

COORDENADAS GEODÉSICAS E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Júlio Cesar Lima d'Alge

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Processamento de Imagens – DPI
Av. Astronautas, 1758
12227-010 São José dos Campos, SP
Brasil
Telefone: (012) 345-6495
Fax: (012) 345-6468
julio@dpi.inpe.br

RESUMO

Coordenadas geodésicas constituem o vínculo natural entre os diferentes sistemas de projeção cartográfica disponíveis num Sistema de Informação Geográfica (SIG). As informações armazenadas na base de dados de um SIG referem-se usualmente a uma certa projeção cartográfica que, por sua vez, se relaciona diretamente a um sistema geodésico de referência. Assim, sempre que um usuário requerer uma transformação entre dois sistemas de projeção, o SIG deve verificar se ambas as projeções utilizam-se do mesmo sistema geodésico de referência, ou seja, se ambas vinculam-se ao mesmo “datum” planimétrico. Quando há diferenças o SIG deve realizar uma conversão de “datum” planimétrico que se traduz pela alteração dos valores das coordenadas geodésicas. Chega-se aqui ao ponto central explorado neste trabalho: o desconhecimento, por parte da grande maioria na comunidade de usuários de SIG, quanto à variabilidade, em função do “datum” planimétrico, das coordenadas ditas geográficas. Pretende-se, então, relembrar a essa comunidade de usuários a importância da noção de “datum” planimétrico para o estabelecimento correto do sistema de referência de uma projeção cartográfica. Enfatiza-se, ainda, a preponderância deste assunto para trabalhos que envolvam mapeamentos em escala grande ou que incluam transformações de projeção que impliquem em mudanças entre superfícies de referência elipsoidais e esféricas.

ABSTRACT

Geodetic coordinates are the natural link among the different map projections available in a Geographic Information System (GIS). GIS database content usually refers to a map projection system, which is directly related to a geodetic reference system. Thus, should a transformation between two map projections be required by a user, the GIS needs to check whether both map projections make use of the same geodetic reference system or the same planimetric datum. Should any difference occur, the GIS has to perform a planimetric datum conversion that changes the geodetic coordinates accordingly. This is the central issue discussed in this paper: GIS users frequently disregard that geodetic – or geographic, as they usually refer to – coordinates change as the planimetric datum turns. We intend to remind the community of GIS users how important the concept of planimetric datum is for correctly establishing a map projection reference system. We also emphasize the significance of this issue for projects that involve large scale mapping or that require map projection transformations between spherical and ellipsoidal reference surfaces.

INTRODUÇÃO

Com o propósito de fundamentar a discussão prática em torno da variabilidade das coordenadas geodésicas apresenta-se uma revisão inicial dos aspectos conceituais mais importantes ligados a sistemas geodésicos, “data” planimétricos, elipsóides de referência, modelos esféricos, conversão entre “data” e sistemas de projeção cartográfica, finalizando-se esta etapa com definições formais de latitude e longitude geodésicas. Examinam-se em seguida alguns aspectos práticos que reforçam a argumentação apresentada.

LATITUDE E LONGITUDE VARIAM?

Um dos problemas típicos na criação da base de dados de inúmeros projetos aqui no Brasil tem sido a co-existência de cartas topográficas em dois sistemas geodésicos de referência: Córrego Alegre e SAD-69. Os usuários de SIG já estão relativamente acostumados a conviver com escolhas de projeção e seleções de “datum” sempre que precisam realizar entrada ou importação de dados, mas costumam ignorar que as coordenadas geográficas - na verdade, geodésicas - são definidas sobre a superfície de referência do “datum” selecionado e que, portanto, variam de “datum” para “datum”.

Desfeito o mito da invariabilidade das coordenadas geodésicas, deve-se atentar para a magnitude das variações envolvidas. As diferenças entre Córrego Alegre e SAD-69, por exemplo, traduzem-se em discrepâncias de algumas dezenas de metros sobre a superfície do território brasileiro. Essas discrepâncias são negligenciáveis para projetos que envolvam mapeamentos em escala pequena, mas são absolutamente preponderantes para escalas maiores que 1:250.000. É o caso, por exemplo, do monitoramento do desflorestamento na Amazônia brasileira, que usa uma base de dados formada a partir de algumas cartas topográficas vinculadas ao “datum” Córrego Alegre e outras vinculadas ao SAD-69.

Um problema ainda maior é causado pelo uso de projeções desenvolvidas sobre um modelo esférico de referência, como a projeção cilíndrica equidistante, muito usada em SIG pela simplicidade de seu algoritmo e pelo fato de representar paralelos e meridianos por linhas retas igualmente espaçadas. Esta projeção foi inicialmente usada em um projeto de monitoramento de queimadas para integrar potenciais focos de queimada extraídos de imagens AVHRR/NOAA, dados de precipitação pluviométrica, vegetação, hidrografia e estradas, divisão política e imagens TM/LANDSAT. Uma conversão necessária foi a transformação de coordenadas geodésicas definidas sobre o elipsóide do SAD-69 (6.378.160m de raio equatorial e 1/298,25 de achatamento) para aquelas definidas sobre uma esfera de raio 6.371.000m. As longitudes não sofrem mudança nessa conversão, mas as latitudes sofrem alterações de alguns quilômetros. Um dos principais objetivos desse projeto é prover ao IBAMA listas diárias com as coordenadas dos focos de queimada mais preocupantes. Ora, como os técnicos do IBAMA utilizam tipicamente cartas topográficas UTM/SAD-69 para se localizar em campo, pode-se antever a confusão que seria causada pelas latitudes definidas sobre o modelo esférico.

O que há de errado, então? Na verdade, não há coisa alguma errada. Trata-se apenas de um exemplo radical de que as coordenadas geodésicas variam. A projeção cilíndrica equidistante do projeto de monitoramento de queimadas foi logo substituída pela projeção policônica desenvolvida sobre o elipsóide de Hayford. Deste modo, as discrepâncias ficam num nível que de forma alguma interfere no trabalho de campo dos técnicos do IBAMA.

TERRA CARTOGRÁFICA

A questão principal das técnicas de representação cartográfica diz respeito ao objeto de seu estudo, a Terra. Cartografia requer uma Terra matematicamente tratável para que os métodos de desenvolvimento das projeções cartográficas possam produzir uma representação matemática da superfície terrestre.

A Geodésia tem por finalidade maior o estudo da forma e das dimensões da Terra, o que requer, também, o conhecimento detalhado do campo da gravidade terrestre. A Terra do geodesta é o geóide, superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre que mais se aproxima do nível médio dos mares. A adoção do geóide como superfície matemática de referência esbarra no conhecimento limitado do campo da gravidade terrestre (veja Graaff-Hunter, 1966). A medida que este conhecimento aumenta, cartas geodais existentes são substituídas por novas versões atualizadas. Além disso, o equacionamento matemático do geóide é intrincado, o que o distancia de um uso mais prático. É por tudo isso que a Cartografia vale-se da aproximação mais grosseira aceita pelo geodesta: um elipsóide de revolução (veja Gemael, 1970). Visto de um ponto situado em seu eixo de rotação, projeta-se como um círculo; visto a partir de uma posição sobre seu plano do equador, projeta-se como uma elipse, que é definida por um raio equatorial ou semi-eixo maior e por um achatamento nos pólos.

Neste ponto torna-se oportuno colocar o conceito de “datum” planimétrico. Começa-se com um certo elipsóide de referência, que é escolhido a partir de critérios geodésicos de adequação ou conformidade à região da superfície terrestre a ser mapeada (veja, por exemplo, Snyder, 1987, para uma lista de elipsóides usados em diferentes países ou regiões). O próximo passo consiste em posicionar o elipsóide em relação à Terra real. Para isto impõe-se inicialmente a restrição de preservação do paralelismo entre o eixo de rotação da Terra real e o do elipsóide. Com esta restrição escolhe-se um ponto central (ou origem) no país ou região e se impõe, desta vez, a anulação do desvio da vertical, que é o ângulo formado entre a vertical do lugar no ponto origem e a normal à superfície do elipsóide. Fica definido então um dos arcabouços básicos para o sistema geodésico do país ou região: o “datum” planimétrico. Trata-se, portanto, de uma superfície de referência elipsoidal posicionada com respeito a uma certa região. Sobre esta superfície realizam-se as medições geodésicas que dão vida à rede geodésica planimétrica da região.

Um “datum” planimétrico é formalmente definido por cinco parâmetros: o raio equatorial e o achatamento elipsoidais e os componentes de um vetor de translação entre o centro da Terra real e o do elipsóide. Na prática, devido à incertezas na determinação do centro da Terra real, trabalha-se com translações relativas entre diferentes “data” planimétricos.

Dado um ponto sobre a superfície do elipsóide de referência de um certo “datum” planimétrico, a latitude geodésica é o ângulo entre a normal ao elipsóide, no ponto, e o plano do equador. A longitude geodésica é o ângulo entre o meridiano que passa no ponto e o meridiano origem (Greenwich, por convenção). Fala-se aqui da definição do sistema de paralelos e meridianos sobre a superfície elipsoidal do “datum”.

As projeções cartográficas desenvolvem-se, então, através de um mapeamento, normalmente guiado por imposições de conformidade ou equivalência (veja Snyder, 1987), de pontos sobre o elipsóide de referência (aquele escolhido para ser a Terra cartográfica) para pontos sobre uma superfície de projeção desenvolvível num plano (plano, cilindro ou cone). Este mapeamento traduz-se por uma relação entre coordenadas planas ou coordenadas de projeção e coordenadas geodésicas. Como um SIG guarda as coordenadas planas de um certo sistema de projeção cartográfica, fica clara a influência de uma definição correta de “datum” planimétrico na exatidão geodésica do conteúdo da base de dados do SIG.

Nos casos em que se prevê a utilização de uma certa projeção cartográfica em escalas pequenas (inferiores, diga-se, a 1:5.000.000) pode-se lançar mão de uma superfície esférica de referência em substituição ao elipsóide de referência. Diversas projeções, como a cilíndrica equidistante, que é muito usada em SIG, foram desenvolvidas sobre modelos esféricos. Deve-se ter em mente, para o que se expõe a seguir, que as discrepâncias entre um modelo esférico e um elipsoidal são maiores que aquelas entre dois modelos elipsoidais.

MODELOS ELIPSOIDAIS

Faz-se necessário chamar a atenção para o fato de que determinados modelos elipsoidais destinam-se ao estabelecimento de “data” planimétricos locais, situações em que o comprometimento de posicionamento em relação à Terra real contempla apenas uma certa região a ser mapeada e não a Terra como um todo. É o caso mais comum em Cartografia: agências

responsáveis pelo mapeamento nos diversos países escolhem seus elipsóides de referência e determinam seus “data” planimétricos.

Por outro lado, alguns modelos elipsoidais são estabelecidos com o intuito de ser globais, de oferecer suporte às atividades geodésicas e cartográficas que se destinam à Terra como um todo. Citam-se, como exemplo, os casos dos sistemas geodésicos mundiais (“world geodetic systems”) WGS-72 e WGS-84.

Com o intuito de trazer a discussão para a questão brasileira, apresenta-se inicialmente uma tabela com as discrepâncias entre coordenadas geodésicas definidas sobre os “data” planimétricos SAD-69 e Córrego Alegre (tabela 1). A seguir, apresenta-se uma tabela semelhante com as diferenças entre o SAD-69 e o WGS-84 (tabela2). Seguem-se, então, os comentários pertinentes ao conteúdo de cada tabela. Convém lembrar que os parâmetros de transformação entre os “data” planimétricos mencionados são publicados pelo IBGE.

Tabela 1 – Córrego Alegre → SAD-69

φ_1	λ_1	φ_2	λ_2	$\Delta\varphi(^{\circ})$	$\Delta\lambda(^{\circ})$
00 00 00.00	O 30 00 00.00	N 00 00 01.12	O 29 59 57.64	1.12	-2.36
00 00 00.00	O 45 00 00.00	N 00 00 01.12	O 44 59 59.41	1.12	-0.59
00 00 00.00	O 60 00 00.00	N 00 00 01.12	O 60 00 01.23	1.12	1.23
S 15 00 00.00	O 30 00 00.00	S 14 59 59.15	O 29 59 57.56	-0.85	-2.44
S 15 00 00.00	O 45 00 00.00	S 14 59 59.25	O 44 59 59.39	-0.75	-0.61
S 15 00 00.00	O 60 00 00.00	S 14 59 59.23	O 60 00 01.27	-0.77	1.27
S 30 00 00.00	O 30 00 00.00	S 29 59 59.77	O 29 59 57.27	-0.23	-2.73
S 30 00 00.00	O 45 00 00.00	S 29 59 59.96	O 44 59 59.32	-0.04	-0.68
S 30 00 00.00	O 60 00 00.00	S 29 59 59.92	O 60 00 01.41	-0.08	1.41
S 45 00 00.00	O 30 00 00.00	S 45 00 00.91	O 29 59 56.67	0.91	-3.33
S 45 00 00.00	O 45 00 00.00	S 45 00 01.18	O 44 59 59.17	1.18	-0.83
S 45 00 00.00	O 60 00 00.00	S 45 00 01.12	O 60 00 01.73	1.12	1.73

Tabela 2 – WGS-84 → SAD-69

φ_1	λ_1	φ_2	λ_2	$\Delta\varphi(^{\circ})$	$\Delta\lambda(^{\circ})$
00 00 00.00	O 30 00 00.00	N 00 00 01.25	O 29 59 58.80	1.25	-1.20
00 00 00.00	O 45 00 00.00	N 00 00 01.25	O 44 59 58.37	1.25	-1.63
00 00 00.00	O 60 00 00.00	N 00 00 01.25	O 59 59 58.06	1.25	-1.94
S 15 00 00.00	O 30 00 00.00	S 14 59 58.33	O 29 59 58.75	-1.67	-1.25
S 15 00 00.00	O 45 00 00.00	S 14 59 58.43	O 44 59 58.31	-1.57	-1.69
S 15 00 00.00	O 60 00 00.00	S 14 59 58.55	O 59 59 57.99	-1.45	-2.01
S 30 00 00.00	O 30 00 00.00	S 29 59 58.03	O 29 59 58.61	-1.97	-1.39
S 30 00 00.00	O 45 00 00.00	S 29 59 58.21	O 44 59 58.12	-1.79	-1.88
S 30 00 00.00	O 60 00 00.00	S 29 59 58.45	O 59 59 57.76	-1.55	-2.24
S 45 00 00.00	O 30 00 00.00	S 44 59 57.86	O 29 59 58.30	-2.14	-1.70
S 45 00 00.00	O 45 00 00.00	S 44 59 58.12	O 44 59 57.70	-1.88	-2.30
S 45 00 00.00	O 60 00 00.00	S 44 59 58.46	O 59 59 57.26	-1.54	-2.74

Com respeito aos objetivos propostos neste trabalho, o importante é perceber que as discrepâncias apresentadas nas tabelas 1 e 2 situam-se na faixa das dezenas de metros. Nota-se, também, que as diferenças entre Córrego Alegre e SAD-69 são menores que aquelas entre o WGS-84 e o SAD-69 para áreas centrais da extensão territorial brasileira.

A ordem de grandeza dessas discrepâncias aponta claramente para a questão prática que aqui se aborda. Projetos que envolvem mapeamentos em escalas maiores que 1:250.000 não podem, em hipótese alguma, negligenciar tais diferenças, sob pena do comprometimento total da exatidão geodésica da base de dados no SIG.

MODELOS ESFÉRICOS

Usados especialmente para dar suporte a projeções cartográficas que se propõem à exibição de extensas regiões da Terra em escalas pequenas, os modelos esféricos impõem uma variação grande nas latitudes geodésicas quando convertidos para um modelo elipsoidal. Como esta conversão assume que as figuras são concêntricas, não há alterações nas longitudes geodésicas. A tabela 3 exhibe os dados pertinentes à conversão do elipsóide do SAD-69 para um modelo esférico de raio 6.371.000m.

Tabela 3 – SAD-69 → Modelo Esférico

φ_1	φ_2	$\Delta\varphi(“)$
00 00 00.00	00 00 00.00	0.00
S 15 00 00.00	S 14 54 02.40	-357.60
S 30 00 00.00	S 29 48 22.56	-697.44
S 45 00 00.00	S 44 42 45.51	-1.034.49

Vê-se que agora a ordem de grandeza envolvida – atinge dezenas de quilômetros – explica o cuidado especial que se deve ter com relação à criação de bases de dados em SIG através de projeções cartográficas que utilizem um modelo esférico para a Terra. Torna-se preponderante usar os mecanismos apropriados de conversão de coordenadas geodésicas sempre que a integração de dados no SIG envolver projeções cartográficas que usem modelos elipsoidais e esféricos.

CONCLUSÃO

A idéia maior deste trabalho é demonstrar preocupação com três aspectos distintos inerentes ao uso de coordenadas geodésicas em SIG. Em primeiro lugar, como já foi mencionado, deve-se atentar para o fato de que aspectos cartográficos básicos não podem ser negligenciados pela comunidade de usuários e devem ser necessariamente incluídos na curva de aprendizado no uso de um SIG. Outro problema é meramente técnico. A conversão de coordenadas geodésicas é um pré-requisito indispensável na lista de funcionalidades de um SIG. Como no exemplo da projeção cilíndrica equidistante, um SIG não pode jamais omitir tal conversão de coordenadas. Por último, torna-se preocupante a facilidade com que dados com documentação incompleta são exportados e compartilhados por usuários de SIG. É o caso de inúmeros arquivos ASCII que contêm latitudes e longitudes, mas estão totalmente desprovidos da informação essencial a respeito do “datum” planimétrico.

BIBLIOGRAFIA

Gemael, C. [1970] Spherical harmonics in Geodesy. Boletim da Universidade Federal do Paraná, nº 12.

Graaff-Hunter, J. [1966] Earth shape studies and relevant assumptions, 1743 to 1966. Boletim da Universidade Federal do Paraná, nº 10.

Snyder, J. P. [1987] Map projections – a working manual. U. S. Geological Survey, Professional Paper 1395.