Sistemas de Referência Globais

1. Definição

∴ Para definir um sistema de coordenadas tridimensional, necessitamos de especificar:

a) A localização da sua origem;
b) A orientação dos seus três eixos;
c) Os parâmetros (cartesianos ou curvilíneos) que definem a posição de um ponto.

2. Referencial Inercial (ou newtoniano)

∴ Referencial em relação ao qual um corpo está em repouso ou apenas animado de um movimento de translação uniforme.

Sistemas Inercias

2.1 Exemplos de Sistemas Inércias

a) Sistema eclíptico – referencial heliocêntrico directo, definido para uma época padrão, cujo eixo ZZ aponta para o pólo Convencional Eclíptico, o eixo XX está dirigido par o Ponto Vernal.

- Este referencial é quasi-inercial, porque é definido a menos da precessão planetária e do pequeno movimento relativo da nossa galáxia;

b) Referencial Inercial Convencional – referencial geocêntrico directo, referido à época padrão J2000.0, eixo ZZ dirigido para o pólo norte celeste médio e eixo XX dirigido para o Equinócio (γ) médio referidos à época J2000.0;

∴ Há diferentes maneiras de estabelecer um referencial deste tipo (fixo ao espaço), intimamente relacionadas com a técnica de observação utilizada:

- CIRF (VLBI)	- CIRF (Estelar)
- CIRF (Satélite)	- CIRF (Lunar)

Sistemas Fixos à Terra

3. Referenciais Globais fixos à Terra

a) Sistemas geocêntricos que acompanha o movimento terrestre:

b) Devido ao movimentos da Terra no espaço e ao facto de a Terra ser não rígida, tem que se estabelecer o referencial com base em convenções – Sistema Terrestre Convencional (CTS), relativo ao uma época bem definida;

c) Um sistema convencional pode ser estabelecido através de um conjunto de coordenadas cartesiana de estações internacionais de referência pertencentes a uma rede terrestre global

d) ECFF – *Earth Centered Fixed Reference Frame*; um CTS geocêntrico, com origens no Pólo Terrestre Convencional (CTP), antiga CIO, e no meridiano médio de Greenwich (GMO), ou Meridiano Internacional de Referência.

Sistemas Fixos à Terra

3.1 Sistema de Coordenadas ITRF

a) O referencial ITRF (*IERS Terrestrial Reference Frame*), estabelecido pela primeira vez em 1989, é definido pelo conjunto de coordenadas (e velocidades) de uma rede internacional de estações geodésicas do IERS e IGS, com actualização bianual;

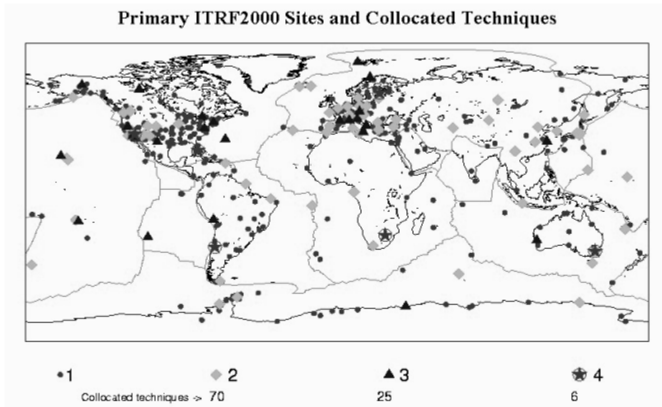
b) A determinação destas coordenadas é feita a partir de várias técnicas de observação, quer astronómica quer de satélite (VLBI, SLR, GPS e DORIS);

c) É a partir deste sistema que, por exemplo, são calculadas as efemérides de precisão dos satélites de GPS pelo IGS (http://lareg.ensg.ing.fr/ITRF)

d) O nome de cada referencial designa-se por *ITRFnn* (ITRF96, ITRF97, etc.), para se mudar de um ITRF para outro recorre-se a um conjunto de 14 parâmetros (parâmetros Helmert e respectivas variações) para se proceder à designada *transformação de coordenadas*.

Sistemas Fixos à Terra

3.2 Distribuição mundial das estações ITRF



Sistemas Fixos à Terra

3.3 Sistema de Coordenadas WGS84

a) O WGS84 (World Geodetic System, estabelecido em 1984) é um sistema global de coordenadas associado ao sistema de posicionamento GPS;

b) Definido pela *U.S. Defense Mapping Angency* (actual *NIMA*), este sistema é usado pelo próprio sistema GPS na determinação de efemérides radiodifundidas, nas operações dos satélites e no cálculo convencional de coordenadas;

c) O sistema teve como base um modelo gravitacional da Terra, e por isso o elipsóide associado é um elipsóide geocêntrico equipotencial de revolução, ou seja, está-lhe associado um campo gravítico normal com uma rotação definida;

d) A sua definição foi feita com base nas observações existentes até 1984 de vários sistemas, nomeadamente, do seu sistema anterior – *TRANSIT*;

e) Já foram feitas algumas revisões do seu elipsóide ao nível do semi-eixo maior, da excentricidade e do seu centro (em 1994 -G739 e 1996 -G873).

Sistemas Fixos à Terra

3.3 Sistema de Coordenadas WGS84

e) Parâmetros originais do WGS84;

Semi-eixo maior	a = 6 378 137.000 00 m
Coef. esférico zonal de 2º grau	$C_{2,0}$ = -484.166 85 x10^{-6}
Velocidade angular (da Terra)	ω_E = 7 292 115 x10^{-11} rad s^{-1}
Constante gravitacional (da Terra)	μ (GM) =3 986 005 x10^{8} m^3 s^{-2}

f) Parâmetros derivados do WGS84

Semi-eixo menor	b = 6 356 752.314 25 m
Achatamento	f = 3.352 810 664 74 x10^{-3}
Quadr. da 1ª excentricidade	e2 = 6.694 379 990 13 x10^{-3}
Quadr. da 2ª excentricidade	e'2 = 6.739 496 742 26 x10^{-3}

Transformação SIC-STC

4. Transformação de coordenadas

a) A transformação entre dois sistemas tridimensionais cartesianos pressupõe a definição de 7 parâmetros: 3 translações e 3 rotações (em X, Y e Z) e, um factor de escala;

b) Pressupondo que os centros coincidem e a não variação de escala, esta transformação resume-se à aplicação de rotações associadas aos movimentos absolutos e relativos da Terra – precessão, nutação, rotação da Terra e movimento do pólo;

c) A transformação é expressa pela seguinte matriz de rotação total R(t):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{CTS} = R(t) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{CIS} \quad \text{com} \quad R(t) = R^M(x_p, y_p) R^R(TSAG) R^N R^P$$

Transformação SIC-STC

4.1 Matrizes de Rotação

d) **R^P é a matriz de rotação da precessão**, cuja finalidade é obter um vector de posição no mesmo sistema inercial médio, mas referido à época de observação t;

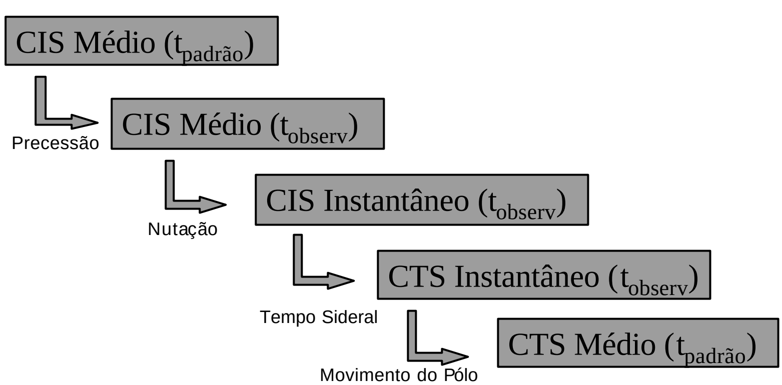
e) **R^N é a matriz de rotação da nutação**, cuja finalidade é transformar o vector de posição, dado no sistema inercial médio à época de observação t, num vector de posição referido a um sistema inercial verdadeiro, referido à mesma época de observação;

f) **R^R é a matriz de rotação do ângulo horário do ponto vernal** relativamente ao meridiano de Greenwich (TSAG), e que transforma X_{SI}, referido ao sistema inercial em X_{ST}, referido a um sistema geocêntrico terrestre instantâneo, à época de observação t;

g) **R^M é a matriz de rotação do movimento do pólo**, cuja finalidade é transformar o vector de posição referido a um sistema geocêntrico terrestre instantâneo, à época t, para um sistema geocêntrico terrestre convencional.

Transformação SIC-STC

4.2 Passagem do CIS para CTS



Transformação de Coordenadas

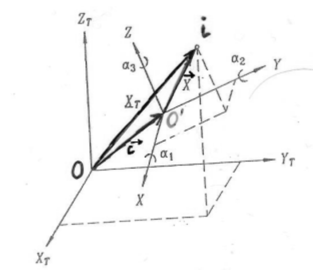
5. Transformação tridimensional de Helmert

a) A transformação entre dois sistemas tridimensionais cartesianos é realizada, normalmente, através de uma Transformação de Helmert a 7 parâmetros (**3 translações**, **3 rotações** e **um factor** de escala):

$$\vec{X}_T = \vec{c} + m\boldsymbol{R}\vec{X}$$

onde

$$\vec{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} 1 & d\alpha_3 & -d\alpha_2 \\ -d\alpha_3 & 1 & d\alpha_1 \\ d\alpha_2 & -d\alpha_1 & 1 \end{bmatrix}$$



Transformação de Coordenadas

5.1 Parâmetros Nacionais da Transformação de Helmert

a)

WGS84 para:	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	Rx (“)	Ry (“)	Rz (“)	Escala (ppm)
DatumLx	+288.885	+91.744	-126.244	-1.69	+0.41	-0.21	+4.6
Datum73	+239.749	-88.181	-30.488	+0.26	+0.08	+1.21	+2.23

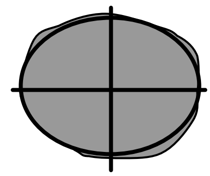
b)

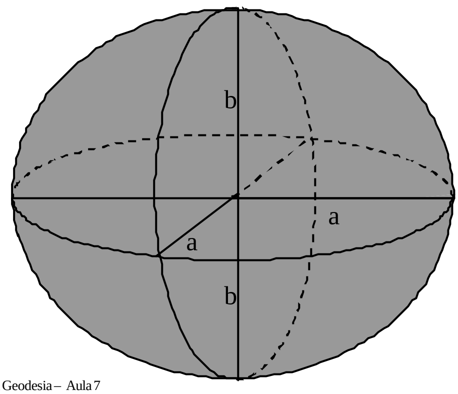
Datum73 para:	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	Rx (“)	Ry (“)	Rz (“)	Escala (ppm)
DatumLx	+49.137	+179.924	-95.757	-2.00	+0.33	-1.42	+6.80
ED50	-170.885	+223.069	+141.98	-0.79	-0.22	-0.65	+5.63

Coordenadas Geodésicas

6. Elipsóide de Revolução

- ✓ O elipsóide de revolução é a forma geométrica que melhor se aproxima e ajusta à forma irregular e achatada da terra.





a - semi-eixo maior
b - semi-eixo menor

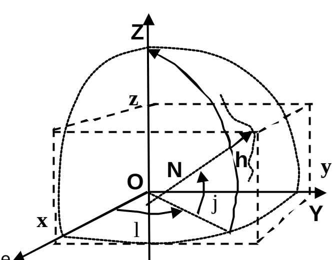
Coordenadas Geodésicas

6.1 Geodésicas Elipsoidais

j **- latitude**: ângulo entre a Normal ao elipsóide no ponto P e o plano do equador;

l **- longitude**: ângulo rectilíneo entre o plano do meridiano internacional de referência e o plano do meridiano do ponto P;

h - altitude: distância medida sobre a normal ao elipsóide do ponto P , desde a superfície do elipsóide até à superfície topográfica.



Rectangulares ou cartesianas

X : distância OX medida sobre o eixo equatorial que intersecta o meridiano de referência das longitudes, desde a origem O até ao respectivo ponto de projecção;

Y: distância OY medida sobre o eixo equatorial perpendicular ao plano do meridiano de referência das longitudes, desde a origem O até ao respectivo ponto de projecção;

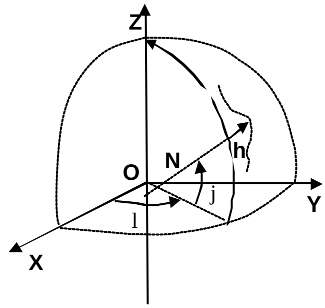
Z: distância OZ medida sobre o eixo de revolução (paralelo ao ERT), desde a origem O até ao respectivo ponto de projecção.

Coordenadas Geodésicas

6.2 Conversão de coordenadas geodésicas (sentido directo)

Geodésicas → Rectangulares

$$x_p = (N + h_p)\cos\varphi_p \cos\lambda_p$$
$$y_p = (N + h_p)\cos\varphi_p \sin\lambda_p$$
$$z_p = \left[N(1 - e^2) + h_p\right]\sin\varphi_p$$



com $N = \dfrac{a}{\sqrt{1 - e^2 sen^2\varphi}}$

Coordenadas Geodésicas

6.3 Conversão de coordenadas geodésicas (sentido inverso)

Rectangulares → Geodésicas

$$\lambda_p = arctg\left(\frac{y_p}{x_p}\right)$$

$$\varphi_p = arctg\left(\frac{z_p}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}}\left(1 + \frac{e^2 N\, sen\varphi}{z_p}\right)\right)$$

$$h_p = \frac{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}}{\cos\varphi} - N$$

- A determinação de φ é feita por um processo é iterativo, pois $\varphi_p = \varphi(\varphi_p)$ é uma função recursiva