

Adopção de Sistemas de Referenciação Geográfica Globais

José Alberto Gonçalves

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto,

jagoncal@fc.up.pt

RESUMO

Com a popularização de sistemas de referenciação geográfica globais há grande interesse em usá-los para substituir a grande diversidade de sistemas antigos na produção de cartografia e informação geográfica. Em Portugal e no resto da Europa foi adoptado o sistema ETRS89 que trará grandes simplificações aos utilizadores. Foi definida para Portugal uma projecção cartográfica semelhante às anteriormente usadas. Este artigo aborda os métodos para conversão de informação antiga para o novo sistema, concretamente através de um método baseado em grelhas que permite uma precisão compatível com as escalas grandes. Discute-se também a forma de o implementar e cuidados a ter na fase de adaptação ao novo sistema de coordenadas.

Palavras chave: Sistema de Referenciação Geográfica, ETRS89, PT-TM06, Datum local, Projecção cartográfica, Transformação de coordenadas.

1. Introdução

A componente espacial da informação geográfica (IG) é normalmente referenciada em sistemas de coordenadas resultantes de projecções cartográficas (PCS, da expressão inglesa “Projected Coordinate System”). Uma projecção cartográfica tem uma definição matemática exacta, pelo que a conversão entre um PCS e o correspondente sistema de coordenadas geográficas (GCS, do inglês “Geographic Coordinate System”) não oferece dificuldades.

A integração de conjuntos de dados em diferentes sistemas de referenciação geográfica requer conversões de coordenadas. Atendendo a que os GCS envolvidos estarão, normalmente, em diferentes *data* geodésicos, as conversões de coordenadas terão de lidar com essas duas vertentes: projecção e datum. Habitualmente os programas de SIG armazenam, para cada datum geodésico, a

sua forma de conversão para um datum global. Assim uma transformação completa entre dois sistemas de coordenadas cartográficas envolverá os passos descritos na figura 1: primeira projecção cartográfica (inversa), conversão para datum global, conversão para novo datum local, segunda projecção (directa).

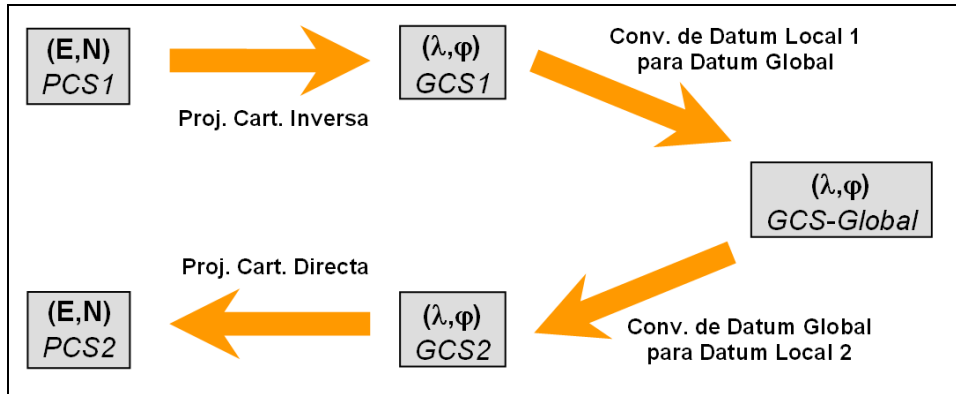


Figura 1 – Sequência de passos envolvidos numa conversão de coordenadas entre dois sistemas de coordenadas cartográficas (E,N). λ e φ são coordenadas geográficas.

Um programa que seja usado mundialmente e tente satisfazer as necessidades da generalidade dos utilizadores deverá fornecer um número muito grande de possibilidades, o que facilmente lança confusão nos utilizadores. Cita-se por exemplo o caso do programa ArcGIS que, na versão 9.1, permite a escolha de 297 sistemas GCS e 1084 sistemas PCS correspondentes a grelhas nacionais (excluindo os Estados Unidos da América, nos dois casos). No caso de Portugal encontramos 7 sistemas GCS e 5 sistemas PCS, exclusivos do território nacional, o que facilmente dificulta a utilização por parte de utilizadores menos conhecedores dos detalhes da Geodesia e das projecções cartográficas.

Acresce a este problema o facto de que um mesmo datum pode ter várias fórmulas de conversão (por exemplo para diferentes regiões). Um exemplo disso é o datum Europeu 1950 (ED50), que apresenta 38 variantes, para locais tão afastados como a Irlanda e o Irão, por exemplo. Em termos práticos comportam-se como diferentes *data*, aumentando ainda mais a dificuldade de utilização.

Com a popularização dos sistemas de navegação por satélite (GNSS, Global Navigation Satellite Systems) os sistemas de coordenadas baseados num datum global tornaram-se facilmente acessíveis. Frequentemente os utilizadores de IG usam essas técnicas para aquisição de informação, assim como as instituições produtoras de cartografia tendem a adoptar sistemas baseados num datum global. Não há por isso qualquer vantagem na utilização de sistemas de coordenadas

baseados num datum local, que não a de compatibilização com cartografia e IG mais antigas. Como veremos, a manutenção de sistemas antigos, para além da confusão introduzida, acarreta potenciais introduções de erros significativos nas conversões de coordenadas. É, por isso, de todo o interesse que a componente espacial da IG passe a ser baseada em sistemas de coordenadas globais, que trarão grandes vantagens para a generalidade dos utilizadores. Este artigo aborda cuidados a ter e metodologias a seguir para a adopção de um datum global e transformação de dados em sistemas antigos.

1.1. Datum global – WGS84 e ETRS89

A designação WGS84 (World Geodetic System – 1984) é reconhecida pelos utilizadores de IG como o sistema de referência associado ao sistema de posicionamento GPS (Global Positioning System). Ele é materializado por um conjunto de estações IGS (International GPS Service for Geodynamics) distribuídas por todo o planeta [1]. Devido essencialmente a efeitos de geodinâmica as coordenadas variam, tendo velocidades da ordem do centímetro por ano, mesmo nos locais mais estáveis. Este facto torna o sistema WGS84 inconveniente para fins de apoio topográfico que requeira grande exactidão posicional, pelo que é habitual fixá-lo para uma dada época. Concretamente para a Europa estabeleceu-se o sistema designado por ETRS89 (European Terrestrial Reference System – 1989) que coincide com o WGS84 em 1989 [2]. Ele é materializado por um conjunto de estações fixadas na placa euro-asiática, que é bastante estável [2, 3]. Actualmente a diferença é de cerca de 25 cm, não tendo grande impacto no posicionamento exigido para a generalidade de aplicações de IG. Como tal, num grande número de aplicações poderão ser os dois sistemas considerados indistintos.

Em Portugal o Instituto Geográfico Português (IGP) adoptou este sistema para servir como datum geodésico de base nacional, substituindo o datum 73 (D73) e o datum Lisboa (DLX). A rede geodésica de 1ª e 2ª ordem foi toda observada com GPS, tendo as coordenadas dos vértices sido calculadas no sistema ETRS89 [4]. Essa informação é disponibilizada gratuitamente pelo IGP através do seu endereço oficial na internet [5].

O ETRS89 foi adoptado também por todos os países europeus, permitindo substituir o datum europeu (ED-50), que tinha uma fixação por observação astronómica em Potsdam, na Alemanha. A ligação geodésica entre os diferentes países europeus torna-se agora muito mais simples.

1.2. Projecção nacional do datum ETRS89 (Sistema de coordenadas PT-TM06)

A elaboração de cartografia, assim como o armazenamento de IG, baseadas no datum global ETRS89 requeriam uma projecção cartográfica. Poderia ter-se adoptado uma projecção standard como a UTM, fuso 29N, contudo esse facto traria problemas na continuidade da produção das diferentes séries cartográficas nacionais, devido ao seccionamento de folhas.

O IGP estabeleceu uma projecção de forma a gerar coordenadas semelhantes às coordenadas resultantes da projecção de Gauss, quer do D73, quer do DLX. A projecção, que é agora desinada “PT-TM06”, tem a seguinte definição [5]:

Datum*ETRS89*
Elipsóide*GRS80*
Projecção*Transversa de Mercator*
Longitude do meridiano central.....*08° 07' 59.19"W*
Latitude do ponto central:.....*39° 40' 05.73"N*
Factor de escala no meridiano central:*1.0000*
Translaccção de origem:..... *$\Delta X=0 m, \Delta Y=0 m$*

As coordenadas cartográficas geradas desta forma apresentam diferenças para as coordenadas antigas Hayford-Gauss D73 (HGD73) cujos comprimentos (módulo do vector diferença) atingem no máximo 6.6 metros. Essas diferenças aumentam do centro do país para o exterior, como se indica na figura 2, que representa isolinhas dessas distâncias. A figura representa também as isolinhas das diferenças entre coordenadas HG-DLX e TM06, que neste caso atingem 8 metros.

O sistema PT-TM06 está já a ser usado na série cartográfica de escala 1:50.000 produzida pelo IGP. O Instituto Geográfico do Exército (IgeoE) adaptou também o sistema de coordenadas usado na elaboração da série cartográfica de escala 1:25.000, nas edições a partir de 2001 [6]. A nova projecção é em tudo semelhante à TM06, diferindo apenas no facto de usar uma translaccção de origem de 200 Km em X e 300 Km em Y, tal como era anteriormente feito com o datum

Lisboa. A outra diferença importante é que é usada, para o datum de base, a designação WGS84 e não ETRS89. Tal como foi já referido atrás o impacto numa escala como esta é praticamente nulo. Duma forma geral o efeito da mudança para o novo sistema de coordenadas será irrelevante na versão impressa da carta.

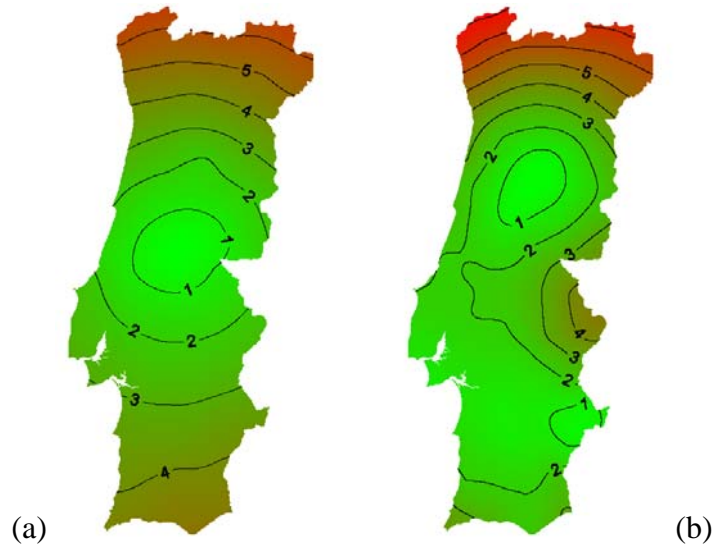


Figura 2 – Diferenças (módulo do vector diferença) entre coordenadas cartográficas: (a) HGD73 - TM06, (b) HGDLX – TM06

Uma vantagem do uso de sistemas de projecção muito semelhantes pelo IgeoE e pelo IGP traz uma compatibilidade bastante melhor entre a IG produzida pelas duas instituições, já que entre os dois sistemas existe apenas uma translacção constante. Não era isso o que acontecia anteriormente com o uso de dois *data* diferentes (D73 e DLX).

2. Conversões de coordenadas tradicionais em SIG

Os programas de SIG usam frequentemente a transformação de Bursa-Wolf para conversão de datum. Trata-se de uma transformação em coordenadas cartesianas tridimensionais, fazendo uso de um conjunto de 7 parâmetros, que envolvem translacção, rotação e efeito de escala. Esses parâmetros são normalmente calculados pelas instituições responsáveis pela Geodesia nos diferentes países. Em Portugal o IGP determina para cada datum local os parâmetros que o relacionam com um datum global, permitindo assim qualquer conversão. Os parâmetros são fornecidos pelo IGP na sua página oficial e são habitualmente incorporados pelos produtores de software. Os parâmetros fornecidos pelo IGP para conversão de DLX e D73 para ETRS89 estão dados na tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros de conversão de datum73 e datum Lisboa para ETRS89 [5]

Datum	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	R_X (“)	R_Y (“)	R_Z (“)	S (ppm)
D73	231.034	-102.615	-26.836	+0.615	-0.198	+0.881	-1.786
DLX	282.066	72.188	-119.953	-1.529	+0.145	-0.890	+4.458

Encontram-se duas convenções opostas relativas de sentido positivo das rotações. Elas são normalmente identificadas nos programas de língua inglesa por “Coordinate frame rotation” (a usada na tabela) e por “Position Vector” [7]. A alteração de uma para a outra faz-se através da troca de sinal dos parâmetros de rotação.

Os parâmetros de translacção e rotação acomodam a diferença de orientação e posição do elipsóide local relativamente ao elipsóide do datum global, que são devidas à ondulação do geóide e ao desvio da vertical no ponto de fixação do datum local por observação astronómica. Contudo não conseguem modelar as deformações locais que podem estar presentes numa triangulação geodésica. A fim de testar a adequação dos parâmetros nacionais fez-se um estudo usando os 118 pontos da rede geodésica de 1ª ordem. Usou-se para tal as coordenadas geográficas ETRS89 e cartográficas nos dois *data* locais, que são fornecidas pelo IGP. Transformaram-se as coordenadas ETRS89 para datum local e determinou-se o resultado da diferença para os valores conhecidos. A tabela 2 apresenta a estatística das diferenças nas duas coordenadas para os dois *data* locais:

Tabela 2 – Estatística dos erros das transformações de 7 parâmetros (ETRS89 para datum local)

	Datum 73		Datum Lisboa	
	eX (m)	eY (m)	eX (m)	eY (m)
Mínimo	-1.42	-1.28	-4.32	-4.29
Máximo	+0.71	+0.57	+4.47	+3.08
Média	-0.04	-0.11	-0.45	-0.13
Desv. Padrão	0.43	0.42	1.47	1.63

No caso do D73, temos 95% dos pontos com erro linear inferior a 1.13 m, enquanto que no DLX, 95% dos pontos têm erro linear inferior a 4.1 m. Estes erros são elevados e facilmente se pode concluir, através de uma representação gráfica de vectores de erro, que apresentam tendências sistemáticas que a não modeladas pela transformação de 7 parâmetros. Ela é pouco adequada para

aplicações que requeiram precisão posicional elevada (por exemplo cartografia urbana de escala 1:1000), pelo que os utilizadores deverão estar alertados para este facto e deverão recorrer a métodos de conversão mais rigorosos, sempre que necessário.

Um método possível consiste no uso de pontos de controlo na zona de trabalho (por exemplo os vértices geodésicos) para determinar transformações polinomiais locais. Alternativas com carácter mais sistemático e aplicáveis por uma formulação única a grandes regiões são preferíveis. São de considerar as transformações polinomiais de grau superior a 1 ou as transformações baseadas em grelhas. Este último método foi implementado para Portugal no âmbito deste trabalho e encontra-se descrito na secção seguinte.

3. Conversões de coordenadas com base em grelhas

A conversão de datum é essencialmente uma transformação planimétrica, que requer a determinação de diferenças de latitude e longitude. Dispondo de duas grelhas regulares (uma para cada coordenada) de diferenças, os valores de $\Delta\lambda$ e $\Delta\varphi$ podem ser calculados em qualquer ponto através de uma interpolação bilinear. As grelhas deverão ser geradas a partir das diferenças de coordenadas nos pontos da rede geodésica.

Este método é o usado nos EUA para conversão entre os *data* NAD27 e NAD83 [8]. Faz uso de grelhas em coordenadas geográficas, com espaçamento de 0.25 graus e que cobrem as diferentes regiões contíguas. É normalmente referida como a conversão NADCON (Conterminous US), por exemplo no programa ArcGISe na biblioteca PROJ.4. Outros países, como o Reino Unido ou a Espanha, por exemplo, têm implementado metodologias deste tipo[7, 9].

Neste trabalho pretendia-se gerar grelhas de conversão para os *data* nacionais (DLX e D73) e avaliar a precisão dessas transformações. Foram usados 118 pontos da rede geodésica de 1ª ordem, para os quais são conhecidas as coordenadas ETRS89, D73 e DLX. As grelhas foram geradas para o território nacional (10°W - 6°W, 36.5°N - 42.5°N), com espaçamento de 0.02 graus, utilizando o método de curvatura mínima, como sugerido pelo US National Geodetic Survey [8], e foi criado um programa para, dado um ponto em

coordenadas geográficas, calcular a transformação local de datum, por interpolação bilinear. Os pontos da rede de 2º ordem (total de 826) foram usados para verificação. Encontraram-se diferenças cujas estatísticas se apresentam na tabela 3.

Tabela 3 – Estatística dos erros da transformação por grelha (ETRS89 para datum local)

	Datum 73		Datum Lisboa	
	eX (m)	eY (m)	eX (m)	eY (m)
Mínimo	-0.27	-0.46	-0.65	-0.56
Máximo	+0.46	+0.36	+0.81	+0.56
Média	+0.00	-0.01	+0.00	-0.01
Desv. Padrão	0.07	0.07	0.13	0.12

Como se pode observar a transformação tem uma precisão decimétrica, sendo melhor no caso do D73. Esta transformação é muito mais adequada que a transformação de Bursa-Wolf para as aplicações que requerem uma exactidão posicional mais rigorosa.

4. Aspectos a considerar na migração de IG para o sistema PT-TM06

É de todo aconselhável a adopção do novo sistema de coordenadas, quer em termos de simplificação de procedimentos, quer no aumento de precisão. Contudo, para a generalidade dos utilizadores deverá ser necessário passar pelo processo de conversão de toda a informação antiga, o que obriga a cuidados especiais. Atendendo à proximidade dos valores de coordenadas projectadas HG-D73 e TM06 não é possível determinar se um ficheiro já passou pelo processo de conversão, a não ser através da manutenção dessa informação como metadados, na componente de identificação da referência espacial.

Outro problema a ter em conta é como lidar com alguns ficheiros, como os desenhos de CAD ou ortoimagens, que poderão não ser transformáveis pelas mesmas ferramentas que transformam bases de dados geográficas vectoriais. Atendendo a que muitos utilizadores gerem informação para regiões de relativamente pequena dimensão, como por exemplo um concelho ou uma associação de municípios, podem ser admitidas simplificações, sem perda de rigor. A mudança de sistema numa pequena região, digamos até uma dimensão de

20 km, traduzir-se-á essencialmente numa translacção. A simplificação consistirá em determinar a translacção média para a região e, após verificar que dentro da precisão dos dados ela pode ser considerada constante, aplicá-la como uma simples translacção (um comando “MOVE” nos programas de CAD). A título de exemplo no concelho de Lisboa, a consideração da translacção média origina erros máximos sempre inferiores a 10 cm. Esta abordagem poderá ser válida, em regiões com a dimensão de um município e para dados cartográficos de grande escala, como as plantas de escala 1:1000.

Um outro aspecto prático a considerar é a incorporação do método de transformação por grelhas no software SIG habitualmente usado pelos utilizadores. O programa criado no âmbito deste trabalho apenas faz a conversão de ficheiros de texto, não sendo adequado para lidar com informação geográfica previamente estruturada em diferentes formatos. É de todo o interesse incorporar esta transformação nos pacotes de software vulgarmente usados. No caso por exemplo do ArcGIS não é, numa primeira análise, disponibilizada ao utilizador uma forma de customização de sistemas de coordenadas baseados em grelha. Contudo, atendendo a que exactamente esse método é usado para conversões nos EUA, deverá haver por certo forma de efectuar essa customização.

Recorrendo a standards “open-source”, como é o caso da biblioteca PROJ.4, é possível definir uma grelha de diferenças de coordenadas em ficheiro de texto e recompilar o programa CS2CS, que efectua essa transformação [10]. Atendendo a que diversos programas fazem uso dessa biblioteca (Manifold, GV-Sig, e outros) este procedimento poderá ser incorporado facilmente nos métodos de trabalho de muitos utilizadores de IG.

Em termos práticos poderão colocar-se alguns problemas ao usar métodos alternativos de transformação de coordenadas, como, por exemplo, a violação de regras topológicas de conectividade, por exemplo ao transformar dados contíguos, em ficheiros diferentes. O método baseado em grelhas não deverá ter esse problema já que o processo de interpolação bilinear dá origem a uma função contínua.

Conclusões

Este estudo abordou essencialmente dois aspectos. O primeiro refere-se à adopção do sistema de referenciação nacional PT-TM06 baseado no datum ETRS89. Há toda a vantagem para os utilizadores em o adoptarem, quer pela facilidade de incorporação de outros dados, por exemplo vindos de levantamento GPS, quer pela não introdução de erros em conversões de coordenadas

O segundo aspecto relevante é o da utilização de técnicas de conversão de coordenadas, necessárias na fase de adaptação ao novo sistema de coordenadas, baseadas em mudança de datum por grelha. A precisão que alcançam na conversão dos sistemas de coordenadas portuguesas é muito superior à transformação de Bursa-Wolf (erros da ordem do decímetro contra erros de metros) normalmente disponibilizada pelos programas de SIG no nosso país.

Referências

- [1] NGA – National Geospatial Agency, 2000. NIMA Technical Report 8350.2; 3rd edition; amendment 1; 3 January 2000, "Department of Defense World Geodetic System 1984 - Its definition and relationships with local geodetic systems",
- [2] Altamimi, Z. e C. Boucher, 2001. The ITRS and ETRS89 Relationship: New Results from ITRF2000, Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF), Dubrovnik, 2001.
- [3] EUREF, 2007. European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89) web site: <http://etrs89.ensg.ign.fr/en>. Visitado em Março de 2008.
- [4] Vasconcelos, M, Botelho, H., Kol, H. e Casaca, J., 2007. The Portuguese Geodetic Reference Frames.. XXIV IUGG General Assembly.. Perugia, Italia, June 2007.
- [5] IGP, 2008. Instituto Geográfico Português: <http://www.igeo.pt>. Visitado em Março-2008.
- [6] IGeoE, 2008. Instituto Geográfico do Exército. <http://www.igeoe.pt>. Visitado em Março-2008.
- [7] OSGB – Ordnance Survey, 2007. A Guide to Coordinate Systems in Great Britain. Web site <http://www.ordnancesurvey.co.uk/> (Visitado em Março-2008).
- [8] US National Geodetic Survey, 2003. Geodetic Toolkit NADCON. Web page: http://www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/NADCON/. (Visitado Março-2008).
- [9] Gonzales-Matesanz, J., Dalda, A., Quirós, R., Celada, J. ED50-ETRS89 Transition models for the Spanish Geodetic Network. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF), Toledo, 4 - 7 June 2003.
- [10] PROJ, 2007. PROJ.4 - Cartographic Projections Library web site: <http://www.remotesensing.org/proj/> (Visitado Março-2008).