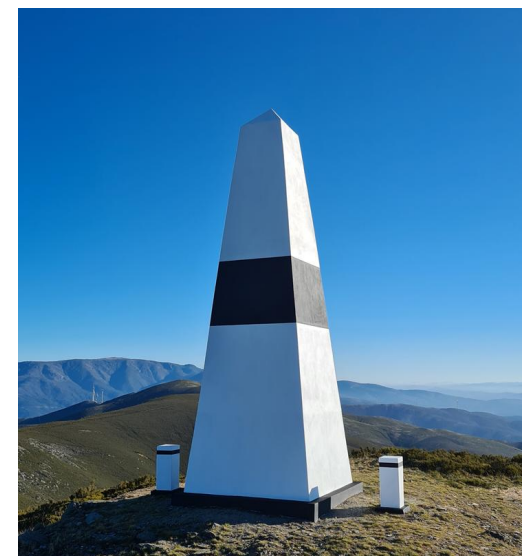


Sistemas Geodésicos de Referência de Portugal



Sumário

1. Breves conceitos de Geodesia
2. Sistemas Geodésicos de Referência
3. Sistemas de Referência Portugueses
4. Transformação de Coordenadas
5. WebTranscoord

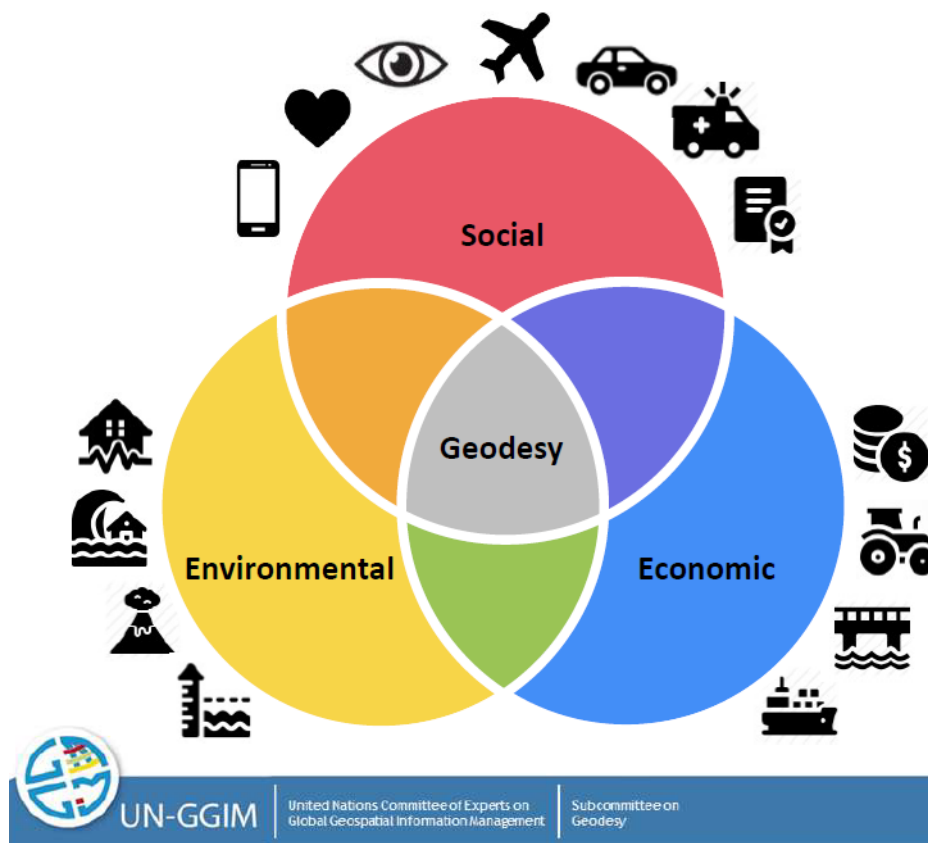
Geodesia, o que é?

Ciência que estuda a forma e dimensões da Terra, incluindo o seu campo gravítico e as variações ao longo do tempo

A Geodesia utiliza técnicas de medição terrestres e espaciais para determinar os referenciais geodésicos nos quais assentam todas as medidas e representações do nosso planeta

UN-GGIM - Subcommittee on Geodesy

United Nations Global Geodetic Centre of Excellence (GGCE)



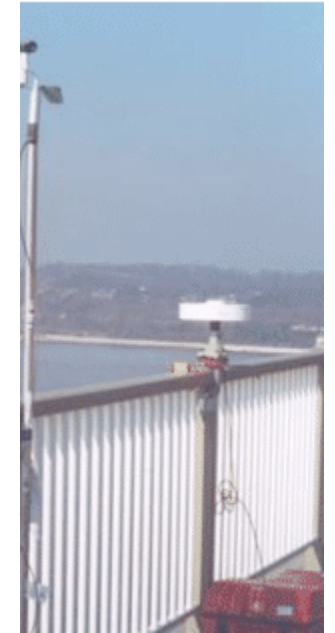
Geodesy

“Science of measuring the **shape, orientation** and **gravity field** of the Earth and how it changes over **time**.”

A Geodesia tem como objetivo:

- Determinar o campo gravítico da Terra
- Definir os Sistemas de Referência
- Apoiar estudos de geodinâmica
- Apoiar a navegação e posicionamento
- Apoiar a Cartografia e Cadastro
- Apoiar o Ordenamento do Território
- Apoiar a construção (edifícios, vias de comunicação, etc)
- Apoiar a construção e monitorização de obras de arte
- Monitorizar fenómenos naturais

➤ Apoio a todos os projetos onde seja necessário georreferenciar com precisão a informação



Sistema Geodésico de Referência

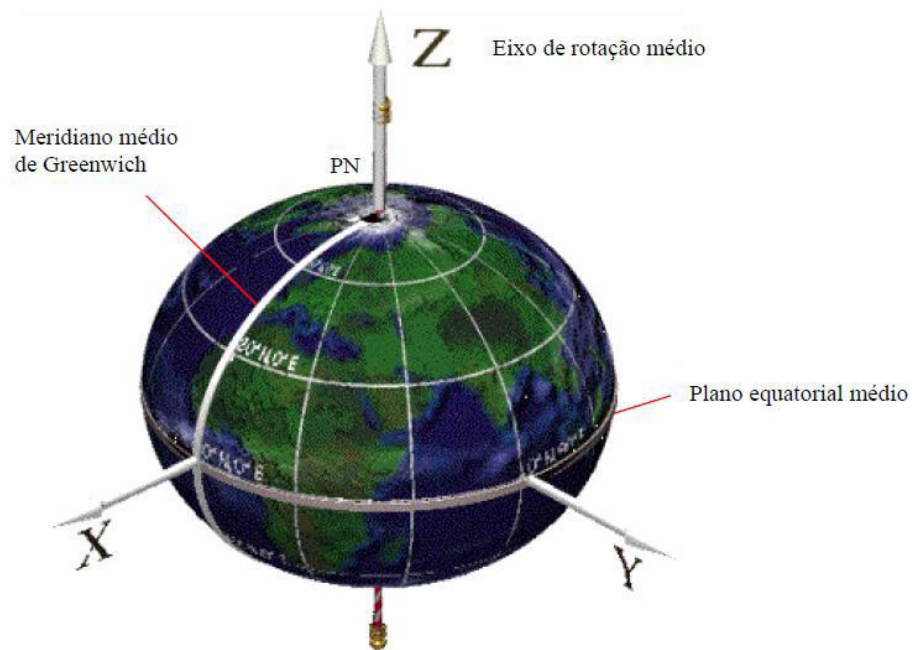
A DGT é a entidade responsável pela gestão, manutenção e desenvolvimento da Infraestrutura Geodésica Nacional e pelo estabelecimento dos Sistemas Geodésicos de Referência oficiais

Sistema Geodésico de Referência é o conjunto de parâmetros que permite posicionar univocamente um objeto sobre a superfície da Terra e é essencial para a realização de medições precisas e para a representação de dados geo-espaciais, garantindo a interoperabilidade entre dados provenientes de diferentes fontes



- Levantamentos topográficos e cadastrais
- Sistemas de Informação Geográfica
- Mapas e ortofotomapas
- Grandes obras de engenharia

Sistema Geodésico de Referência



Referencial (O, X, Y, Z)

O - origem (próximo do centro de massas da Terra)

(X, Y, Z) Ortogonal (OZ próximo do eixo de rotação da Terra)

Associado a um **elipsoide geodésico**:

Centro coincide com a origem **O** do sistema

- Eixo menor (b): eixo **OZ**
- Achatamento e dimensões próximas da forma da Terra (a, b, f)

$$f = \frac{a - b}{a}$$

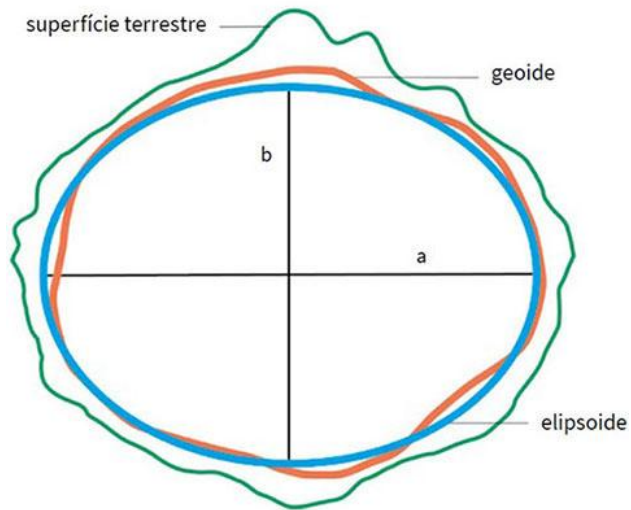
f - achatamento

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

e - excentricidade

Geoide – Superfície equipotencial do campo gravítico da Terra que melhor se ajusta ao nível médio das águas do mar

Elipsoide - Superfície matemática que representa de forma aproximada a forma da Terra



Alguns dos elipsoides mais utilizados em Portugal:

Nome do Elipsóide	Ano	Semieixo Maior (a)	Achatamento (f)	1/f
Bessel 1841	1841	6 377 397,155 m	1 / 299,1528128	299,1528128
Clarke 1866	1866	6 378 206,4 m	1 / 294,9786982	294,9786982
International (Hayford)	1924	6 378 388,0 m	1 / 297,0	297,0
GRS80	1980	6 378 137,0 m	1 / 298,257222101	298,257222101
WGS84	1984	6 378 137,0 m	1 / 298,257223563	298,257223563

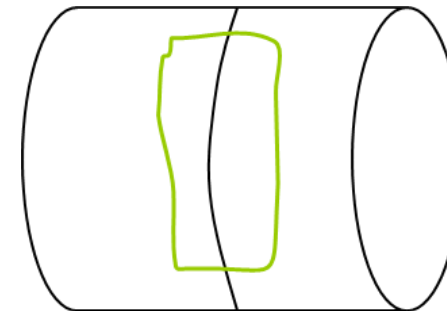
Projeção Cartográfica

Projeção cartográfica consiste numa fórmula de conversão de coordenadas geográficas (φ , λ) para coordenadas retangulares (M, P) ou seja a projeção cartográfica transforma o elipsoide num plano

➤ Gauss – Kruger ou Transversa de Mercator:

Conforme - mantém os ângulos

Projeta um elipsoide num cilindro transversal de secção elíptica, tangente ao meridiano central ➡ não há deformação



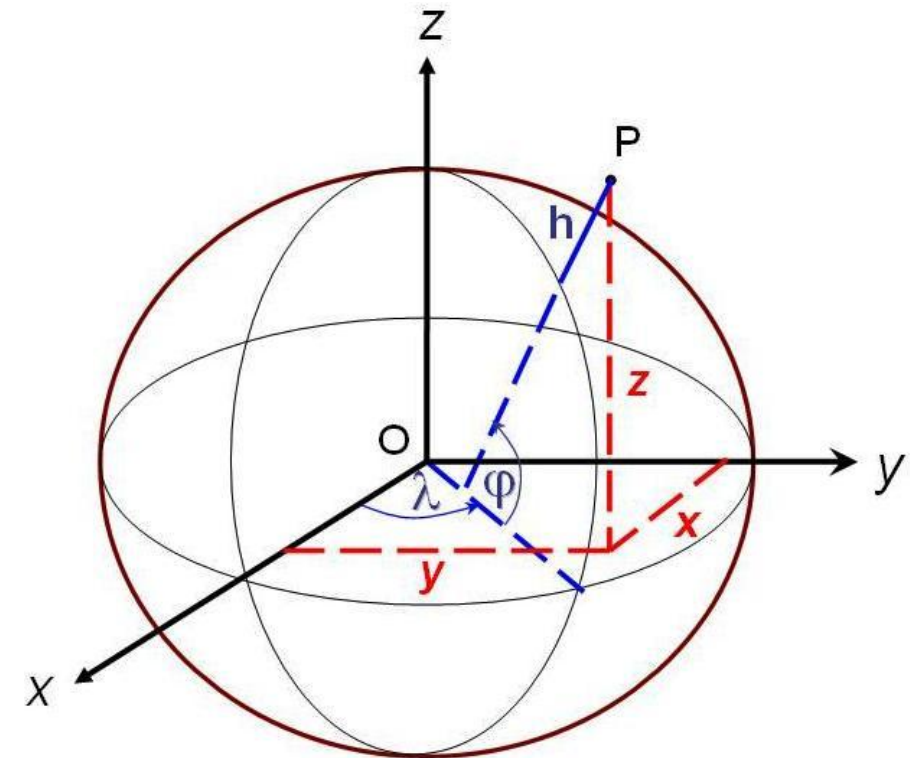
➤ Universal Transversa Mercator (UTM)

Conforme - mantém os ângulos

Coordenadas

- Coordenadas Tridimensionais ou Geocêntricas **(X,Y,Z)**
- Coordenadas Geográficas
 - Latitude: φ
 - Longitude: λ
 - Altitude elipsoidal: h
- Coordenadas Planimétricas Retangulares **(M,P)** ou **(x, y)** ou **(N, E)**

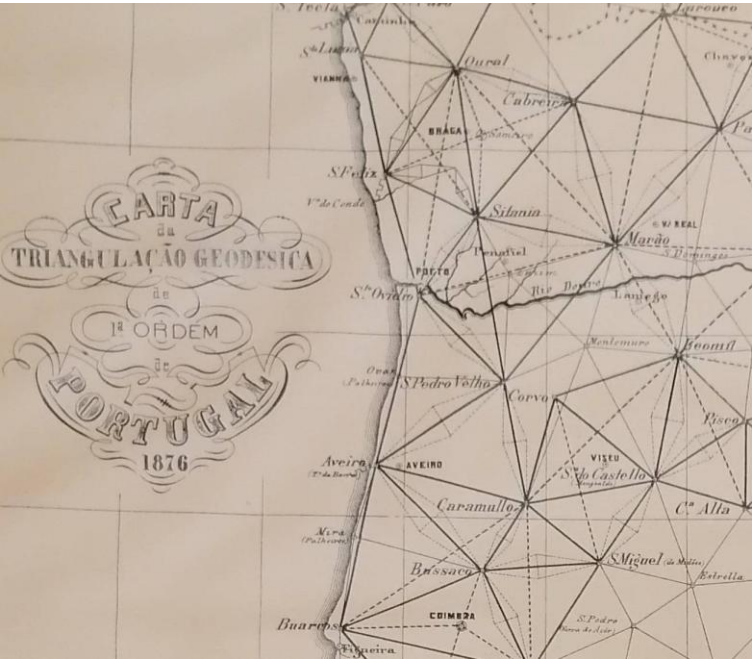
Uma projeção cartográfica transforma o elipsoide num plano
(facilitam cálculos e a representação cartográfica)



Sistemas de Referência - “locais” usados em Portugal continental

Definidos e ajustados localmente

- Escolha de um elipsoide
- Datum astronómico (Latitude, Longitude)
- Azimutes astronómicos (orientação)
- Triangulação geodésica e medição de bases para fixar a escala da rede



	Datum Lisboa (DLx)	Datum 73 (D73)
Nome completo	Datum Lisboa	Datum 73
Elipsoide associado	International 1924 (Hayford)	International 1924 (Hayford)
Semieixo maior (a)	6 378 388 m	6 378 388 m
Achatamento (1/f)	297	297
Ponto fundamental (origem)	Lisboa, Castelo de S. Jorge	Melriça (TF4))
Tipo de Datum	Local (ajustado a Portugal Continental)	Local (mais homogéneo que o DLX)
Métodos de observação	Observações: 1863-1888 por métodos clássicos	Observações: década de 1960, por métodos clássicos
Sistema de coordenadas	Gauss–Krüger (projeção de Transversa de Mercator)	Gauss–Krüger (projeção de Transversa de Mercator)
Origem das coordenadas retangulares	$\phi_0 = 39^{\circ} 40' 00''$ N	$\phi_0 = 39^{\circ} 40' 00''$ N
	$\lambda_0 = 08^{\circ} 07' 54,862''$ W	$\lambda_0 = 08^{\circ} 07' 54,862''$ W
Falsa origem das coordenadas retangulares:	0.0 m 0,0 m	Em M (distância à Meridiana): +180,598 m Em P (distância à Perpendicular): -86,990 m
Coeficiente de redução de escala no meridiano central	1	1

Sistemas de Referência - “locais” usados nas Regiões Autónomas

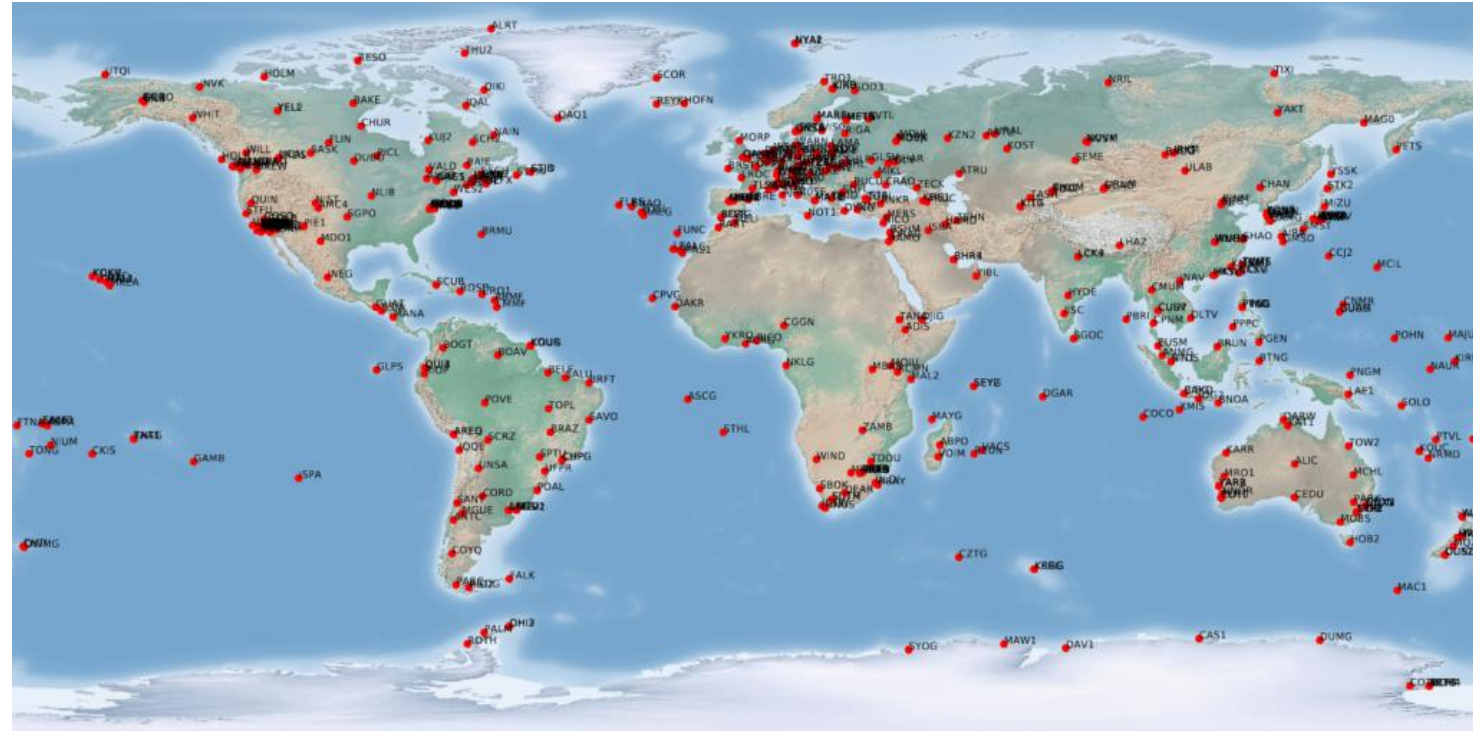


	RA dos Açores			RA da Madeira
	Datum S. Braz - S. Miguel (Grupo Oriental)	Datum Base SW - Graciosa (Grupo Central)	Datum Observatório - Flores (Grupo Ocidental)	Datum Base SE - Porto Santo
Elipsóide associado	International 1924 (Hayford)	International 1924 (Hayford)	International 1924 (Hayford)	International 1924 (Hayford)
Semieixo maior (a)	6 378 388 m	6 378 388 m	6 378 388 m	6 378 388 m
Achatamento (1/f)	297	297	297	297
Ponto fundamental (origem)	Vértice Geodésico S. Braz na ilha de S. Miguel (Observações astronómicas da década de 1940)	Vértice Geodésico Base SW na ilha Graciosa (Observações astronómicas de 1948)	Vértice Geodésico Observatório na ilha das Flores	Vértice Geodésico Base SE na ilha de Porto Santo (Observações astronómicas da década de 1930)
Tipo de Datum	Local (ajustado a S. Miguel e Santa Maria)	Local (ajustado ao grupo central)	Local (ajustado a Flores e Corvo)	Local (ajustado à Madeira e Porto Santo)
Métodos de observação	Observações Clássicas e observações espaciais	Observações Clássicas e observações espaciais	Observações Clássicas e observações espaciais	Observações Clássicas e observações espaciais
Sistema de coordenadas	UTM (Universal Tranverse Mercator) Fuso 26	UTM (Universal Tranverse Mercator) Fuso 26	UTM (Universal Tranverse Mercator) Fuso 25	UTM (Universal Tranverse Mercator) Fuso 28
Origem das coordenadas retangulares	$\phi 0 = 0^{\circ}$ N	$\phi 0 = 0^{\circ}$ N	$\phi 0 = 0^{\circ}$ N	$\phi 0 = 0^{\circ}$ N
	$\lambda 0 = 27^{\circ}$ W	$\lambda 0 = 27^{\circ}$ W	$\lambda 0 = 33^{\circ}$ W	$\lambda 0 = 15^{\circ}$ W
Falsa origem das coordenadas retangulares:	Em E (Easting): 500 000 m Em N (Northing): 0 m	Em E (Easting): 500 000 m Em N (Northing): 0 m	Em E (Easting): 500 000 m Em N (Northing): 0 m	Em E (Easting): 500 000 m Em N (Northing): 0 m
Coeficiente de redução de escala no meridiano central	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996

Sistemas de Referência – “globais”

- Desenvolvimento das técnicas geodésicas espaciais (VLBI, SLR, GNSS, ...)
- Exigência de maior rigor por parte da comunidade científica
- Uniformização dos sistemas e referenciais a nível global
- Sistemas de posicionamento por satélite (recetores GPS/GNSS) permitem determinar coordenadas precisas

Estações GNSS



<https://geodesy.science/ggos/services/>

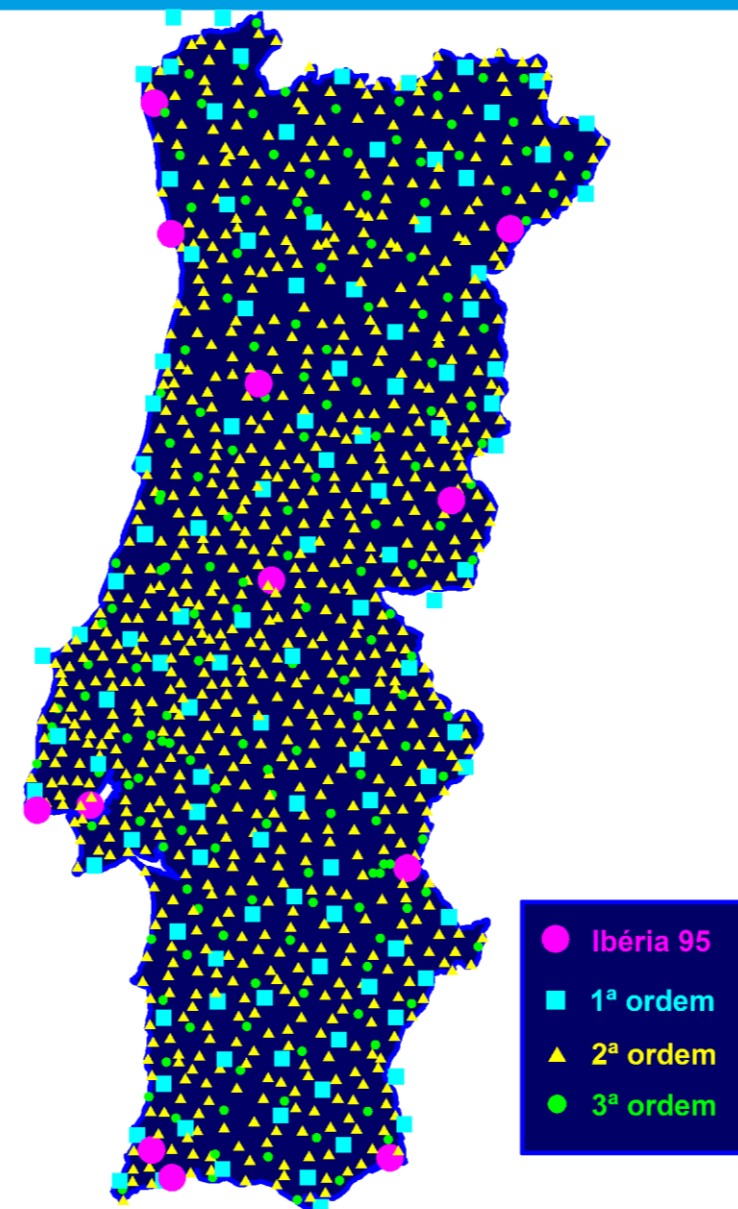
Sistema PT-TM06/ETRS89

ETRS89 recomendado pela EUREF em 1990 para Referencial Europeu

- **Datum:** ETRS89 (ETRF97 para a época 1995.4)
- **Elipsóide:** GRS80
- **Realização:** Coordenadas de mais de 1120 VG (RGN)

Projeção Cartográfica:

- Transversa de Mercator
- Ponto Central da Projeção:
 $39^{\circ}40'05''.73N$
 $08^{\circ}07'59''.19W$
- Falsa origem das coordenadas retangulares:
 $M = 0$
 $P = 0$
- Fator de escala no meridiano central: 1.0



O Sistema PTRAO8/ITRF93

- **Datum:** ITRS93 (ITRF93 para a época 1994.0)
- **Elipsóide:** GRS80
- **Realização:** Coordenadas de mais de 440 VG

Projeção Cartográfica:

- UTM (Universal Transverse Mercator)
- Latitude da origem das coordenadas retangulares: 0º
- Longitude da origem das coordenadas retangulares:
 - 33ºW (fuso 25): Grupo Ocidental dos Açores
 - 27ºW (fuso 26): Grupos Oriental e Central dos Açores
 - 15ºW (fuso 28): Arquipélago da Madeira
- Falsa origem das coordenadas retangulares:
 - em Easting: 500 000 m
 - em Northing: 0 m



Datum vertical

Nível convencional relativamente ao qual são medidas as altitudes

Altitudes Ortométricas, referidas ao Geoide

Altitudes Elipsoidais (h): referidas ao Elipsoide (observadas com GNSS)

Portugal continental: **Datum de Cascais**

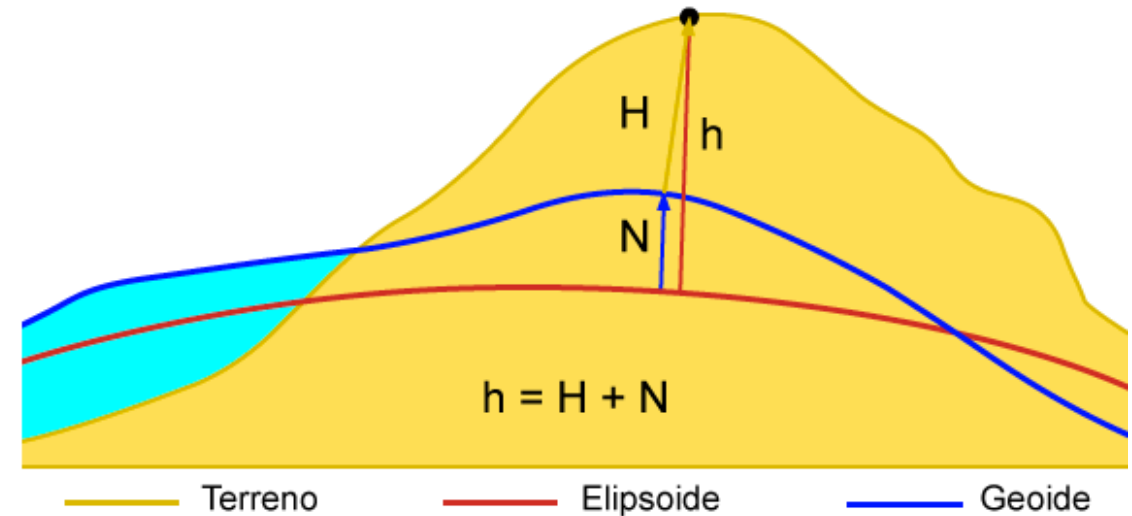
Data vertical:

<https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/sistemas-referencia>

Modelo de Geoide oficial:

<https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/modelo-geoide>

A ondulação do geoide (N) é a diferença entre a altitude elipsoidal (h) e a altitude ortométrica (H)



EPSG – European Petroleum Surveying Group

Mantém uma base de dados dos sistemas de referência e parâmetros de transformação mundial

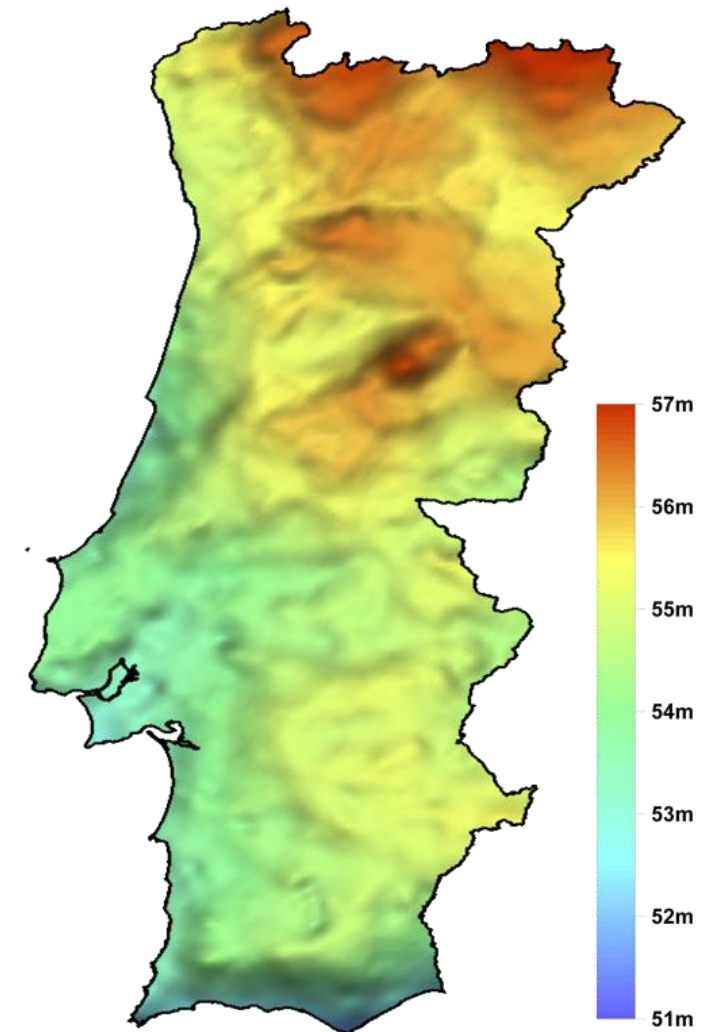
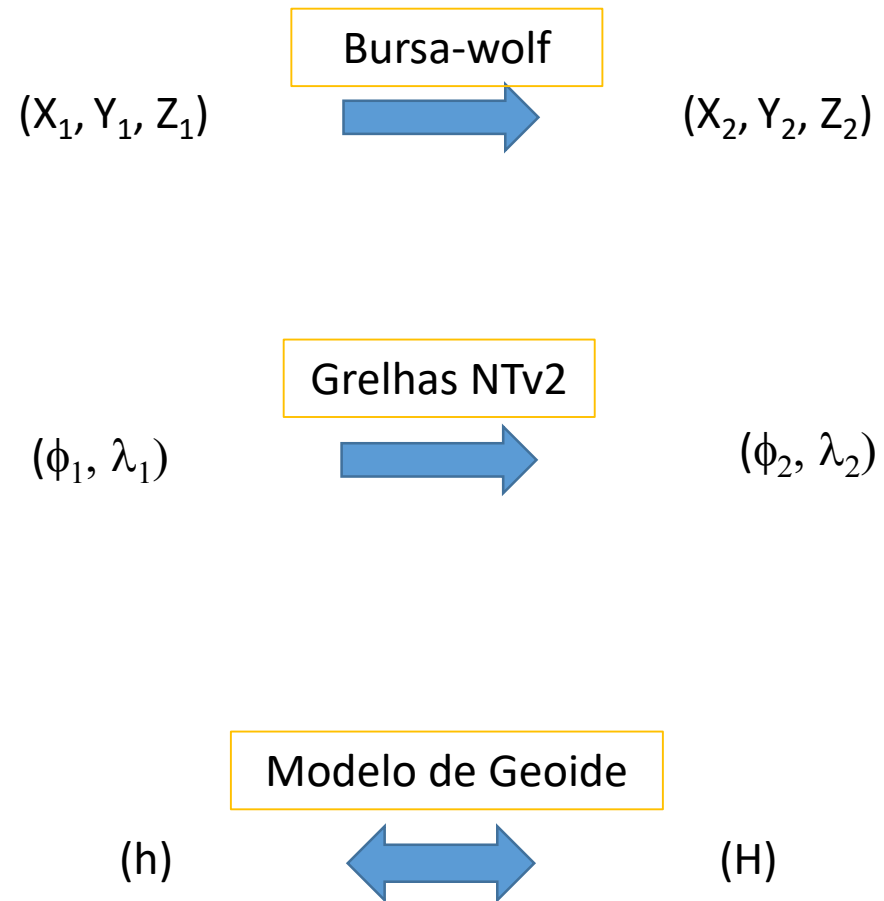
Estes códigos são aceites e utilizados pela comunidade SIG

SISTEMA	EPSG
PT-TM06/ETRS89	3763
ETRS89 geográficas 3D	4937
Datum Lisboa/ Hayford-Gauss	5018
Vertical: Cais da Pontinha - Funchal	6178

<https://www.dgterritorio.gov.pt/dados-abertos>

<https://epsg.io/?q=portugal>

Transformação de Coordenadas



Transformação de Coordenadas - WebTranscoord

Bursa-wolf (X, Y, Z)

- Para transformações rápidas e simples entre data
- Aplica-se melhor em regiões pequenas a médias
- Facilmente implementável em software SIG e cálculo geodésico

Grelhas NTV2.0 (National Transformation Version 2)

O formato NTV2 é um formato standard de grelhas binárias de diferenças para a transformação de coordenadas **planimétricas** entre dois Sistemas de Referência

Criadas com base nas coordenadas de pontos conhecidos nos dois Sistemas de Referência (Vértices Geodésicos)



Transformação de Bursa-Wolf

A transformação de **Bursa-Wolf** consiste numa rotação (R), seguida por uma mudança de escala (f) e por uma translação (d)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SG2} = fR \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SG1} + \begin{bmatrix} dX \\ dy \\ dz \end{bmatrix}$$

R – Matriz de
Rotação (R_x, R_y, R_z)

Estes **7 parâmetros** (Rotação, Translação e fator de Escala) podem ser estimados a partir de um conjunto de pontos no terreno com coordenadas conhecidas nos dois sistemas.

Transformação de Coordenadas – Grelhas NTV2

A transformação pelo métodos das grelhas NTV2 é utilizado para fazer **transformações de coordenadas entre dois sistemas geodésicos**, através de **grelhas de correção**

Os parâmetros ajustados aos pontos de controlo envolventes da área de trabalho são determinados por interpolação modelando assim as deformações da RGN no sistema de partida, obtendo-se assim precisões normalmente superiores às de outras transformações

A transformação é realizada através de interpolação sobre a grelha

WebTranscoord Continente:

Bursa-Wolf

Os parâmetros foram calculados com base nos 119 vértices geodésicos de 1ª ordem e utilizando os 833 vértices geodésicos de 2ª ordem para controlo

Grelhas NTv2.0

Na elaboração destas grelhas foram utilizados 1129 vértices da Rede Geodésica Nacional (RGN) observados com GPS. Através de uma interpolação por kriging, geraram-se as grelhas de diferenças (de Datum 73 para ETRS89 e de Datum Lisboa para ETRS89), com espaçamento de 1',2

WebTranscoord Regiões Autónomas:

Bursa-Wolf

<https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/transformacao-coordenadas/regiao-autonoma-madeira>

<https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/transformacao-coordenadas/regiao-autonoma-acoresh>

Transformação de Bursa-Wolf vs Grelhas

Parâmetros da DGT para o continente

Comparação da Planimetria

HGD73 -> PT-TM06/ETRS89

Resíduos (m)	Bursa-Wolf	Grelhas
máximo	1,380	0,171
média	0,478	0,051
mínimo	0,019	0,001
e.m.q.	0,524	0,063

HGDLx -> PT-TM06/ETRS89

Resíduos (m)	Bursa-Wolf	Grelhas
máximo	5,109	0,779
média	1,868	0,162
mínimo	0,114	0,007
e.m.q.	2,049	0,200

Transformação de Bursa-Wolf

Parâmetros da DGT para as Regiões Autónomas

Zona	Transformação	Máximo Absoluto (m)			E.M.Q. (m)		
		M	P	h	M	P	h
Madeira	Base SE → PTRAO8	0.122	0.106	1.122	0.051	0.044	0.539
Açores Oriental	Braz → PTRAO8	0.081	0.068	0.388	0.024	0.022	0.085
Açores Central	Base SW → PTRAO8	0.362	0.092	0.966	0.184	0.044	0.236
Açores Ocidental	Observatório → PTRAO8	0.058	0.056	0.160	0.031	0.023	0.077

Obrigada



Referências

www.astro.oma.be/fr/

<https://zntgeo.com/sistemas-de-referencia-e-coordenadas-src/>

<https://atlasescolar.ibge.gov.br/cartografia/21729-formas-da-terra.html>

<https://cafegeodesico.blogspot.com/2012/02/problemas-basicos-y-complementarios-de.html>

JIID2014: WebTranscoord, SILVA, Henrique; MEDEIRO, Ana; VASCONCELOS, Manuela, Direção-Geral do Território

