

Transformação de coordenadas cartográficas O exemplo da região de Granja (NW do Ceará, Brasil)

A. J. F. Silva^{1*}, A. C. Teodoro^{2,3}, L. Duarte^{2,3}, J. A. Gonçalves²,
J. A. Nogueira Neto⁴, M. R. Azevedo¹ & B. Valle Aguado¹

¹Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, GeoBioTec, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal;

²Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território;

³Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007, Porto, Portugal;

⁴Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Recursos Minerais e Geodinâmica, Campus do Pici,

Bloco 912, 60.455-760, Fortaleza - CE, Brasil;

*antoniojsilva@ua.pt; autor correspondente.

Resumo

Este estudo tem como principal objetivo mostrar a importância de se efetuar a análise metódica da cartografia de base que suporta a produção de Cartografia Geológica, antes de iniciar o trabalho de campo. Em certas regiões, as cartas base publicadas estão ainda associadas a redes geodésicas clássicas, o que obriga a proceder à transformação de coordenadas para assegurar que todos os dados geo-espaciais são definidos no mesmo sistema de referência espacial. Neste estudo, selecionaram-se 8 pontos localizados sobre as cartas publicadas na região de Granja (NW do Ceará, Brasil), determinaram-se as coordenadas no *Datum* topocêntrico das cartas (CA 70-72) e procedeu-se à sua transformação para os *Data* geocêntricos *WGS84* e *SIRGAS2000*. As diferenças entre as coordenadas obtidas nos três sistemas são residuais, indicando que erros introduzidos quando se desconsideram parâmetros essenciais como o *Datum* Geodésico são, neste caso, mínimos para efeitos de Cartografia Geológica.

Palavras-chave: Sistemas de Referência Espaciais; Transformação de Coordenadas; *Datum* SIRGAS2000.

Abstract

This study draws attention to the importance of conducting a detailed analysis of cartographic products that sustain the Geological Mapping before starting the field work. In some regions, the published base maps are still related to classical geodetic networks. Therefore, it is fundamental to perform the adequate coordinate transformation to ensure that all spatial data are defined relatively to the same spatial reference system. This is particularly relevant when GPS and GIS are used to obtain and plot spatial data. The present study involved the selection of 8 points located on the published maps for the Granja region (NW Ceará, Brazil), the determination of their coordinates in the CA 70-72 topocentric map Datum and their subsequent transformation to the geocentric Data WGS84 and SIRGAS2000. The differences between coordinates are residual, indicating that the error introduced when essential parameters such as the Geodetic Datum are disregarded are, in this case, minimum.

Keywords: Spatial Reference Systems; Coordinate Transformations; Datum SIRGAS2000.

Introdução

A cartografia, como ciência, tenta representar no plano a dificilmente concebível superfície curva da Terra, a que chamamos geoide (Catalão, 2010). Define-se geoide como a superfície equipotencial do campo gravítico terrestre que melhor se ajusta ao nível médio das águas do mar (Fig. 1). A sua forma é bastante próxima da superfície de um elipsoide de revolução achatado, designado em cartografia como elipsoide de referência (Fig. 1).

O geoide é determinado através de métodos gravimétricos e astro-geodésicos e, mais recentemente, recorrendo a tecnologias espaciais. A sua inclinação

em relação ao elipsoide de referência é dada pelo ângulo formado pela vertical do lugar (normal ao geoide) e a normal ao elipsoide (normal). A forma e a dimensão do elipsoide de referência são definidas pelos seguintes parâmetros geométricos:

a – dimensão do semi-eixo maior;

b – dimensão do semi-eixo menor;

f – achatamento, em que $f = (a-b/a)$ e;

e – excentricidade, em que $e = (2f - f^2)$.

Quando se pretendem representar zonas extensas da superfície terrestre numa superfície plana, é necessário adotar sistemas de representação plana do elipsoide. Como este não é planificável, qualquer que seja o método de representação usado,

haverá sempre distorções. Existem diferentes tipos de projeção cartográfica, dependendo dos métodos de projeção aplicados (e.g. planas/azimutais, cônicas, cilíndricas), da sua coincidência (tangente, secante e poli-superficial), da posição da superfície de projeção (normal, transversa, oblíqua) e das suas propriedades cartográficas, i.e., se representam corretamente as áreas, distâncias ou formas (equivalentes, equidistantes e conformes, respetivamente), de acordo com Catalão (2010).

O conjunto de transformações analíticas que permitem relacionar as coordenadas geodésicas dos pontos sobre o elipsoide e as correspondentes coordenadas cartesianas na carta constitui um sistema de projeção. A sua caracterização completa requer a definição do *Datum* Geodésico, das coordenadas geodésicas do ponto central da projeção, da origem das coordenadas cartográficas, do fator de escala e da expressão analítica da projeção.

Os *Data* geodésicos podem ser agrupados em duas categorias: locais e globais. Um *Datum* local, ou topocêntrico, é constituído por um elipsoide de referência, posicionado num ponto terrestre de coordenadas astronómicas conhecidas, de tal forma que as coordenadas elipsoidais desse ponto coincidam com as coordenadas astronómicas. Em contrapartida, um *Datum* global, ou geocêntrico, é definido por um elipsoide de referência, posicionado de modo a que o seu centro coincida com o centro de massa da Terra e o eixo polar, com a posição média do eixo de rotação da Terra (Fig. 2). As redes geodésicas

construídas por triangulação sobre o elipsoide de referência constituem a base para a materialização das representações cartográficas bidimensionais.

As vantagens resultantes da adoção de uma cartografia mundial única e uniforme são universalmente conhecidas. No entanto, isto implica três condições fundamentais: (a) escolha de um elipsoide internacional, que se adapte às necessidades de todos os países; (b) seleção de um *Datum* comum para todas as triangulações e (c) escolha de um sistema comum de representação plana conforme (Catalão, 2010).

No Brasil, o referencial geodésico em que se baseia a cartografia de base passou por grandes transformações ao longo do tempo: Criciúma/Itararé, Córrego Alegre 1961, Córrego Alegre 1970 + 1972, PSAD56, Astro Chuá, SAD 69, SAD 69/96 e *SIRGAS2000* (Marotta & Rodrigues, 2011). Recentemente, o Brasil aderiu ao Sistema Geocêntrico de Referência para a América do Sul (*SIRGAS2000*), criado com vista a promover a definição e estabelecimento de um referencial único compatível, em termos de precisão, com as tecnologias modernas de posicionamento (*GPS*). Este sistema foi oficialmente adotado em 2005, embora se encontre em fase de transição até 2014, com a recomendação de que a nova cartografia publicada aplique o *SIRGAS2000*. Ao *Datum* Geodésico *SIRGAS* são aplicados os parâmetros do Elipsoide *GRS80* (*Geodetic Reference System 1980*), com características muito semelhantes às do *WGS84* (*World-*

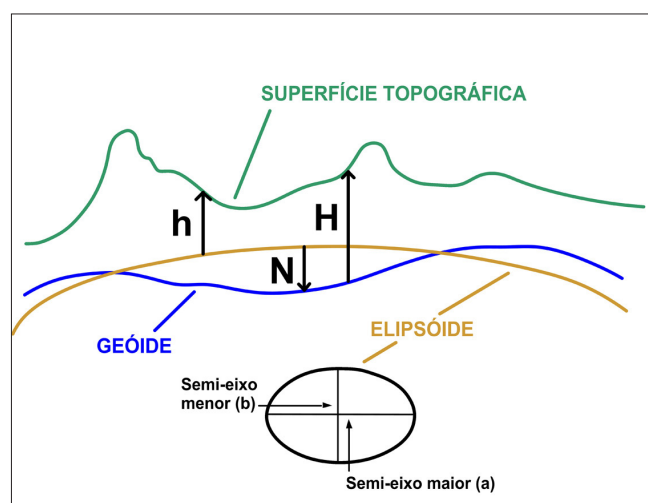


Figura 1 – Relação entre o elipsoide e o geóide com a topografia; N - ondulação do geóide; h - altitude elipsoidal ou geométrica; H - altitude ortométrica.

Figure 1 – Relationships between the ellipsoid and the geoid with the topography, N - geoid undulation; h - ellipsoidal or geometric height, H - orthometric height.

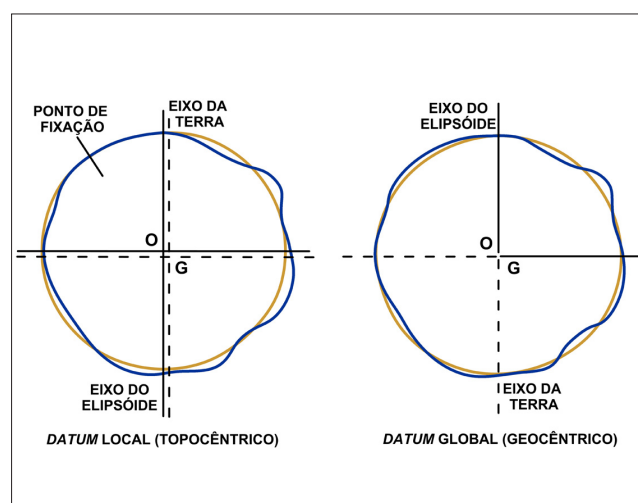


Figura 2 – Representação esquemática de um *Datum* local e um *Datum* global quanto ao posicionamento do elipsoide de referência com o geóide (Extraído de Gaspar, 2005).

Figure 2 – Schematic representation of a local and global *Datum* regarding the positioning of the reference ellipsoid with the geoid (From Gaspar, 2005).

Geodetic System 1984), sendo por isso praticamente equivalente ao sistema *WGS84* para efeitos práticos de cartografia (Tabela 1).

No entanto, tal como noutras regiões do mundo, muitos dos produtos cartográficos publicados no Brasil ainda estão associados a redes geodésicas clássicas, o que causa problemas quando se pretende compatibilizar informações geográficas de diferentes origens (Gonçalves, 2008). A transformação de coordenadas torna-se, por isso, uma etapa fundamental no processo de preparação de mapas para o trabalho de campo e posterior georreferenciação nos SIG.

No caso em estudo, as três cartas topográficas disponíveis (escala 1:100 000) baseiam-se no referencial geodésico topocêntrico Córrego Alegre (CA 70-72), tendo o ponto Córrego Alegre como vértice, o Elipsoide de *Hayford* de 1924 como superfície de referência (Tabela 1) e a projeção conforme e cilíndrica UTM (Universal Transversa Mercator) como sistema de representação.

No sistema UTM, a superfície da Terra compreendida entre os paralelos 84° N e 80° S é dividida em fusos por uma série de meridianos, regularmente intervalados de 6° (Fig. 3). Para cada fuso, utiliza-se um cilindro secante, minimizando assim as deformações. Constituem-se, assim, 60 fusos, numerados de 1 a 60, a partir do anti-meridiano de *Greenwich* (longitude 180°) que vão crescendo para Leste. Cada fuso é segmentado em zonas através de paralelos regularmente espaçados de 8° , dando origem a uma rede de zonas de $6^{\circ} \times 8^{\circ}$, identificadas por uma letra, desde C a X, com exceção do I e do O.

Os eixos de referência de cada fuso são constituídos pelo meridiano central do fuso e pelo equador. Por convenção, atribuiu-se ao meridiano central do fuso uma distância fictícia à meridiana de 500 000 metros (*False Easting*) para evitar coordenadas negativas para os pontos situados a oeste deste. Por razões semelhantes, atribuiu-se ao equador uma distância fictícia à perpendicular de 0 ou 10 000 000 metros (*False Northing*), conforme se trate de pontos localizados nos hemisférios Norte ou Sul (cf. Gaspar, 2005; Catalão, 2010) (Fig. 3).

O sistema completa-se com a criação de uma malha de quadrados que constitui a quadrícula de referenciação UTM. Para referenciar as posições de um ponto no sistema UTM usam-se as suas coordenadas *False Easting* e *False Northing*, sendo o metro a unidade de comprimento.

Cobertura topográfica da região de Granja

Com a crescente utilização dos sistemas de posicionamento *GPS* (*Global Positioning System*) e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), torna-se cada vez mais importante ter em atenção o *Datum* Geodésico usado na elaboração de mapas topográficos e geológicos de base para evitar desfasamentos de posicionamento entre dados geo-espaciais com diferentes origens.

A região de Granja (NW do Ceará) é coberta por três cartas topográficas (Granja, Camocim e Chaval), na escala 1:100 000, com coordenadas

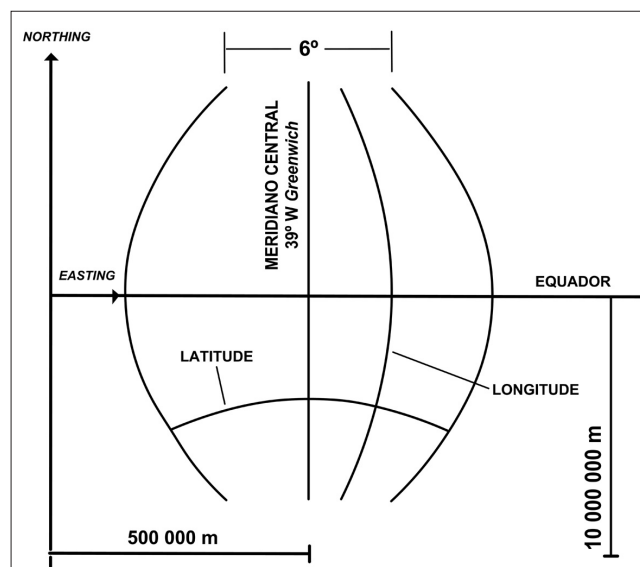


Figura 3 – Esquematisação da Projeção Universal Transversa de Mercator indicando os principais dados relativos à Zona 24 do Hemisfério Sul (Extraído e modificado de Gaspar, 2005).

Figure 3 – Schematic diagram of the Universal Transverse Mercator Projection showing the key data concerning Zone 24 in the Southern Hemisphere (Modified from Gaspar, 2005).

Tabela 1 – Principais parâmetros dos elipsoides de *Hayford*, *GRS80* e *WGS84*.

Table 1 – Main parameters of the *Hayford*, *GRS80* and *WGS84* ellipsoids.

ELIPSOIDE	a (m)	b (m)	f
<i>Hayford</i> (1924)	6378388	6356911,9000	1/297,0000000
<i>GRS80</i>	6378137	6356752,3141	1/298,2572221
<i>WGS84</i>	6378137	6356752,3142	1/298,2572235

retangulares UTM, que ainda estão referenciadas ao Datum Córrego Alegre 1970 + 1972 (CA 70-72). O ponto de fixação de coordenadas, $\lambda = 19^{\circ} 50' 14,91''$ S, $\phi = 48^{\circ} 57' 41,98''$ W e H = 683,81 metros, está situado no Estado de Minas Gerais. A região faz parte da Zona 24 (Hemisfério Sul), meridiano central 39° W. O valor do coeficiente de deformação dos comprimentos (k) é de 0,9996.

Para avaliar os desvios de posicionamento entre este referencial geodésico e os sistemas WGS84 e SIRGAS2000 foi elaborado um estudo a partir das coordenadas geográficas (longitude e latitude) de 8 pontos localizados nos vértices das três cartas (Fig. 4).

Metodologia

Para efeitos de comparação de coordenadas seguiu-se uma metodologia que envolveu os seguintes passos:

I. Partindo das coordenadas geográficas projetadas dos vértices das três cartas, procedeu-se ao cálculo das respectivas coordenadas cartesianas UTM (E - False Easting, N - False Northing) através da aplicação PROJ (PROJ.4 Cartographic Projections Library), com o código: `proj +ellps=intl +proj=utm +zone=24 +south` (Fig. 5). Originalmente desenvolvido no USGS (United States Geological Survey), o PROJ é atualmente uma ferramenta standard, de código aberto e associada ao projecto OSGeo (Open Source Geospatial Foundation);

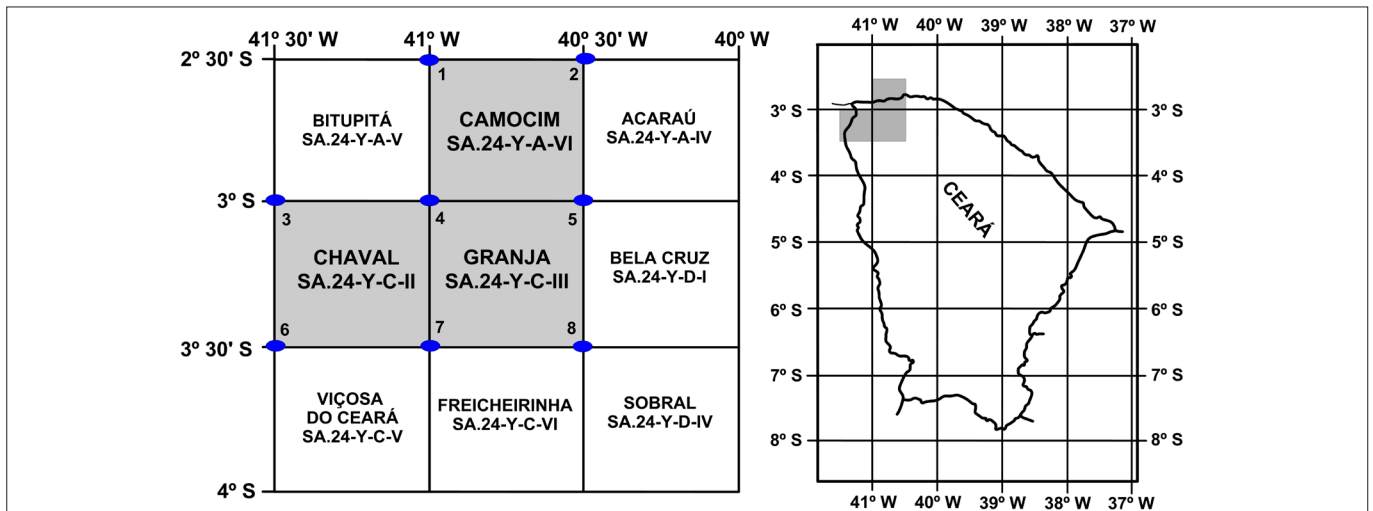


Figura 4 – Cobertura topográfica do NW do Ceará (escala 1:100 000), mostrando as cartas e os respectivos vértices utilizados nas transformações de coordenadas.

Figure 4 – Topographic coverage of NW Ceará (1:100 000 scale), showing the maps and their vertices used in coordinate transformations.

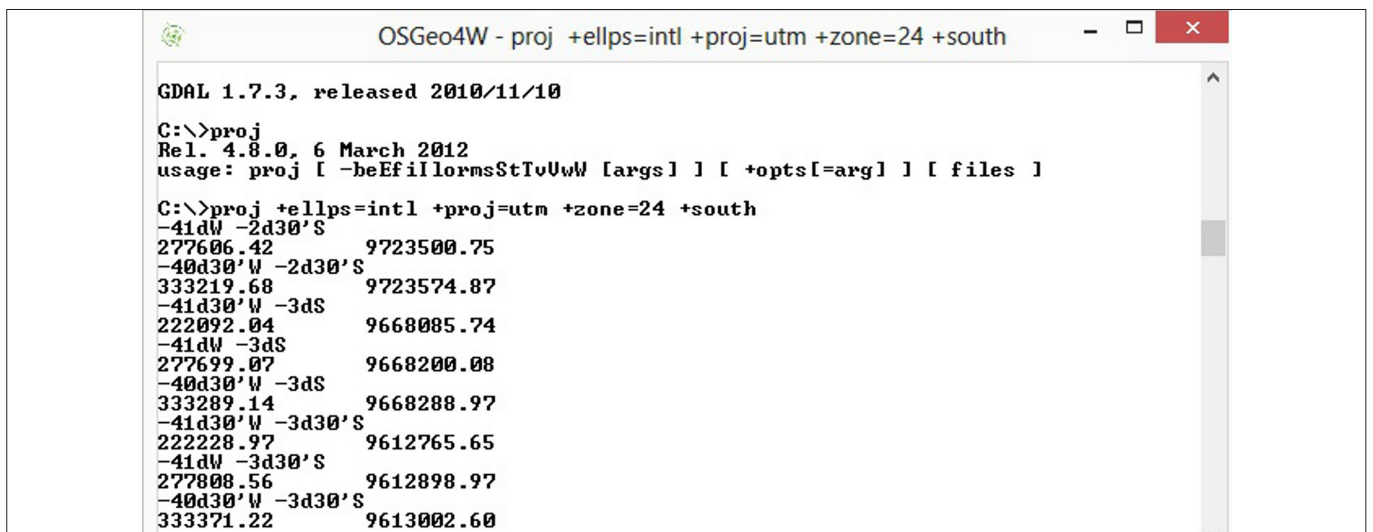


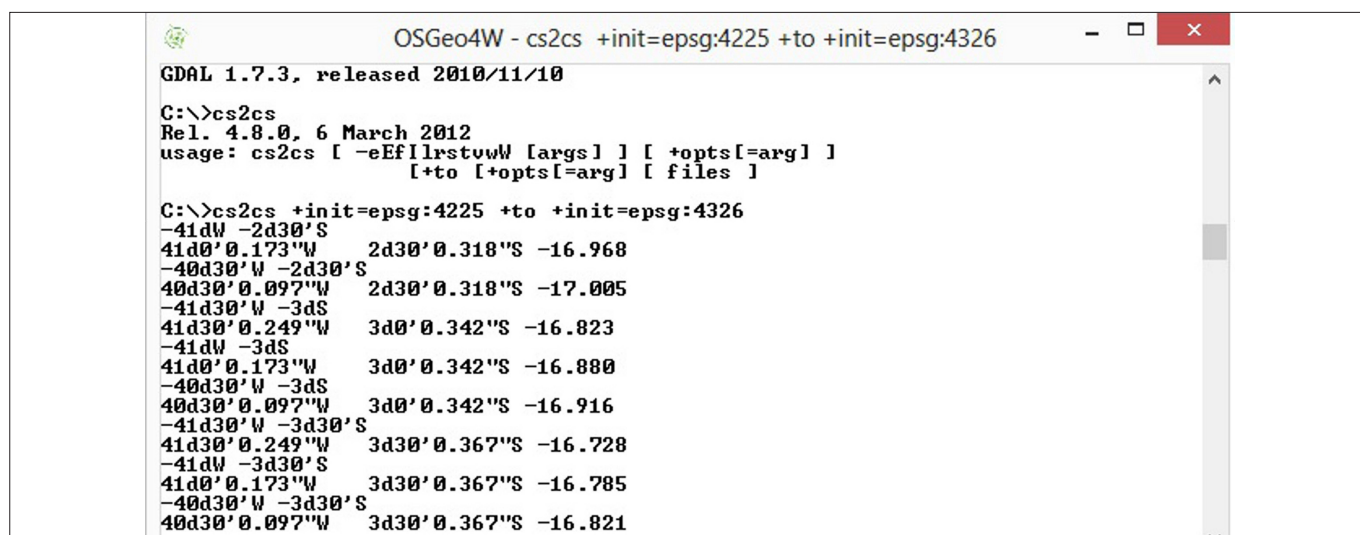
Figura 5 – Imagem da aplicação PROJ mostrando os resultados do cálculo das coordenadas cartesianas projetadas (X, Y) a partir das coordenadas geográficas (Long, Lat) para os vértices das cartas topográficas do NW do Ceará.

Figure 5 – Program PROJ image showing the calculation results of the projected Cartesian coordinates (X, Y) from the geographic coordinates (Long, Lat) on 8 vertices of the Northwestern Ceará topographic maps.

2. Em seguida, efetuou-se a conversão das coordenadas geográficas no *Datum* CA 70-72 para coordenadas geográficas no *Datum* WGS84, recorrendo à aplicação cs2cs (PROJ.4 *Cartographic Coordinate System Filter*), com o código: `cs2cs +init=epsg:4225 +to +init=epsg:4326` (Fig. 6). A aplicação cs2cs permite realizar transformações entre o sistema cartográfico fonte e o sistema cartográfico de destino a partir de um conjunto de pontos de entrada, associando códigos numéricos aos parâmetros dos sistemas de coordenadas (identificadores EPSG - *European Petroleum Survey Group*);

3. Seguiu-se a conversão das coordenadas geográficas no *Datum* WGS84 para coordenadas cartesianas UTM (E, N) no mesmo *Datum*, através da aplicação PROJ (`proj +ellps=WGS84 +proj=utm +zone=24 +south`), como se pode ver na Fig. 7;

4. Em paralelo, procedeu-se, igualmente, à transformação das coordenadas cartesianas UTM no *Datum* CA 70-72, obtidas previamente através da aplicação PROJ (ponto 1), para o *Datum* SIRGAS2000. Para o efeito, utilizou-se o *software* ProGrid, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.




```

OSGeo4W - cs2cs +init=epsg:4225 +to +init=epsg:4326
GDAL 1.7.3, released 2010/11/10
C:\>cs2cs
Rel. 4.8.0, 6 March 2012
usage: cs2cs [ -eEfiIlrstowW [args] ] [ +opts [=arg] ]
          [+to [+opts [=arg] ] [ files ] ]

C:\>cs2cs +init=epsg:4225 +to +init=epsg:4326
-41dW -2d30'S
41d0'0.173"W 2d30'0.318"S -16.968
-40d30'W -2d30'S
40d30'0.097"W 2d30'0.318"S -17.005
-41d30'W -3dS
41d30'0.249"W 3d0'0.342"S -16.823
-41dW -3dS
41d0'0.173"W 3d0'0.342"S -16.880
-40d30'W -3dS
40d30'0.097"W 3d0'0.342"S -16.916
-41d30'W -3d30'S
41d30'0.249"W 3d30'0.367"S -16.728
-41dW -3d30'S
41d0'0.173"W 3d30'0.367"S -16.785
-40d30'W -3d30'S
40d30'0.097"W 3d30'0.367"S -16.821
  
```

Figura 6 – Transformação de coordenadas geográficas do *Datum* Córrego Alegre (1970 + 1972; EPSG:4225) para coordenadas geográficas no *Datum* WGS84 (EPSG:4326) usando a aplicação cs2cs.

Figure 6 – Transformation of geographic coordinates in Córrego Alegre Datum (1970 + 1972; EPSG: 4225) to geographic coordinates in WGS84 Datum (EPSG: 4326) using the cs2cs application.



```

OSGeo4W - proj +ellps=WGS84 +proj=utm +zone=24 +south
GDAL 1.7.3, released 2010/11/10
C:\>proj
Rel. 4.8.0, 6 March 2012
usage: proj [ -beEfiIormsStTuUwW [args] ] [ +opts [=arg] ] [ files ]

C:\>proj +ellps=WGS84 +proj=utm +zone=24 +south
-41d0'0.173"W -2d30'0.318"S
277609.85 9723493.99
-40d30'0.097"W -2d30'0.318"S
333223.26 9723568.11
-41d30'0.249"W -3d0'0.342"S
222095.32 9668078.84
-41d0'0.173"W -3d0'0.342"S
277702.51 9668193.19
-40d30'0.097"W -3d0'0.342"S
333292.73 9668282.09
-41d30'0.249"W -3d30'0.367"S
222232.26 9612758.59
-41d0'0.173"W -3d30'0.367"S
277812.00 9612891.92
-40d30'0.097"W -3d30'0.367"S
333374.81 9612995.56
  
```

Figura 7 – Conversão de coordenadas geográficas no *Datum* WGS84 (input: Long, Lat) para coordenadas cartesianas no mesmo *Datum* (output: X, Y).

Figure 7 – Conversion of geographic coordinates in WGS84 Datum (input: Long, Lat) to Cartesian coordinates in the same Datum (output: X, Y).

Com base nos resultados obtidos, compilaram-se os valores das coordenadas cartesianas UTM (E, N) nos diferentes *Data* e verificou-se que os desvios encontrados são relativamente pequenos (Tabelas 2 e 3).

Resultados e conclusões

As diferenças entre os valores das coordenadas UTM nos *Data* CA 70-72, SIRGAS2000 e WGS84 obtidas para os 8 pontos são residuais, indicando que erros introduzidos quando se desconsidera o *Datum* Geodésico são, neste caso, mínimos. As ligeiras diferenças entre as coordenadas UTM *Easting* e *Northing* (Tabelas 2 e 3) nos três sistemas estudados, podem ser atribuídas a variações na forma e dimensão dos elipsoides de referência adotados em cada um dos sistemas, assim como, às distintas redes geodésicas (*Datum* local vs. *Datum* global) sobre as quais foram determinadas.

Para efeitos de cartografia geológica, a escalas compreendidas entre 1:25 000 a 1:250 000, os desvios observados são praticamente irrelevantes, até porque a precisão associada à informação de geoposicionamento fornecida pelos dispositivos GPS é de aproximadamente 10 metros. De qualquer modo, é sempre recomendável que os mapas topográficos em que se baseia a cartografia geológica e os dados de geoposicionamento adquiridos durante o levantamento geológico estejam referidos ao mesmo *Datum*.

Através da aplicação ArcGIS 10.1 é possível georreferenciar a cartografia topográfica e/ou geológica publicada ao *Datum* em que se obtêm os dados geoespaciais que se pretendem projetar. Assim, numa fase subsequente, procedeu-se à georreferenciação das cartas de Granja, Camocim e Chaval (*Datum* CA 70-72) no *Datum* SIRGAS2000, usando os valores das coordenadas cartesianas obtidas previamente (ponto 4) para os vértices das três cartas. Tendo em conta

Tabela 2 – Valores da coordenada cartesiana X (*False Easting*) para os 8 pontos nos diferentes *Data* geodésicos.

Table 2 – The Cartesian coordinate X values (*False Easting*) for the 8 points in the different geodetic *Data*.

		Córrego Alegre	WGS84	SIRGAS2000
Ponto	Córrego Alegre (λ , ϕ)	X (m)	X (m)	X (m)
1	"-41dW; -2d30'S"	277606,42	277609,85	277606.35
2	"-40d30'W; -2d30'S"	333219,68	333223,26	333219.62
3	"-41d30'W; -3dS"	222092,04	222095,32	222091.32
4	"-41dW; -3dS"	277699,07	277702,51	277698.93
5	"-40d30'W; -3dS"	333289,14	333292,73	333289.41
6	"-41d30'W; -3d30'S"	222228,97	222232,26	222228.52
7	"-41dW; -3d30'S"	277808,56	277812,00	277808.57
8	"-40d30'W; -3d30'S"	333371,22	333374,81	333371.89

Tabela 3 – Valores da coordenada cartesiana Y (*False Northing*) para os 8 pontos nos diferentes *Data* geodésicos.

Table 3 – The Cartesian coordinate Y values (*False Northing*) for the 8 points in the different geodetic *Data*.

		Córrego Alegre	WGS84	SIRGAS2000
Ponto	Córrego Alegre (λ , ϕ)	Y (m)	Y (m)	Y (m)
1	"-41dW; -2d30'S"	9723500,75	9723493,99	9723492,86
2	"-40d30'W; -2d30'S"	9723574,87	9723568,11	9723566,79
3	"-41d30'W; -3dS"	9668085,74	9668078,84	9668078,47
4	"-41dW; -3dS"	9668200,08	9668193,19	9668192,50
5	"-40d30'W; -3dS"	9668288,97	9668282,09	9668281,45
6	"-41d30'W; -3d30'S"	9612765,65	9612758,59	9612758,19
7	"-41dW; -3d30'S"	9612898,97	9612891,92	9612891,55
8	"-40d30'W; -3d30'S"	9613002,60	9612995,56	9612995,35

que o erro de graficismo de 0,2 mm numa carta na escala de 1:100 000 corresponde a 20 metros, os erros associados ao processo de georreferenciação não devem exceder esse valor. Quando se finaliza a georreferenciação de uma carta em ambiente ArcGIS, a aplicação fornece automaticamente o valor do erro associado, expresso através do parâmetro *RMS* (valor quadrático médio ou valor eficaz). No caso presente, os erros associados à georreferenciação das três cartas são inferiores a 20 metros (Granja: 7,65 metros; Camocim: 16,40 metros; Chaval: 18,78 metros), validando assim o procedimento usado.

Agradecimentos

O autor A. J. F. Silva agradece à Fundação para Ciência e Tecnologia a Bolsa de Investigação concedida (SFRH/BD/85292/2012) e às unidades de Investigação GeoBioTec (PEst-C/CTE/UI4035/2011) e Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (PEst-OE/CTE/UI0190/2011).

Bibliografia

- Catalão, J., 2010. *Projeções Cartográficas*. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 79 p.
- Gaspar, J. A., 2005. *Cartas e Projeções Cartográficas*. LIDEL edições técnicas, 3ª edição, Mafra, Portugal, 331 p.
- Gonçalves, J. A., 2008. Adopção de Sistemas de Referência Geográfica Globais. *Actas do XESIG*, Lisboa, 877-887.
- Marotta, G. S. & Rodrigues, D. D., 2011. Atualização de Parâmetros na Transformação em Referenciais Geodésicos Históricos. *Revista Brasileira de Cartografia*, 63/5: 609-617.

Minas da Panasqueira

Desde 1898



Sojitz Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S. A.



SEDE: Barroca Grande
6225-051 Aldeia de São Francisco de Assis
Portugal
Tel n.º: +351 275 659 100

LOJA DOS CRISTAIS: de Segunda a Sexta-Feira
09:00 - 13:00 / 14:00 - 18:00