

## Avaliação da transformação de Coordenadas Geodésicas usando Diferentes Métodos e Parâmetros no Brasil

Carlos Aluísio Mesquita de Almeida <sup>1</sup>  
Felipe Geremia Nievinski <sup>2</sup>  
Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha <sup>3</sup>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geodésia  
91501-970 Porto Alegre RS

<sup>1</sup> ✉ [carlosaluisio@hotmail.com](mailto:carlosaluisio@hotmail.com)  
<sup>2</sup> ✉ [fnievinski@terra.com.br](mailto:fnievinski@terra.com.br)  
<sup>3</sup> ✉ [ronaldo.rocha@ufrgs.br](mailto:ronaldo.rocha@ufrgs.br)

<b>Conteúdo</b>	<p><b>1. Introdução</b></p> <p><b>2. Métodos</b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>2.1. Método de Transformação "Três Parâmetros"</b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>2.2. Método de Transformação "Molodensky Padrão"</b></p> <p><b>3. Parâmetros</b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>3.1. Do IBGE</b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>3.2. Da NIMA</b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>3.3 Procedimentos Usados em Programas de Geoprocessamento</b></p> <p><b>4 Avaliação das Transformações</b></p> <p><b>5 Conclusões e Discussão</b></p> <p><b>6 Referências Bibliográficas</b></p>
-----------------	---

**Resumo:** este trabalho avalia a transformação de coordenadas geodésicas no Brasil utilizando os procedimentos publicados pelo IBGE e pela NIMA. Esses procedimentos incluem métodos e parâmetros diferentes. Foram encontradas diferenças nas coordenadas transformadas pelos dois procedimentos. Essas diferenças tem conseqüências em aplicações de fusão de dados de múltiplas fontes, entre outras. O problema apresentado é relevante porque a maioria dos programas de geoprocessamento que realizam transformação de coordenadas geodésicas utilizam o procedimento da NIMA por padrão.

**Palavras chave:** Transformação, Coordenadas.

**Abstract:** this paper evaluates the transformation of geodetic coordinates in Brasil using the procedures published by IBGE and NIMA. These procedures include different methods and parameters. It was found differences between the coordinates transformed through the two procedures. These differences impact applications of multiple source data fusion, among others. The problem presented in this paper is important for users in Brazil because most of popular GIS software packages use NIMA's procedure by default.

**Keywords:** Transformation, Coordinates.

### 1 Introdução

Uma transformação de coordenadas geodésicas é necessária toda vez que se deseja expressar as coordenadas de um ponto em um sistema de referência diferente do que foi utilizado para o seu levantamento original. Esse problema é relevante hoje em dia no Brasil porque o sistema de referência oficial (SAD-69) é diferente do utilizado pelo NAVSTAR/GPS (WGS-84), tecnologia cada vez mais comum em levantamentos. Ainda co-existem com o sistema oficial atual outros sistemas mais antigos, que compartilham a mesma necessidade.

Para realizar essa transformação existem vários métodos. Entre os métodos conformes há os que realizam apenas translações, os que realizam translações e escalonamento, e os que realizam translações, escalonamento e rotações nos eixos cartesianos geocêntricos do sistema de referência original para aproximá-lo do sistema de destino. Outros métodos permitem uma transformação variável no espaço, levando em conta as distorções de um sistema e incorporando a modelagem dos resíduos da transformação conforme.

Para cada método de transformação há valores de parâmetros para cada par de sistemas de origem e destino. Assim, há valores para os parâmetros de transformação entre o WGS-84 e o SAD-69, por exemplo. Ainda podem haver valores de parâmetros específicos para uma região de aplicação, como a transformação entre o WGS-84 e a implementação do SAD-69 no Brasil ou regiões menores. Ainda para o mesmo par de sistemas de origem e destino e a mesma região podem haver valores diferentes para os parâmetros, dependendo da densidade e qualidade da amarração entre os dois sistemas (quantidade e precisão/acurácia dos pontos de controle com coordenadas conhecidas nos dois sistemas).

Usando como o exemplo o Estado do Rio Grande do Sul, tradicionalmente, adota-se vários sistemas de referência para a realização de serviços em Geodésia como, por exemplo, mapeamento cartográfico, deslocamento de estruturas, demarcação de terras. Logicamente, essa diversidade de sistemas pode acarretar erros no desenrolar do trabalho, desde a coleta dos dados, processamento

dos pontos, conversão de bases, edição final. O Datum escolhido varia de região para região e também varia de acordo com a natureza do trabalho. Os sistemas que são (ou foram) utilizados é o sistema da Carta Geral do Brasil, utilizando como datum horizontal o observatório da CCGB, datum vertical o marégrafo de Torres e como elipsóide o elipsóide de Hayford - 1909; o sistema Córrego Alegre, com datum horizontal o vértice Córrego Alegre e datum vertical o Marégrafo de Torres, e por último o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), que é o utilizado atualmente. Nas articulações das folhas do mapeamento sistemático do Rio Grande do Sul, os três sistemas estão em uso, podendo uma base ser apresentada em um sistema, outra base de outro local em outra, etc., e também é utilizado o WGS-84 em alguns serviços, pois ele é o sistema padrão do NAVSTAR/GPS, ou seja, é o padrão nos aparelhos comerciais.

Seguidamente tem de ser feitas transformações entre sistemas para atender uma certa necessidade, e, em muitos casos, há uma despreocupação em relação ao erro cometido no momento desta transformação. Há também o problema do desconhecimento dos parâmetros de transformação entre o sistema Carta Geral e o WGS-84, acarretando o problema de, em muitas vezes, o próprio responsável pelo projeto calcular esses parâmetros de deslocamento através de coordenadas coletadas na própria carta ou coletando dados em campo, dificultado e tornando mais caro o trabalho.

Neste trabalho avaliamos a transformação de coordenadas geodésicas entre o WGS-84 e o SAD-69 no Brasil, utilizando alguns dos métodos e parâmetros conhecidos publicamente atualmente: métodos de transformação "Três Parâmetros" e "Molodensky Padrão", e os parâmetros disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Agência Nacional de Mapeamento e Imageamento dos EUA (NIMA).

## 2 Métodos

### 2.1 Método de Transformação "Três Parâmetros"

O método de transformação "Três Parâmetros" simplesmente aplica uma translação nos eixos cartesianos geocêntricos do sistema de referência de origem:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_D = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_0 \quad (1)$$

As coordenadas cartesianas são calculadas a partir das coordenadas curvilíneas pela forma usual:

$$\begin{aligned} X_0 &= (N + h_0) \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ Y_0 &= (N + h_0) \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \\ Z_0 &= [(N(1 - e^2) + h_0) \sin \varphi_0 \end{aligned} \quad (2)$$

onde  $N$  é o raio de curvatura do primeiro vertical (pequena normal) e  $e$  é a primeira excentricidade do elipsóide:

$$\begin{aligned} N &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_D}} \\ e^2 &= f(2 - f) \end{aligned} \quad (3)$$

Este é o método utilizado para a transformação divulgada pelo IBGE (IBGE, 1989).

### 2.2 Método de Transformação "Molodensky Padrão"

Esse método utiliza 5 parâmetros:  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta f$ . A sua fórmula aplica a transformação diretamente nas coordenadas curvilíneas do sistema de origem:

$$\begin{aligned} \varphi_D &= \varphi_0 + \Delta \varphi \\ \lambda_D &= \lambda_0 + \Delta \lambda \\ h_D &= h_0 + \Delta h \end{aligned} \quad (4)$$

As diferenças são calculadas pelas fórmulas reduzidas de Molodensky:

$$\Delta \varphi'' = \{-\Delta X \sin \varphi \cos \lambda - \Delta Y \sin \varphi \sin \lambda + \Delta Z \cos \varphi + \Delta a (R_M e^2 \sin \varphi \cos \varphi) / a + \Delta f [R_M (a/b) + R_M (b/a)] \sin \varphi \cos \varphi\} \cdot [(R_M + h) \sin 1'']^{-1} \quad (5)$$

$$\Delta \lambda'' = [-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda] \cdot [(R_M + h) \cos \varphi \sin 1'']^{-1} \quad (5a)$$

$$\Delta h = \Delta X \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z \sin \varphi - \Delta a(a/R_N) + \Delta f(b/a)R_N \sin^2 \varphi$$

(5b)

onde:

$\phi, \lambda, h$  = coordenadas geodésicas do sistema de origem

$\varphi$  = latitude geodésica

$\lambda$  = longitude geodésica

$h = N + H$

sendo:

$h$  = Altitude Geodésica (em relação ao elipsóide)

$N$  = Altitude em relação ao nível do mar (altitude do Geóide)

$H$  = Altitude Ortométrica (altitude relativa, entre o geóide e o elipsóide)

$\Delta \varphi, \Delta \lambda, \Delta h$  = Variações entre as coordenadas de um sistema para outro

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  = Parâmetros de translações planas envolvendo coordenadas geodésicas métricas entre um sistema e outro.

$a$  = Semi-eixo maior do elipsóide

$b$  = Semi-eixo menor do elipsóide

$b/a = 1 - f$

sendo:

$f$  = achatamento do elipsóide

$\Delta a, \Delta f$  = diferenças do semi-eixo maior e do achatamento entre um elipsóide e outro.

$e$  = Primeira excentricidade, que é dada por:  $e^2 = 2f - f^2$

$R_N$  = Raio da curvatura do primeiro vertical (pequena normal), que é dado por:  $R_N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}$

(conforme descrito acima, no método dos três parâmetros).

$R_M$  = Raio da curvatura no meridiano (grande normal), que é dado por:  $R_M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}$

Este é o método utilizado para a transformação divulgada pela NIMA (NIMA, 1997).

### 3 Parâmetros

#### 3.1 Do IBGE

Os parâmetros para a transformação divulgada pelo IBGE, através da Resolução nº 23, de 21 de fevereiro de 1989 (IBGE, 1989), são os seguintes:

**Tabela 1:** Parâmetros para a transformação divulgada pelo IBGE

Parâmetro	Valor	Desvio padrão
$\Delta X$	+66,87 m	± 0,43 m
$\Delta Y$	-4,37 m	± 0,44 m
$\Delta Z$	+38,52 m	± 0,40 m

#### 3.2 Da NIMA

Os parâmetros para a transformação divulgada pela NIMA, publicados em 1991 através do relatório técnico 8350.2 (NIMA, 1997), são os seguintes:

**Tabela 2:** Parâmetros para a transformação divulgada pela NIMA

Parâmetro	Valor	Desvio padrão
$\Delta X$	+60 m	± 3 m
$\Delta Y$	+2	± 5 m
$\Delta Z$	+41 m	± 5 m
$\Delta a$	23 m	-
$\Delta f$	$0.00081204 \times 10^4$	-

### 3.3 Procedimentos Usados em Programas de Geoprocessamento

A lista abaixo relaciona os valores usados em alguns programas de geoprocessamento que realizam as transformações em estudo. Essa lista objetiva apenas apresentar alguns exemplos.

Tabela 3: Parâmetros usados em alguns programas

Nome	Versão	Fabricante	Procedimento de Transformação
AutoCAD Map	2000	Autodesk	NIMA
ArcView	3.2	ESRI	NIMA
Idrisi		Clark Labs	NIMA
ENVI	3.5	RSI/Kodak	NIMA

### 4 Avaliação das Transformações

Avaliamos as transformações utilizando pontos da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, comparando as suas coordenadas SAD-69 calculadas com os métodos e parâmetros descritos acima.

Tabela 4: Coordenadas WGS-84

Identificação	Código	Latitude	Longitude	Altitude
POAL	91850	-30° 04' 26.56213"	-51° 07' 11.12753"	76.793 m

Tabela 5: Coordenadas SAD-69 oficiais

Identificação	Código	Latitude	Longitude	Altitude
POAL	91850	-30° 04' 24.7579"	-51° 07' 09.2863"	73.9071 m

Tabela 6: Coordenadas SAD-69 calculadas com o procedimento do IBGE

Identificação	Código	Latitude	Longitude	Altitude
POAL	91850	-30° 04' 24.76"	-51° 07' 09.29"	-

Tabela 7: Coordenadas SAD-69 calculadas com o procedimento da NIMA

Identificação	Código	Latitude	Longitude	Altitude
POAL	91850	-30° 04' 24.84"	-51° 07' 09.34"	-

Tabela 8: Diferenças nas coordenadas calculadas

Identificação	Código	$\Delta$ Latitude	$\Delta$ Longitude	Altitude
POAL	91850	0° 0' 0.08"	0° 0' 0.05"	-

### 5 Conclusões e Discussão

A primeira conclusão é a necessidade de atenção ao procedimento de transformação de coordenadas geodésicas pelos usuários. O uso de diferentes procedimentos de transformação gera diferenças nos valores das coordenadas transformadas.

As conseqüências dessas diferenças são percebidas em problemas de fusão de dados de múltiplas fontes, por exemplo. Duas bases de dados podem estar sob o mesmo sistema de referência, mas terem sido transformadas de outros sistemas utilizando diferentes procedimentos. Isso pode fazer com que uma mesma representação de uma feição seja transformada em duas representações diferentes (i.e., com diferença nas coordenadas dos seus pontos). Portanto a segunda conclusão é a necessidade da devida documentação técnica dos dados e dos processamentos aplicados a eles.

### 6 Referências Bibliográficas

**NIMA - DoD.**: *World Geodetic System 1984 - Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems (TR 8350.2)* (Disponível em: (<ftp://164.214.2.65/pub/gig/tr8350.2/wgs84fin.pdf>))

**Featherstone, W.E.**: *A comparison of existing coordinate transformation models and parameters in Australia*. Cartography, 26(1): 13-26. 1997. (Disponível em: (<http://www.cage.curtin.edu.au/~will/molbwcweb.pdf>)).

**Fortes, L. P. S.; Cagnin, I.F.; Godoy R. A. Z.**: *Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWC-922, WGS-84 e SAD-69*, In Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Volume I, pp 157-165, Gramado –RS, Brasil. 1989.

**Costa, Moisés; Santos, Marcelo.** *Compatibilização entre sistemas Geodésicos*. In COBRAC 98 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis - SC. 1998. Disponível em: (<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac98/080/080.htm>)

**Cordini, Jucilei; Garnés, Silvio; de Moraes, Carlito. Nadal, Carlos.**: *Transformações de Referenciais Geodésicos*. In COBRAC 98 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis - SC. 1998. Disponível em: (<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac98/077/077.htm>)

**IBGE.** *Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos.* 1989. Disponível em:

