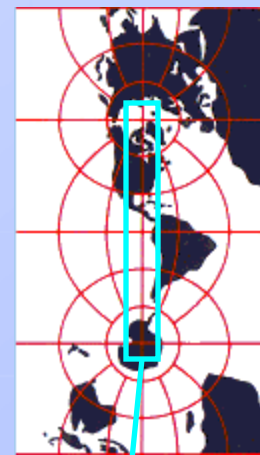
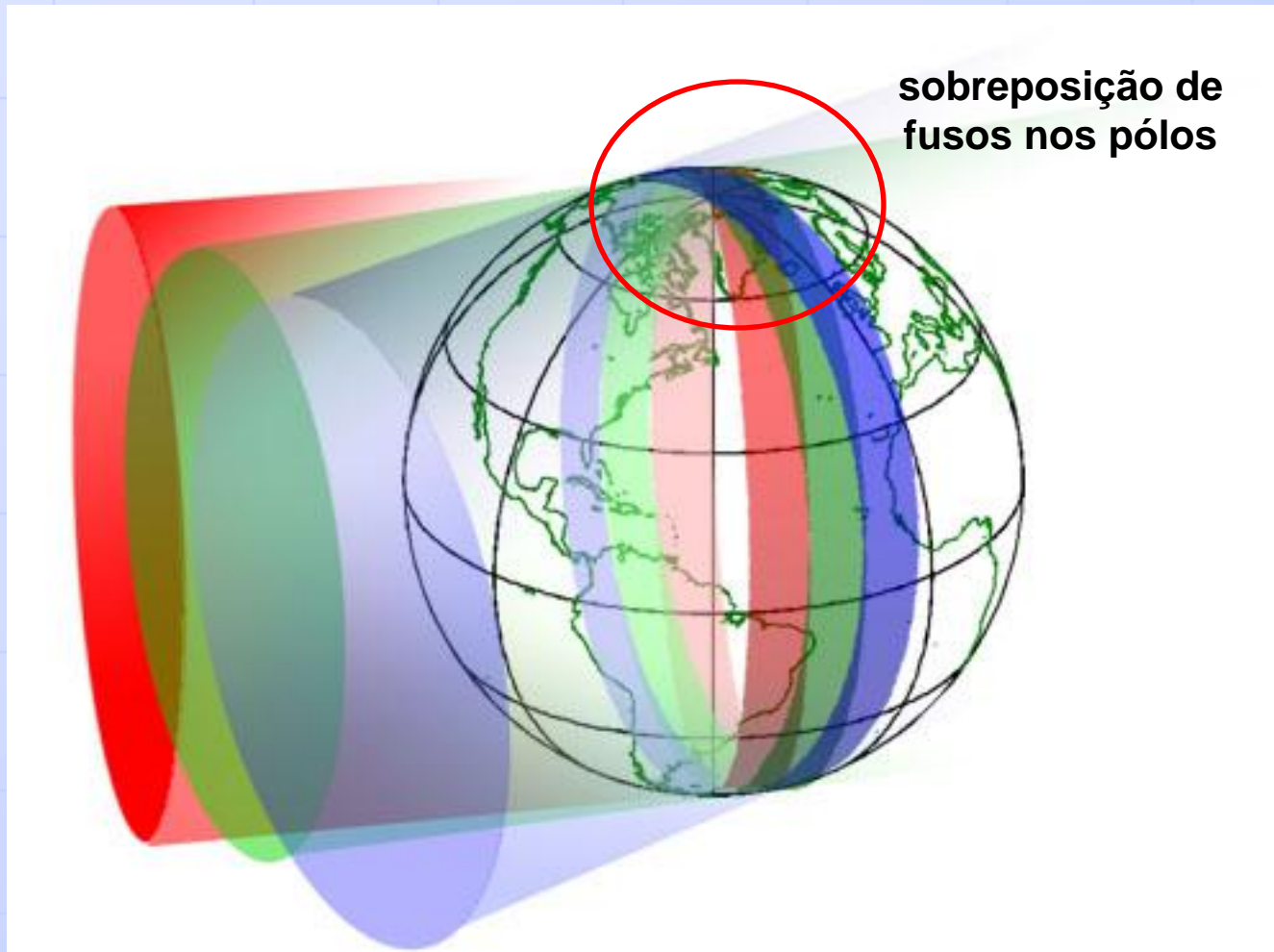


a, c — LINHAS DE SECÂNCIA  
b — MERIDIANO CENTRAL

# os 60 fusos da projeção UTM

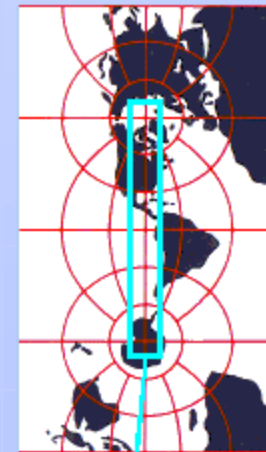


# Esquema da Projeção UTM



Cada fuso desenvolvido é um segmento da projeção transversa centrada no respectivo meridiano.

A sobreposição de fusos nos pólos faz com que os contornos continentais se repitam



Fuso central da  
Projeção  
Transversa



# Qual a importância do Estudo da Projeção UTM para a Engenharia e Arquitetura?

- Em projetos de Engenharia, é fundamental que se adote um sistema de coordenadas ortogonal.



# Qual a importância do Estudo da Projeção UTM para a Engenharia e Arquitetura?

- Quando realizamos levantamentos topográficos (pequena porção da superfície da Terra), usamos sistemas de coordenadas ortogonais.
- No caso de um levantamento cartográfico (distâncias superiores a 25 km), por exemplo, grandes cidades, municípios, é impossível utilizar um sistema ortogonal sem distorção, devido à curvatura da superfície da Terra.
- A projeção UTM permite abranger uma área extensa em um sistema ortogonal com significativo controle de distorções.

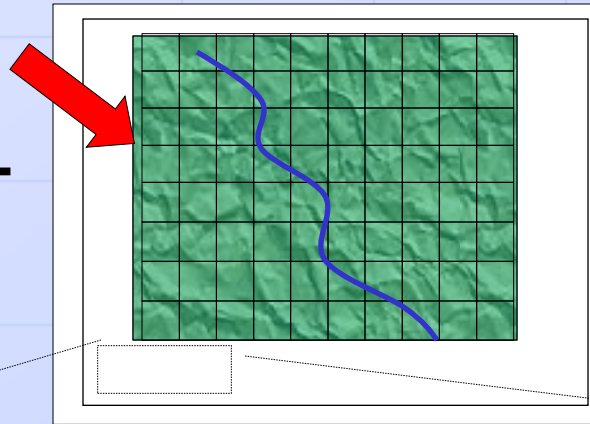
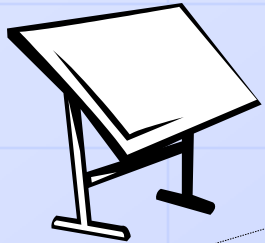
# Qual a importância do Estudo do Sistema UTM para a Engenharia e Arquitetura?

- Por suas características particulares, é a que mais se emprega em mapeamento, em trabalhos científicos, no planejamento, no projeto básico e no projeto executivo de um empreendimento de Engenharia.
- Atualmente, a falta de familiaridade dos engenheiros com o sistema têm prejudicado o andamento de muitos projetos.

# Legenda de uma carta em UTM

“GRID”

ORTOGONAL



Você sabe interpretar essas informações?

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Datum vertical: Imbituba – SC

Datum horizontal: SAD-69

Origem das coordenadas do UTM: equador e meridiano central do fuso

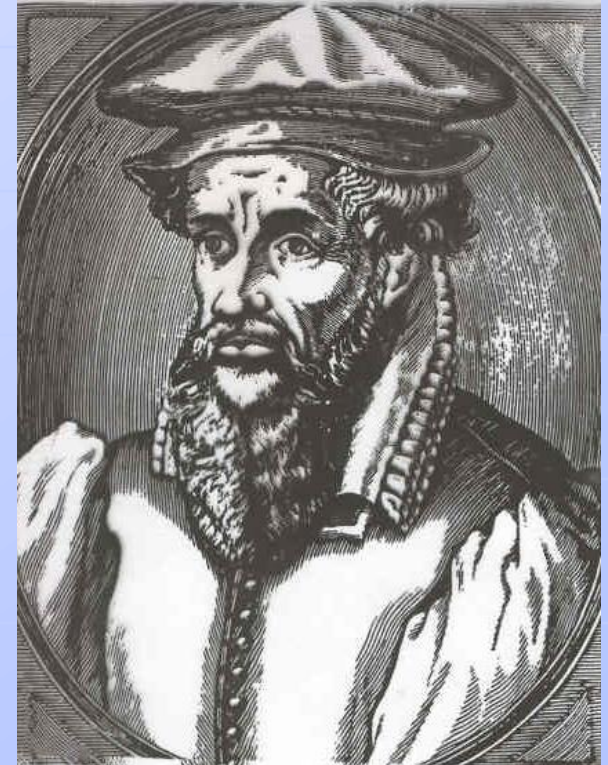
Meridiano Central:  $-45^{\circ}$ .

Convergência meridiana do centro da folha:  $53'50''$

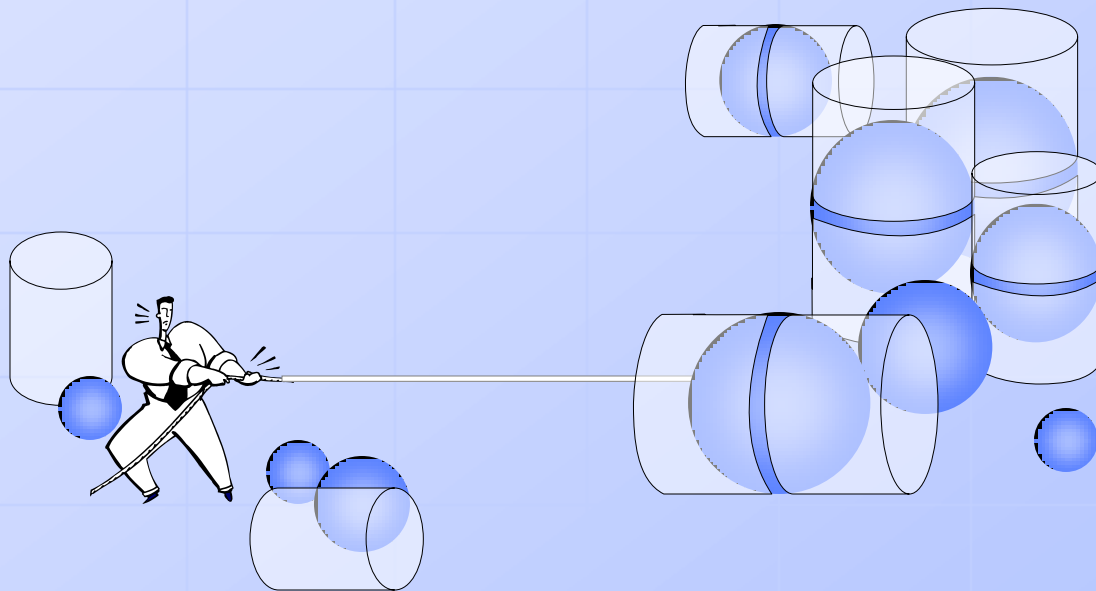
Fator escala: 0,9996

# Projeção UTM: Breve Histórico

- Mercator foi o introdutor das projeções cilíndricas, e um dos pioneiros na confecção de Mapas de Navegação e Atlas.



Gerardus Mercator (1512 – 1594)



# Projeção UTM: Breve Histórico

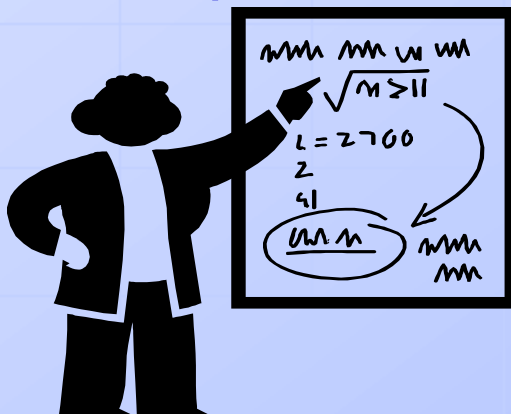
- J. H. Lambert, notável pelo desenvolvimento das projeções cônicas conformes, desenvolveu matematicamente o Sistema Universal Transverso de Mercator como se conhece atualmente.
- Este sistema foi utilizado sob a denominação de *Projeção de Gauss* desde 1866, quando foi feito o cálculo da triangulação de Hanover (Alemanha).



J. H. Lambert (1728-1777)

# Projeção UTM: Breve Histórico

- Em 1912 surge o sistema Gauss-Kruger, em que os cálculos são logarítmicos e necessitam da obtenção de outros termos através de tabelas complexas.
- Entre as duas grandes guerras mundiais diversos países da Europa e a ex-URSS adotaram essa projeção para a confecção de seus mapas militares.





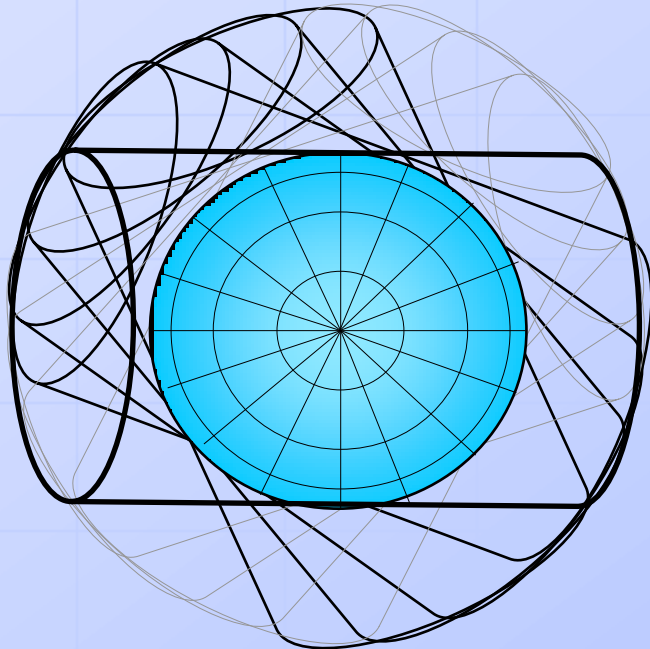
# Projeção UTM: Breve Histórico

- O sistema em sua forma atual surgiu em 1947, em cartas militares do exército norte-americano.
- Em 1950, os EUA propuseram uma combinação para abranger a totalidade das longitudes, e o sistema, anteriormente chamado de Mercator-Gauss, recebeu a denominação atual: Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator (UTM).



# Especificações da Projeção UTM

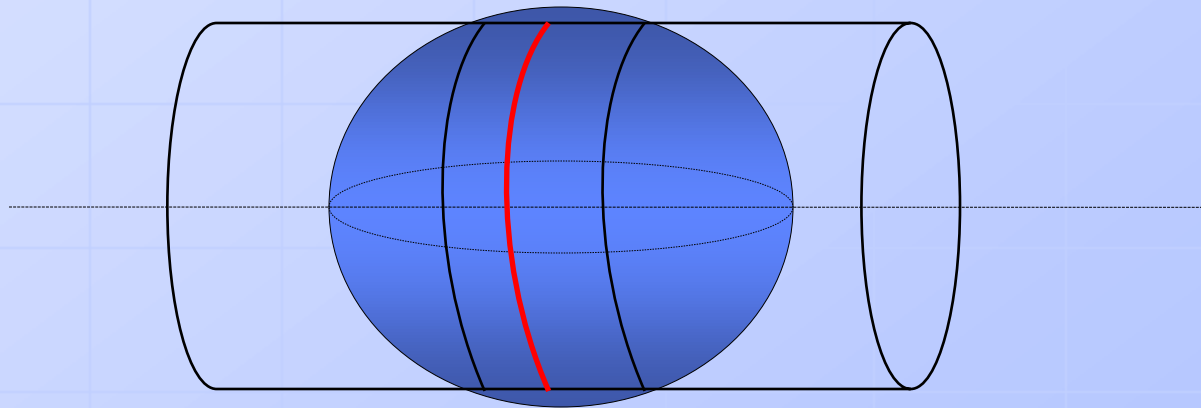
- O sistema proposto prevê a adoção de 60 cilindros de eixo transverso, obtidos através da rotação do mesmo no plano do equador, de maneira que cada um cubra a longitude de  $6^\circ$ , a partir do anti-meridiano ( $180^\circ$ ) de Greenwich.



Cada fuso de  $6^\circ$  do Elipsóide terrestre corresponde a um dos 60 cilindros.

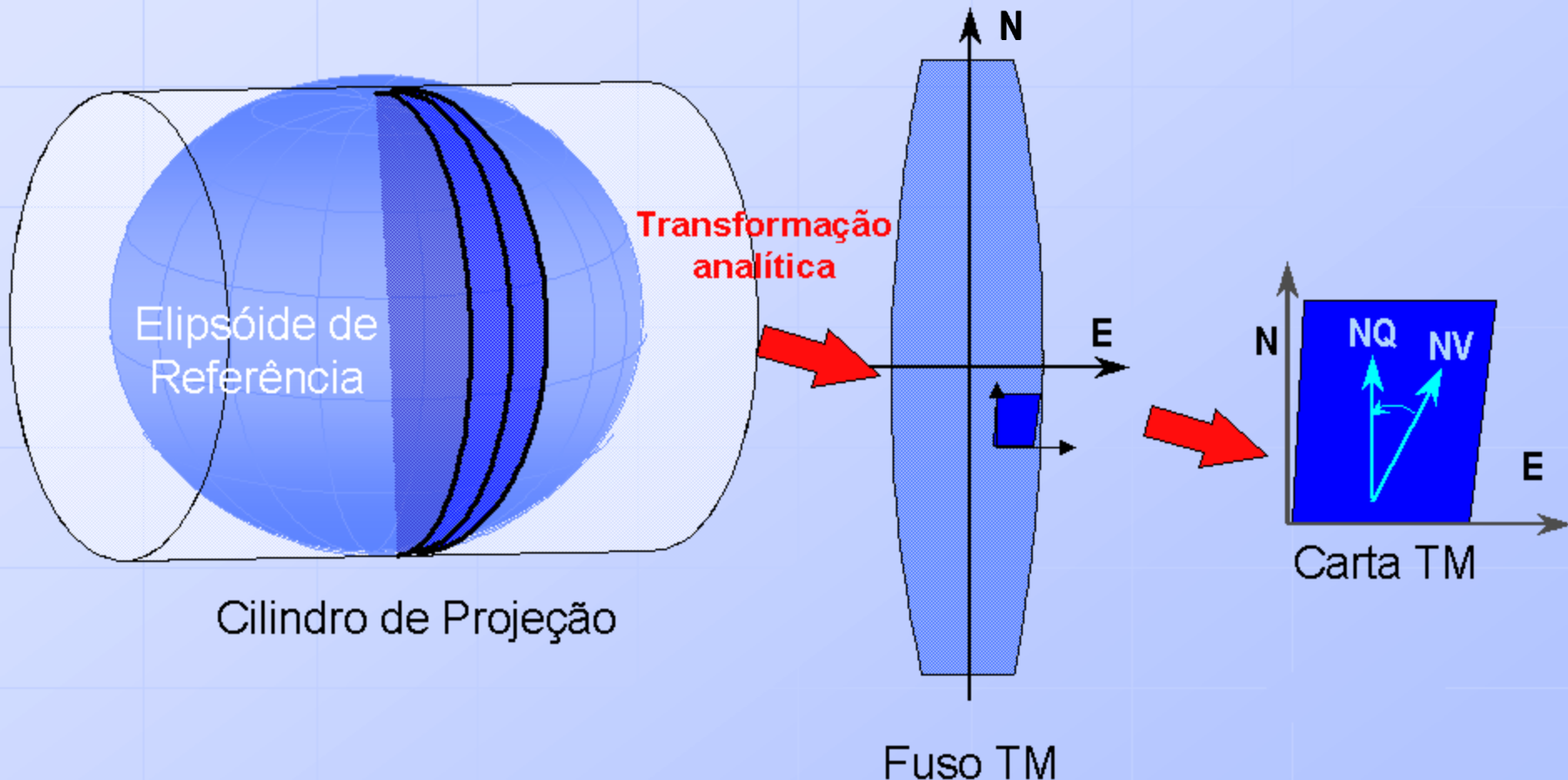
# Especificações da Projeção UTM

- Projeção cilíndrica secante, conforme (conserva os ângulos), de acordo com os princípios de Mercator-Gauss, com uma rotação de  $90^\circ$  do eixo do cilindro, de maneira a ficar contido no plano do equador.



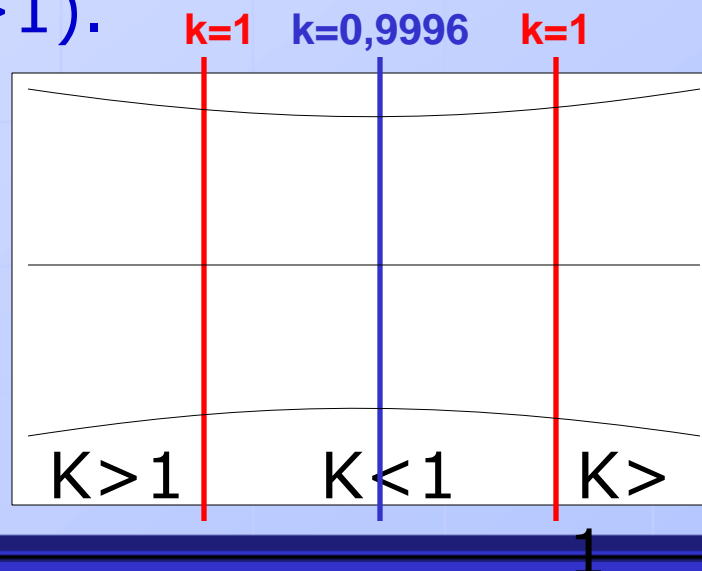
- Adota-se um elipsóide de referência para representar a Terra.

# Esquema da Projeção UTM



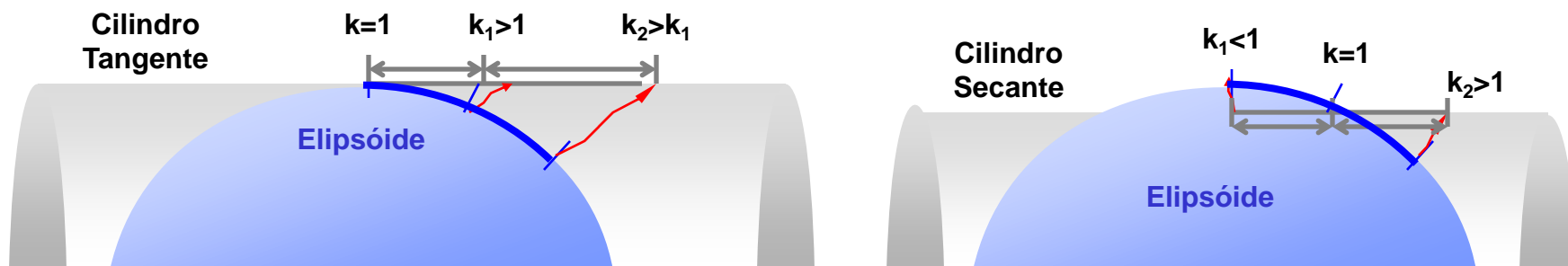
# Fator de redução de Escala Ko

- $K_o = 1 - 1/2500 = 0,9996$ 
  - Deformação nula ( $K = 1$ ) nos meridianos de secância;
  - Redução entre os meridianos de secância ( $K < 1$ );
  - Ampliação na área exterior aos meridianos de secância ( $K > 1$ ).



# A precisão da Projeção UTM

- Por que a projeção UTM é *secante*?



## Cilindro tangente:

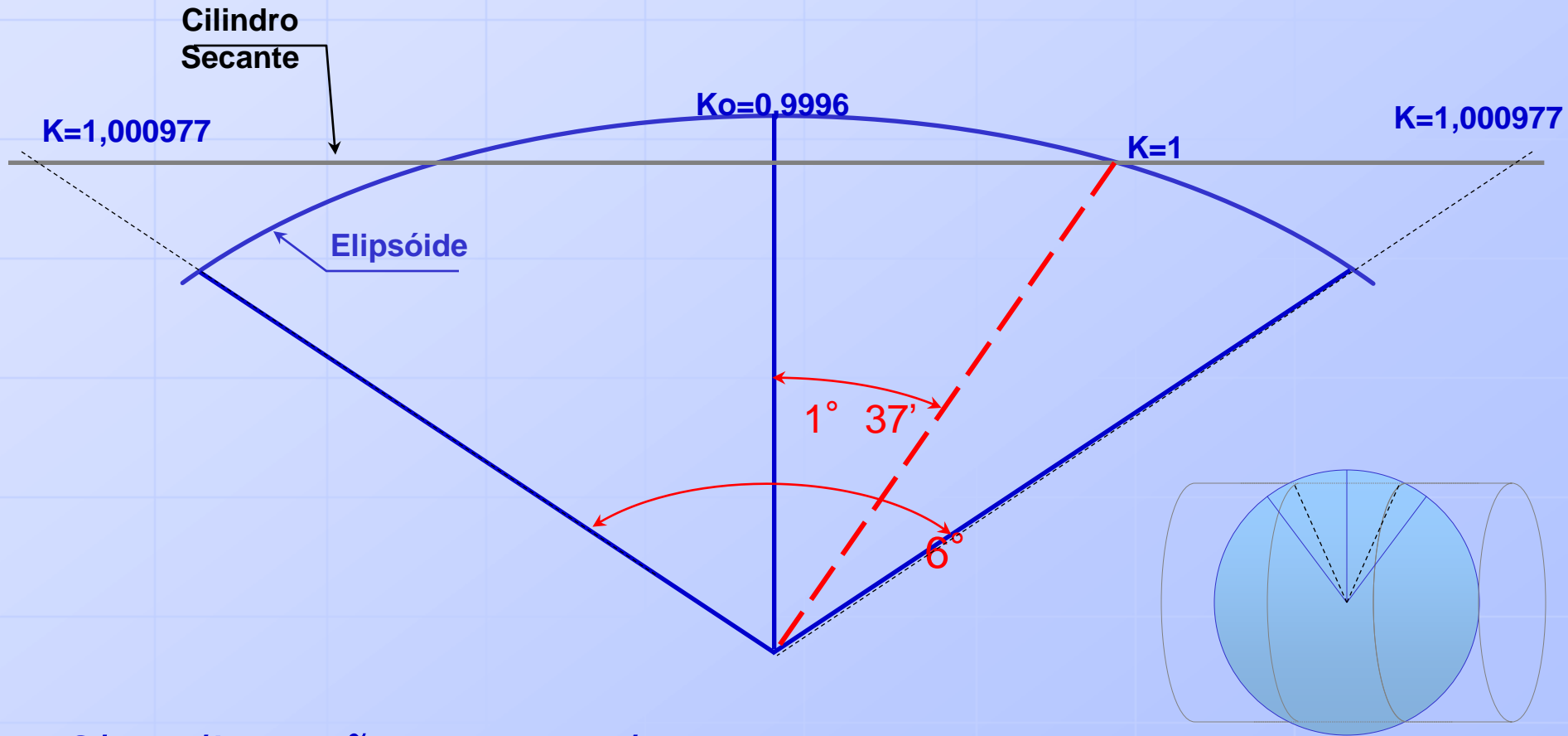
fator  $k$  aumenta na medida em que se afasta do ponto de tangência.

## Cilindro secante:

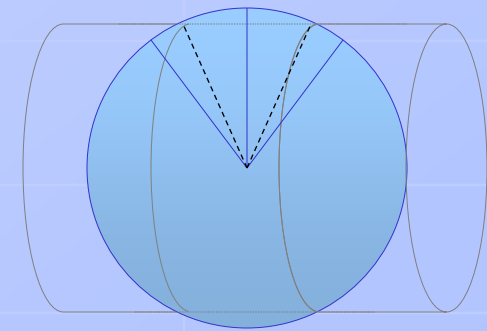
considerando o mesmo arco na superfície do elipsóide, temos valores de  $k$  maiores e menores que 1.

fator  $k$  tem margem de aumento menor.

# Fator de redução de Escala Ko



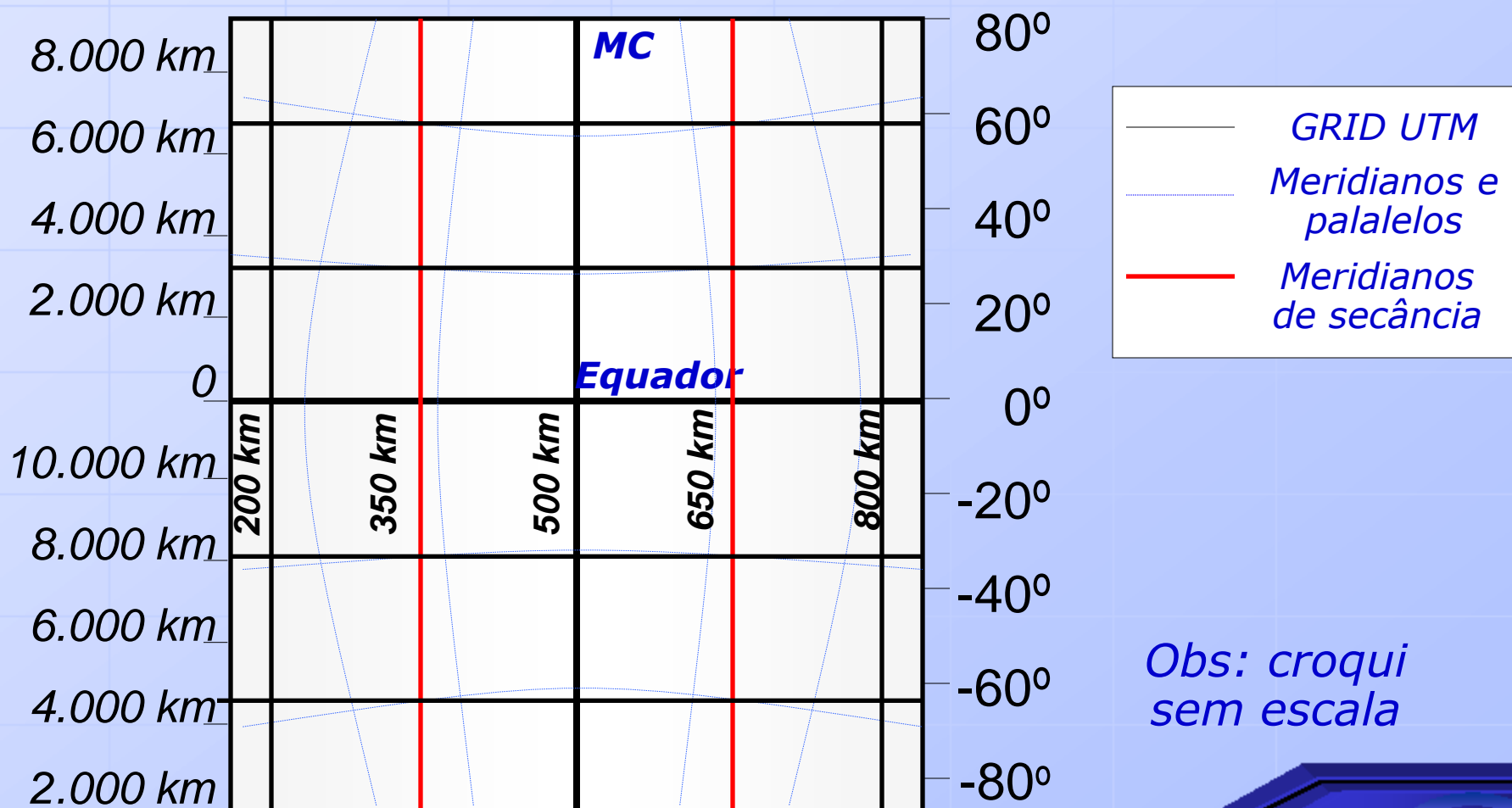
*Obs: dimensões exageradas*



# Características da Universal Transversa de Mercator

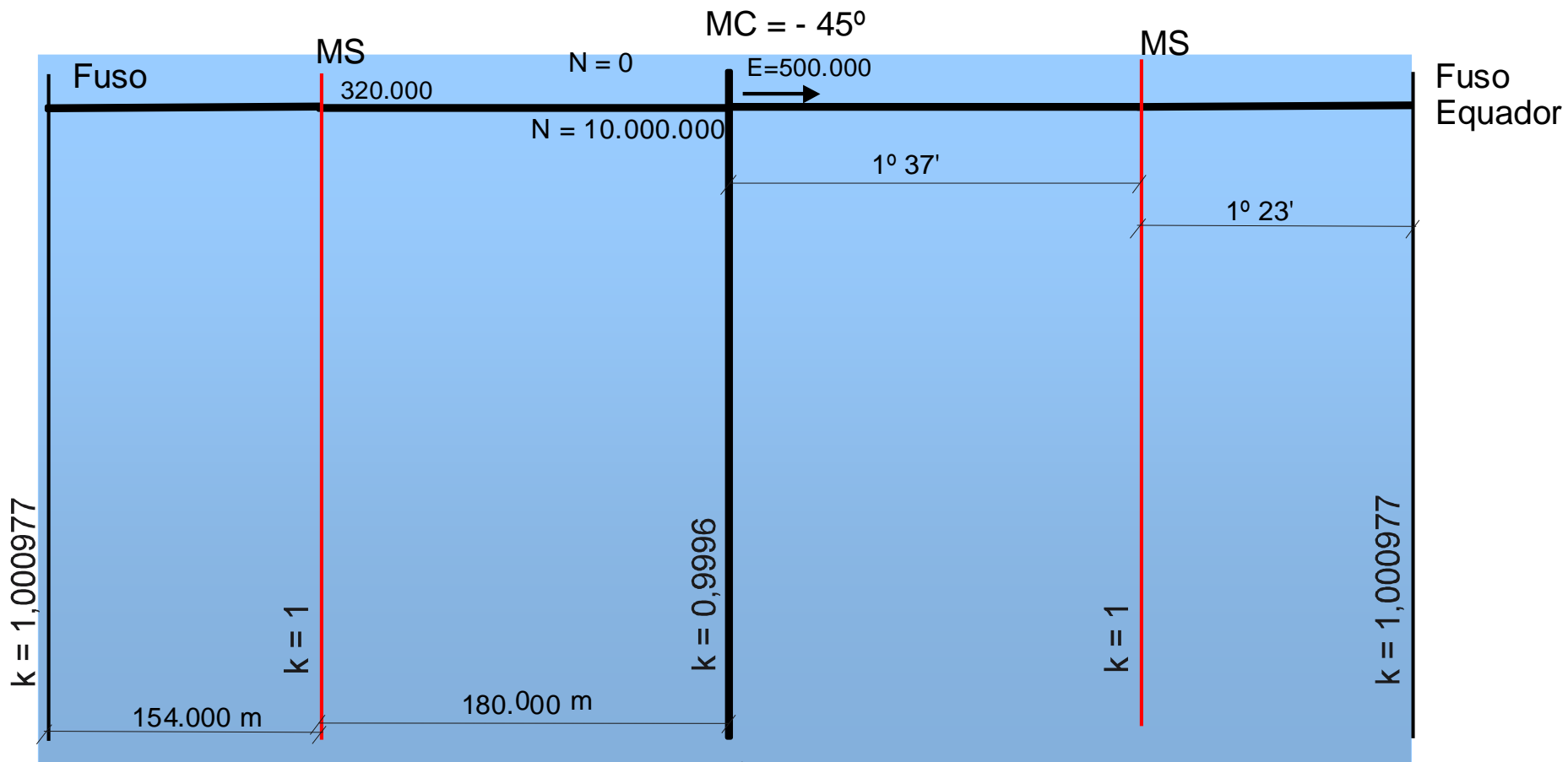
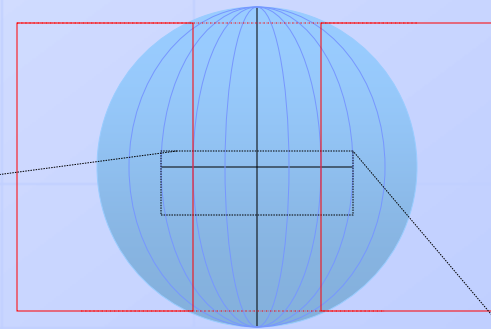
- A projeção UTM é limitada em latitude (de  $80^{\circ}$  N a  $84^{\circ}$  S);
- Meridianos Centrais: Múltiplos de  $6^{\circ}$  ;
- Origem das coordenadas plano-retangulares:
  - Na interseção do Plano do Equador com o meridiano central (MC) do fuso
  - N = 0 m para o Hemisfério Norte
  - N = 10.000.000 m para o Hemisfério Sul
  - E = 500.000 m

# Características da Universal Transversa de Mercator





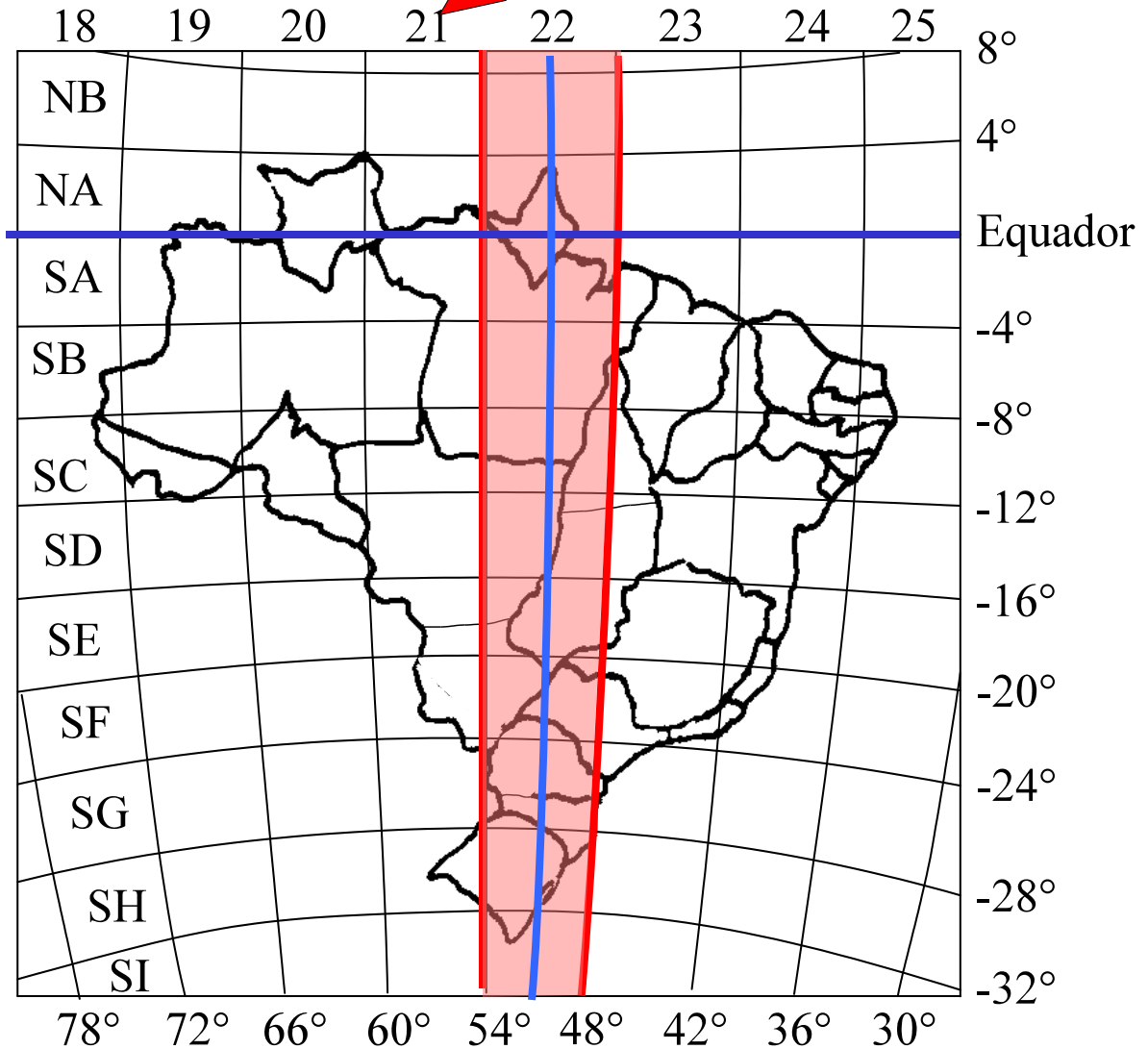
# Características da UTM





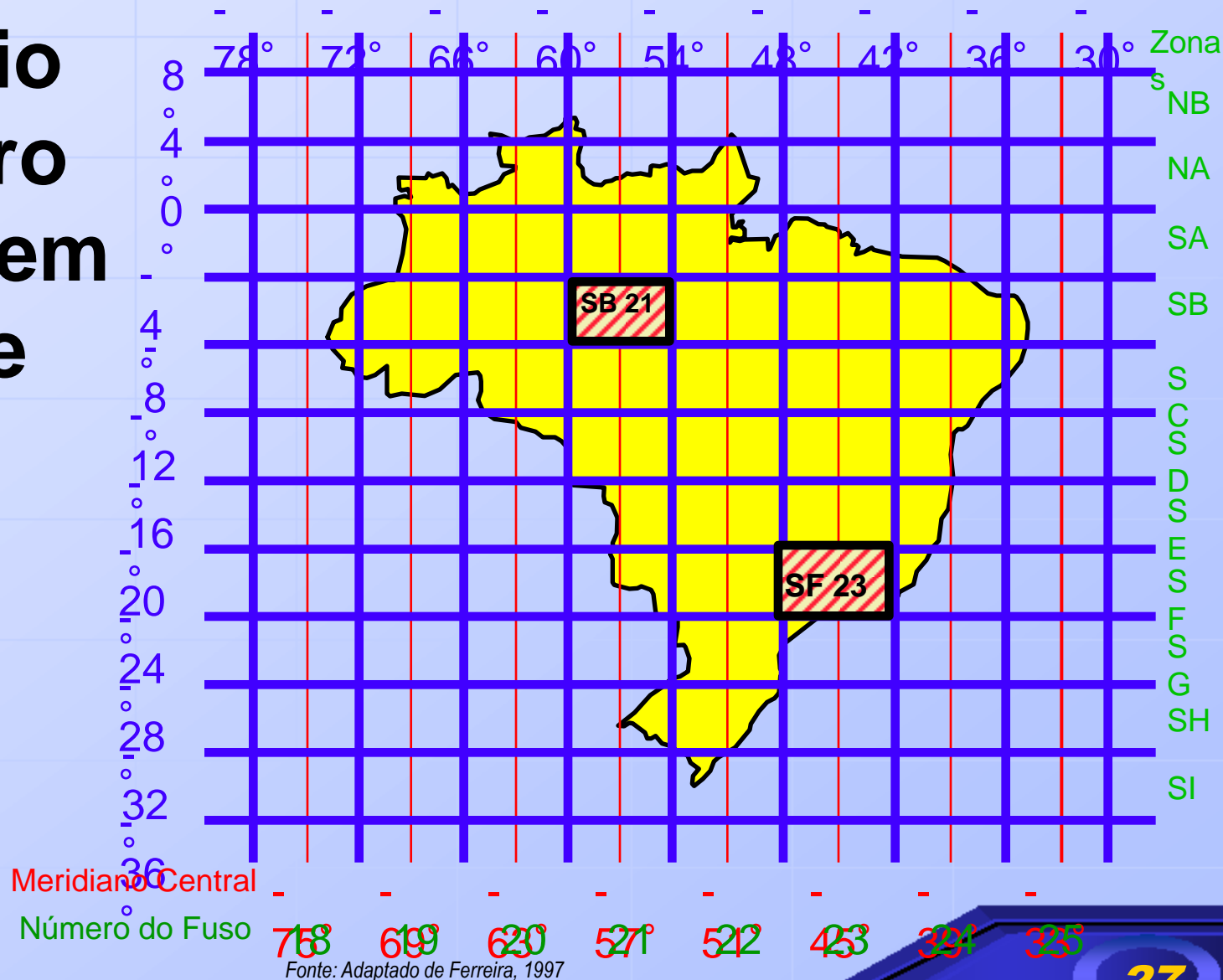
# Território brasileiro dividido em fusos do Sistema UTM

- Meridiano Central:  $-51^{\circ}$  com Greenwich



# Território brasileiro dividido em fusos e zonas

- SF 23: região da Cidade de São Paulo



# Superfícies a serem consideradas

## Superfície Física

Materializada por levantamentos topográficos, aerofotogrametria e GPS

## Geóide

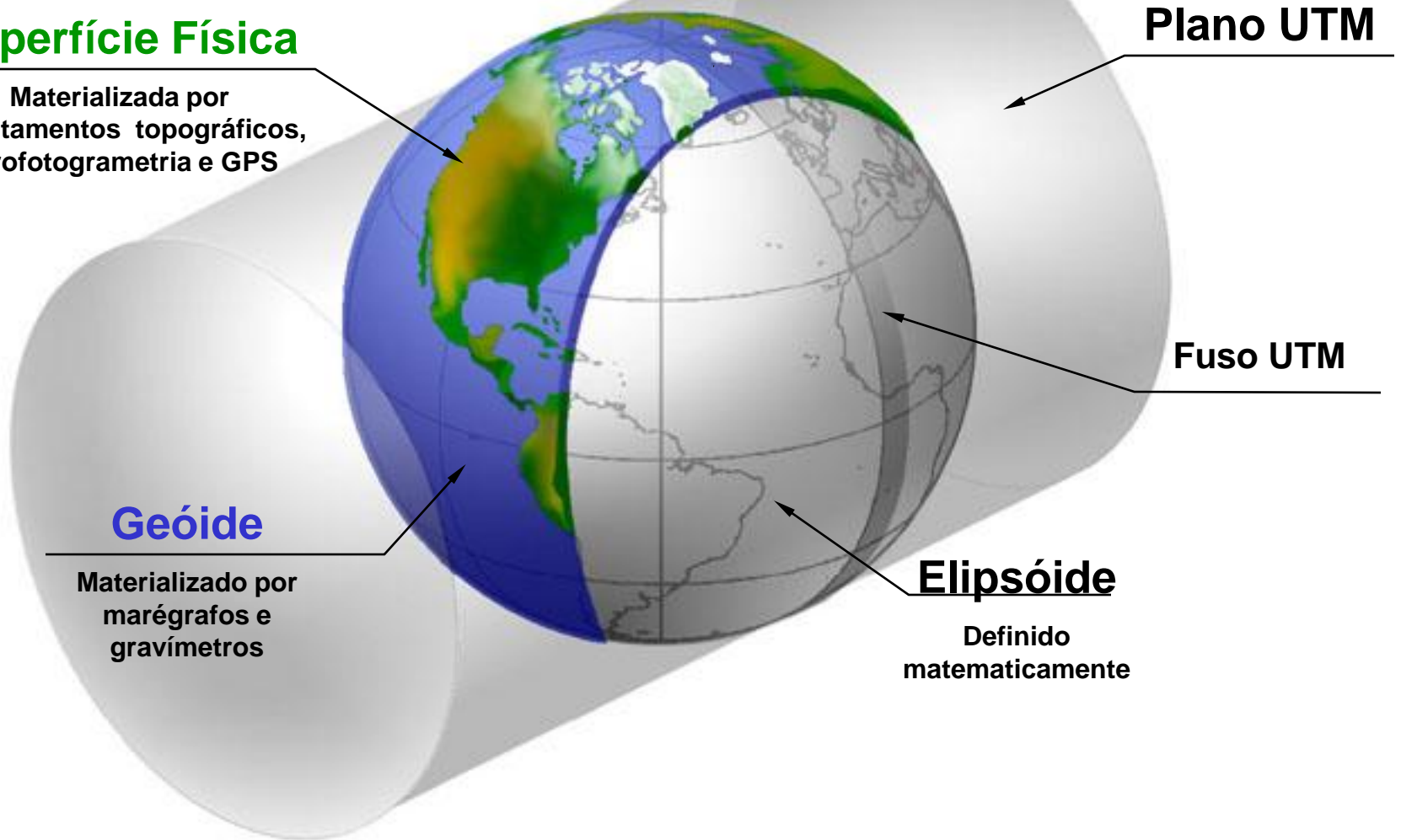
Materializado por marégrafos e gravímetros

## Elipsóide

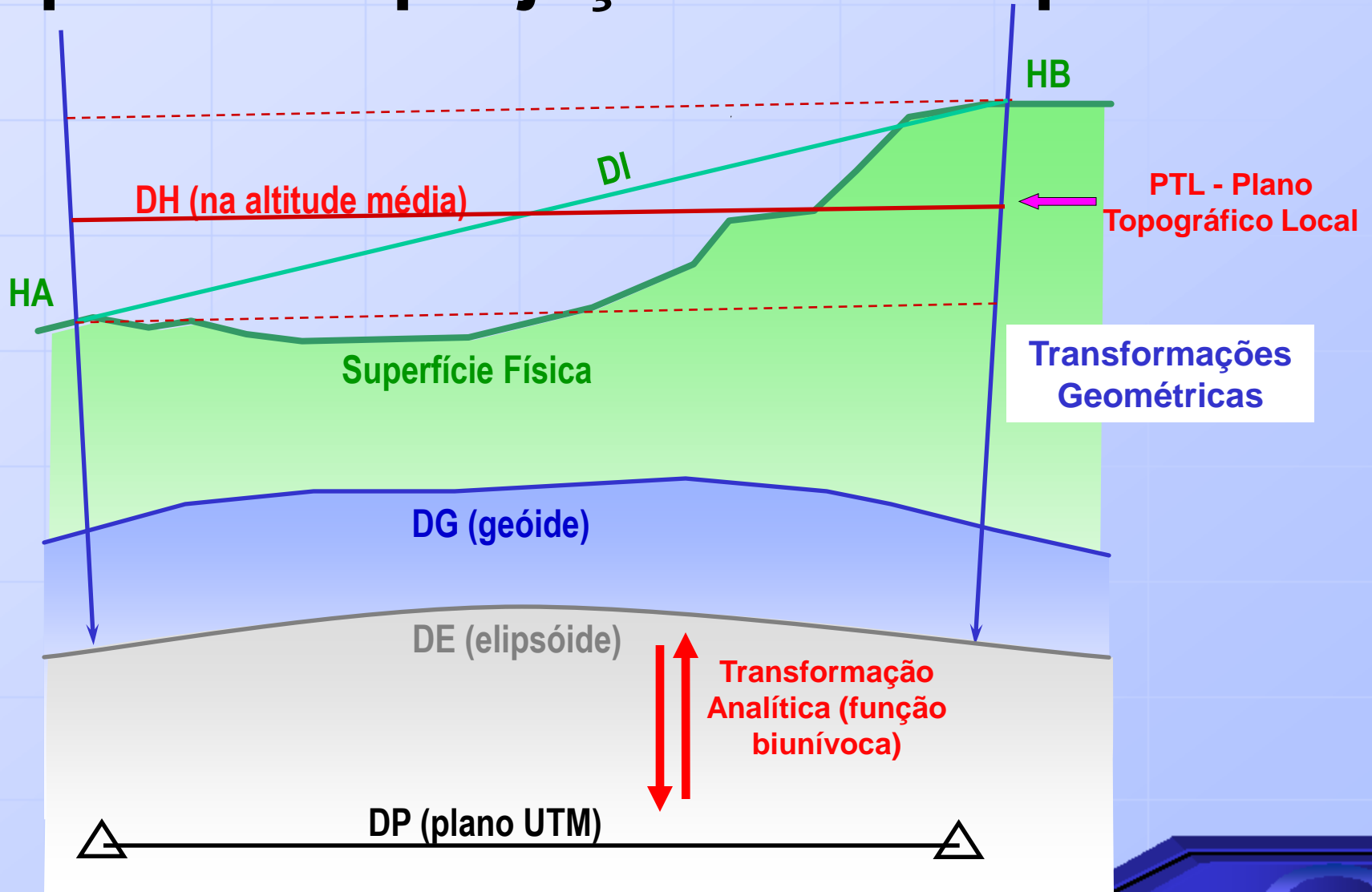
Definido matematicamente

## Plano UTM

## Fuso UTM



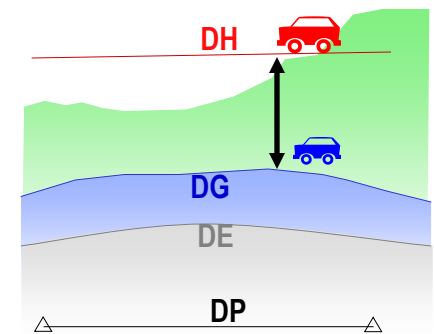
# Esquema de projeção entre superfícies



# Cálculo da distância sobre a Superfície de Raio Médio ( $\approx$ geóide)

Transformação  
Geométrica

$$DG = DH - \frac{DH \cdot \Delta H}{R} + \frac{DH \cdot \Delta H^2}{R^2}$$



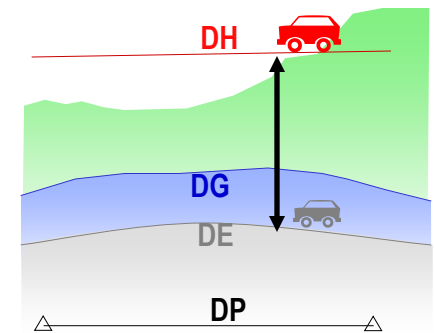
Onde:

- DG = distância sobre a superfície de raio médio (geóide)
- DH = distância horizontal (na altitude média)
- $\Delta H$  = altitude média
- R = raio médio terrestre ( $\approx 6.378.000$  m)

# Cálculo da distância sobre o Elipsóide

Transformação  
Geométrica

$$DE = DG + \frac{DG^3}{24.R^2}$$



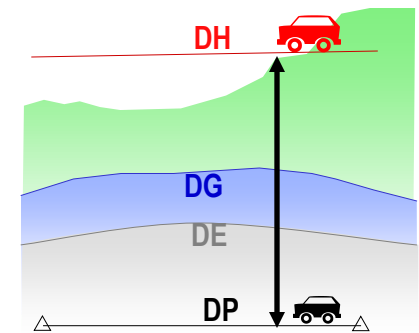
Onde:

- DE = distância sobre o elipsóide
- DG = distância sobre a superfície de raio médio (geóide)
- R = raio médio terrestre ( $\approx 6.378.000$  m)

# Cálculo da distância sobre o plano UTM

Transformação  
Analítica

$$SP = k.SE$$



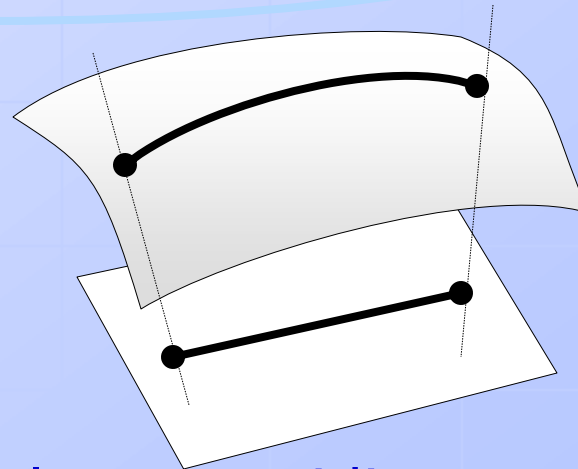
Onde:

- SP = distância sobre o plano UTM
- SE = distância sobre elipsóide
- k = fator de escala na região considerada (UTM)



# Distorção Linear

$$K = K_0 / \sqrt{1 - [\cos \phi_m \operatorname{sen} (\lambda_m - \lambda_0)]^2}$$

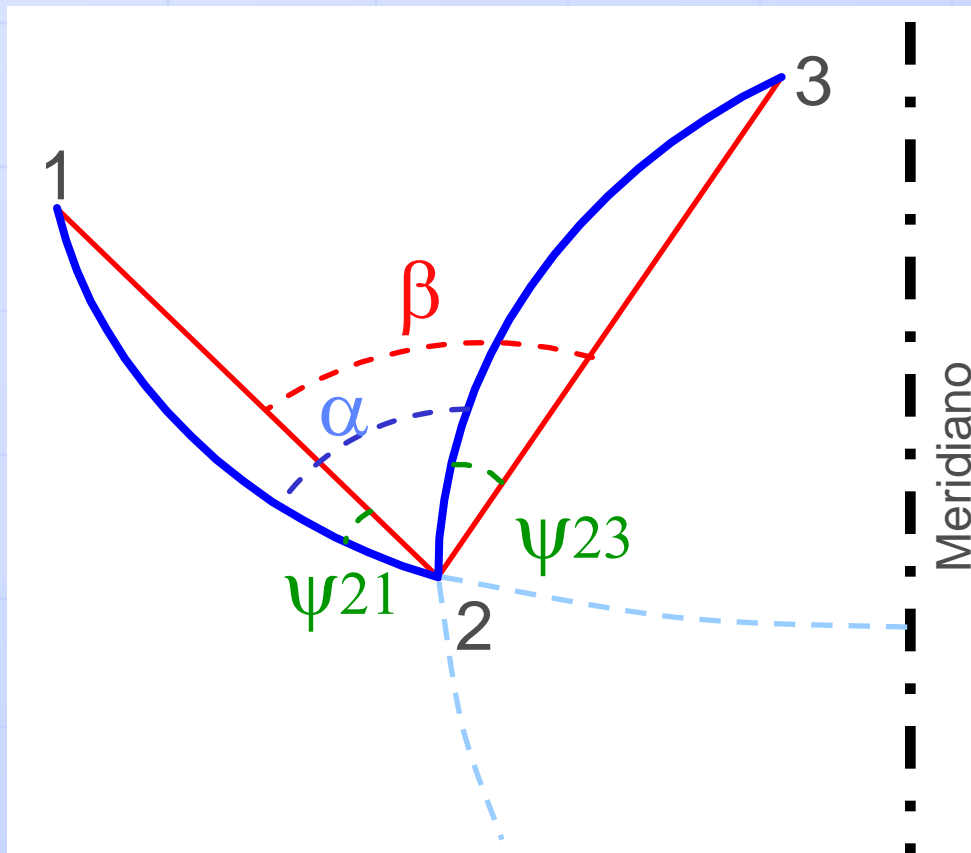


Onde:

- $K_0 = 0,9996$  (Fator de escala no meridiano central)
- $K$  = Fator de escala no ponto de interesse
- $\Phi_m, \lambda_m$  = Latitude e Longitude Médias do Segmento

# Distorção Angular

Diferença entre o ângulo projetado  $\beta$  e o ângulo geodésico  $\alpha$  :



Transformadas entre o plano UTM e o elipsóide

$$\alpha = \beta + \psi_{21} - \psi_{23}$$

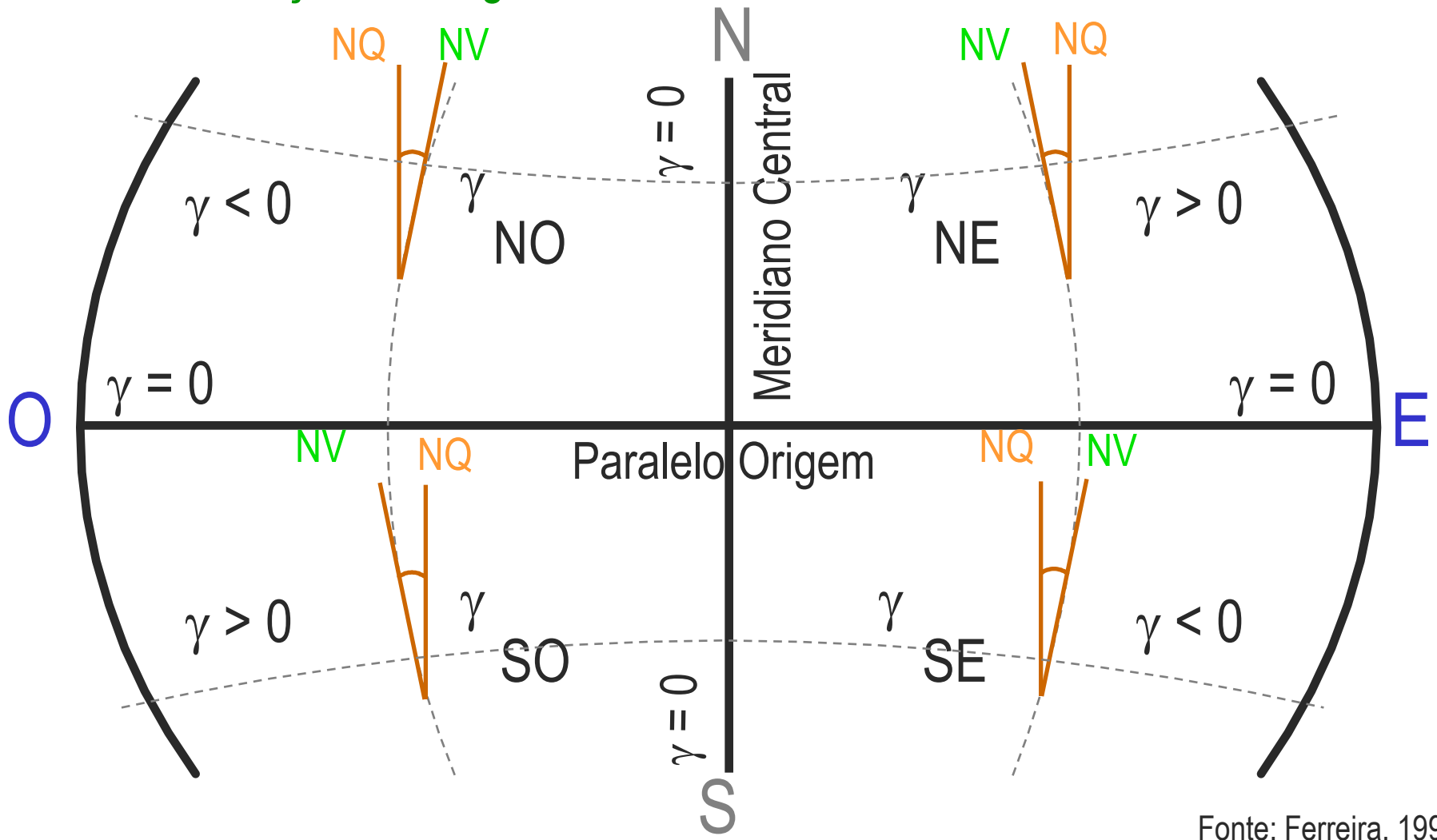
$$\beta = \alpha + \psi_{23} - \psi_{21}$$

Fonte: Ferreira, 1997

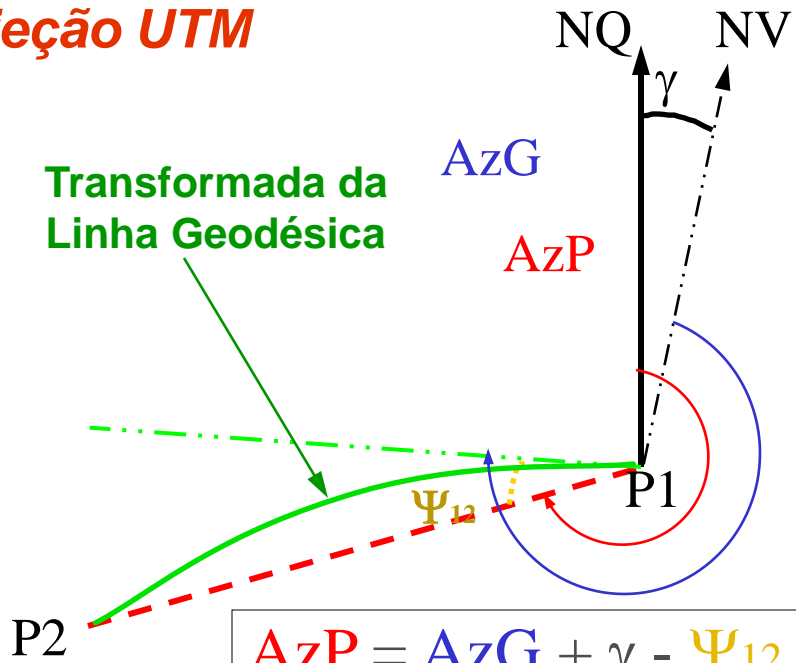
Diferença entre o Norte de Quadrícula - NQ - e o Norte Verdadeiro – NV (ou, Norte Geodésico – NG).

NQ - paralelo à direção das ordenadas do quadriculado

NV ou NG - direção da tangente à transformada do meridiano

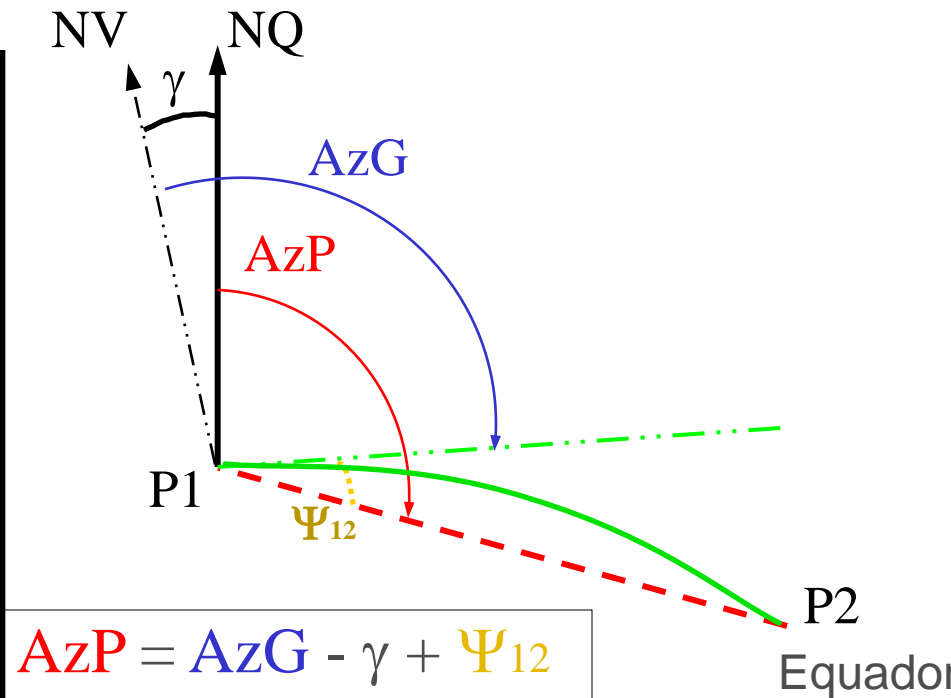


# Projeção UTM



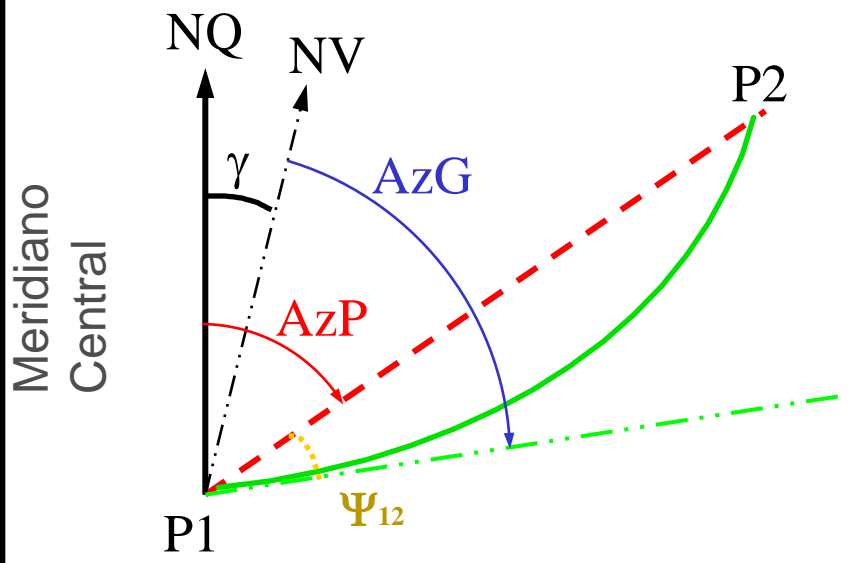
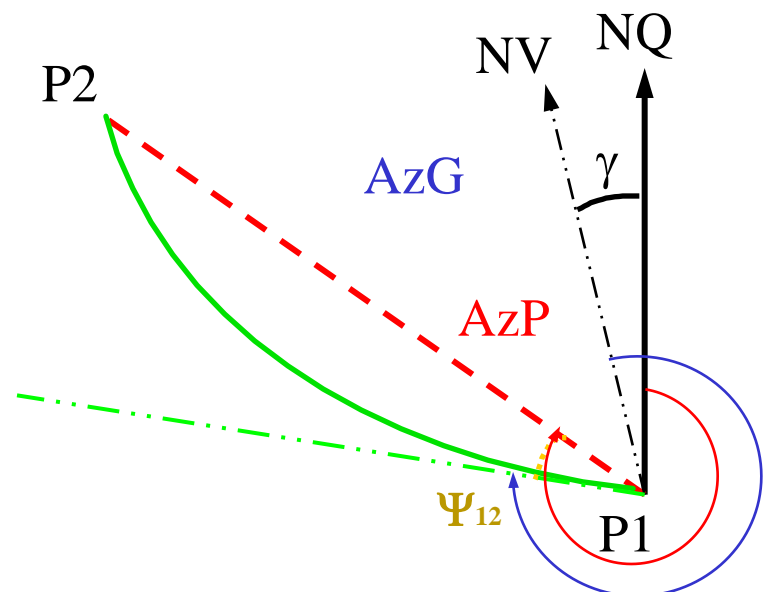
$$AzP = AzG + \gamma - \Psi_{12}$$

$$AzP = AzG - \gamma + \Psi_{12}$$



$$AzP = AzG - \gamma + \Psi_{12}$$

$$AzP = AzG + \gamma - \Psi_{12}$$



Meridiano Central

# RTM

## Regional Transverso de Mercator

- Amplitude do Fuso:  $2^\circ$  em longitude (180 fusos)
- Meridiano Central: Nas longitudes de grau ímpar
- Coeficiente de deformação de escala no meridiano central  $\Rightarrow k = 0,999995$
- Origem das coordenadas plano-retangulares:
  - Na interseção do Plano do Equador com o meridiano central (MC) do fuso
  - $N = 0$  m para o Hemisfério Norte e,
  - $N = 5.000.000$  m para o Hemisfério Sul
  - $E = 400.000$  m

# LTM

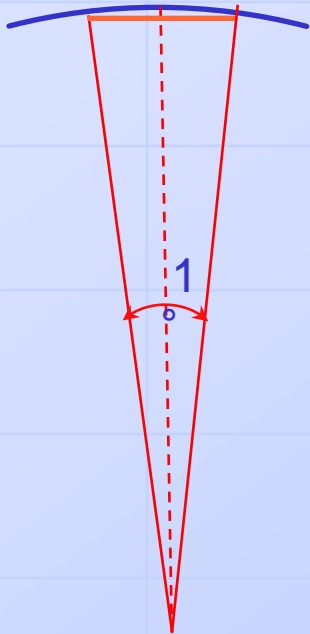
## Local Transverso de Mercator

- Amplitude do Fuso:  $1^\circ$  em longitude (360 fusos)
- Meridiano Central: a cada  $30'$
- Coeficiente de deformação de escala no meridiano central  $\Rightarrow k = 0,999995$
- Origem das coordenadas plano-retangulares:
  - Na interseção do Plano do Equador com o meridiano central (MC) do fuso
  - $N = 0$  m para o Hemisfério Norte e,
  - $N = 5.000.000$  m para o Hemisfério Sul
  - $E = 200.000$  m

# LTM / UTM / RTM

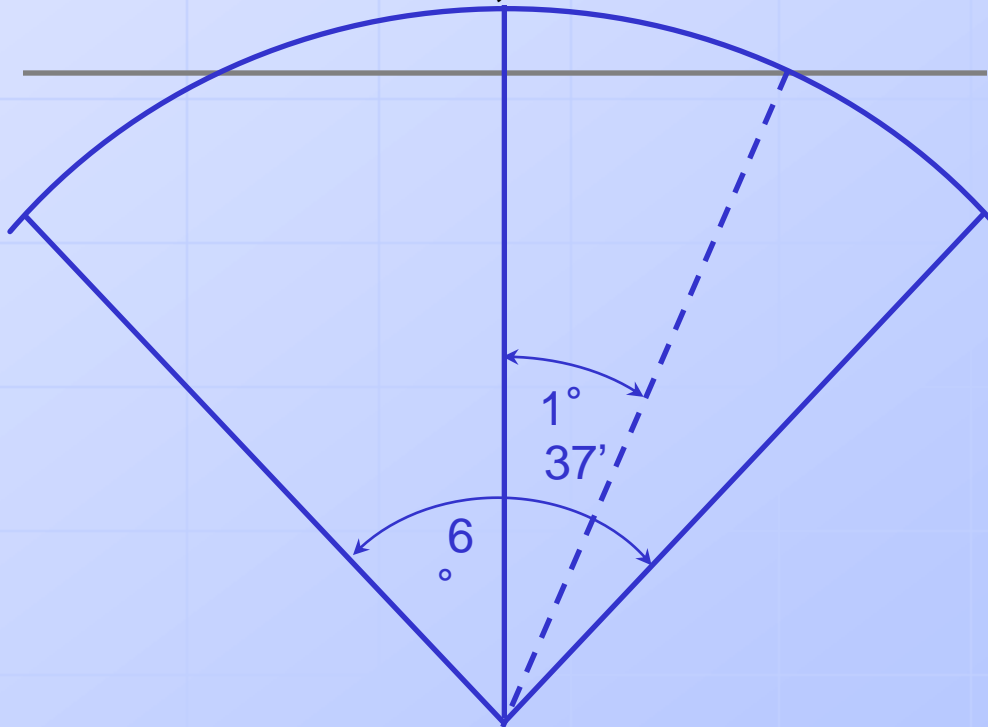
**Local  
Transversa de  
mercator**

$Ko=0,999995$



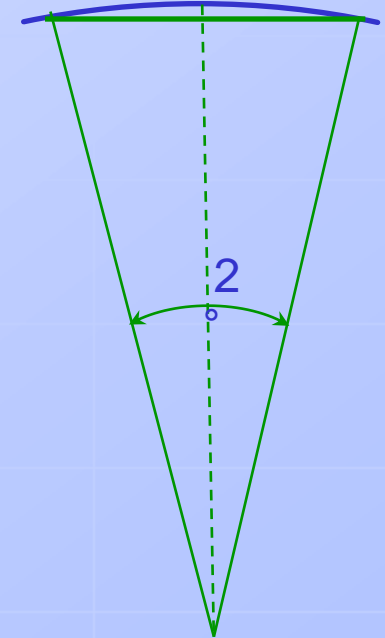
**UTM**

$Ko=0,9996$



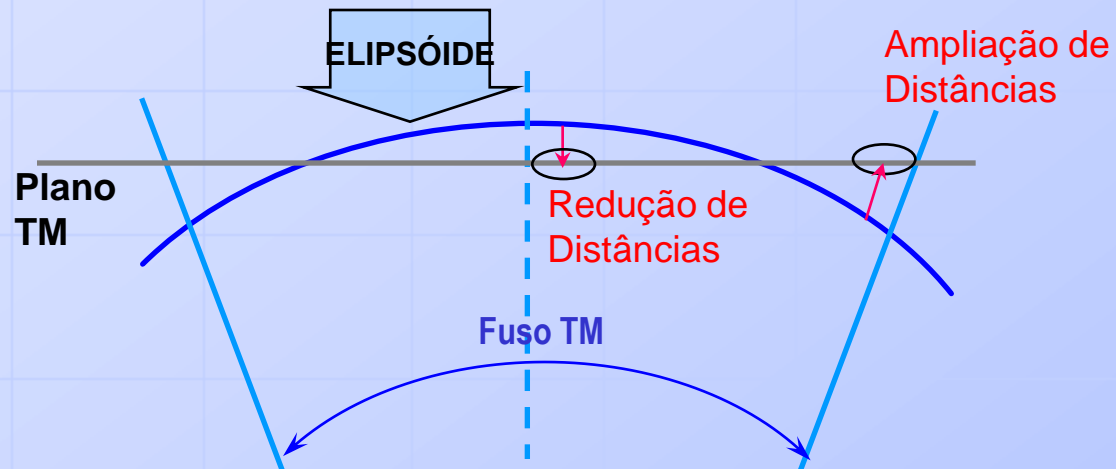
**Regional  
Transversa  
de Mercator**

$Ko=0,999995$



*Obs: dimensões exageradas*

# Características das TMs



TM	Arco de Fuso (1)	Origem	Falso Norte (2)	Falso Este	$K_0$ (3)	K máximo (4)
UTM	6°	MC e Equador	10.000 km	500 km	0,999 6	1,000 97
RTM	2°	MC e Equador	5.000 km	400 km	0,999 995	1,000 152
LTM	1°	MC e Equador	5.000 km	200 km	0,999 995	1,000 037

(1): borda do primeiro fuso no anti-meridiano de Greenwich;

(2): para o hemisfério Sul;

(3): no meridiano central

(4): borda do fuso