

# Transformação entre Referenciais Geodésicos

[Cálculos](#)

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é um sistema de coordenadas associado a algumas características terrestres. Conforme (Oliveira,1998), a implantação de um SGR pode ser dividida em quatro etapas: conceito, definição, materialização e densificação.

Do ponto de vista conceitual do SGR é visualizada a origem do sistema e fixação dos eixos. Com a origem no centro de massa da Terra ou trasladado para o centro de outro sistema. Quanto à fixação dos eixos de coordenadas, estes devem ser fixos no espaço com relação à origem. A definição estabelece princípios que fixam a origem, a orientação e eventual escala de sistemas de coordenadas (representado por exemplo por um elipsóide de revolução). A materialização é o conjunto de pontos definidos (materializados) no terreno, aos quais é estabelecido um conjunto de coordenadas de referência para os mesmos. Finalmente a densificação implica na materialização de pontos auxiliares na superfície terrestre, com um espaçamento menor entre os pontos do que os pontos principais da rede. Os SGR são classificados, quanto ao método de determinação e orientação, em Clássicos e Modernos.

## SISTEMAS DE REFERÊNCIA CLÁSSICOS E MODERNOS

### Clássicos

A determinação de posições precisas sobre a superfície terrestre através dos métodos clássicos em Geodésia tradicionalmente implicou na necessidade de adoção de dois SGRs um horizontal e outro vertical. O SGR vertical fornece a referência para a determinação precisa da componente altimétrica do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), enquanto o SGR horizontal fornece a referência para a determinação precisa das componentes planimétricas (latitude e longitude).

Um SGR horizontal é tradicionalmente definido por um elipsóide e seu posicionamento no espaço. Este elipsóide é escolhido de forma a garantir uma boa adaptação ao geóide na região. Os parâmetros definidores do sistema normalmente estão vinculados a um ponto na superfície terrestre, denominado de ponto origem. O centro deste elipsóide não coincide com o centro de massa da Terra – o geocentro, devido ao requisito de boa adaptação na região de interesse.

As metodologias de levantamentos utilizadas na materialização de um SGR clássico horizontal, foram a triangulação e a poligonação. Os sistemas Córrego Alegre, Chuá Astro-Datum e o SAD69, são exemplos de SGR de concepção clássica.

### Modernos

Um referencial (ou sistema) geodésico moderno apresenta as seguintes características: sua definição pressupõe a adoção de um elipsóide de revolução cuja origem coincide com o centro de massa da Terra e com eixo de revolução coincidente com o eixo de rotação da Terra. A sua materialização se dá mediante o estabelecimento de uma rede de estações geodésicas com coordenadas tridimensionais. Estas coordenadas são estabelecidas através de técnicas de posicionamento espacial de alta precisão. Sendo assim, as medidas estão relacionadas a um sistema cartesiano tridimensional (3D) com origem no geocentro (IBGE,2000).

## ORIENTAÇÃO

### Geocêntrica

Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra, onde a origem está localizada no centro de massa da Terra.

### Topocêntrica

O centro do elipsóide (ou origem dos eixos) não está localizado no centro de massa da Terra, mas sim no ponto de origem (vértice) escolhido.

## SISTEMAS DE REFERÊNCIAS: EVOLUÇÃO NO BRASIL

Historicamente, no Brasil já foram oficialmente adotados quatro referenciais geodésicos:

### Córrego Alegre

Na década de 50 foi adotado o Sistema Geodésico Córrego Alegre, o qual tinha como vértice o ponto Córrego Alegre e o elipsóide Internacional de Hayford de 1924 como superfície de referência, sendo seu posicionamento e orientação determinados astronômicamente.

Coordenadas:

- latitude =  $19^{\circ} 50' 14.91''$  S
- longitude =  $48^{\circ} 57' 41.98''$  W
- h = 683.81 metros

Orientação elipsóide-geóide no ponto datum:

- $\zeta = 0$  (componentes do desvio da vertical)
- N = 0 metros (ondulação geoidal)

### Astro Datum Chuá

A partir de estudos gravimétricos na região do ponto Córrego Alegre, foi escolhido um novo ponto, no vértice de Chuá. Este sistema foi estabelecido pelo IBGE em caráter provisório, como um ensaio para a implantação do Datum SAD69. Foram ignoradas as componentes do desvio da vertical no processo de ajustamento das coordenadas do Datum.

### SAD69

O sistema geodésico SAD69 foi oficialmente adotado no Brasil em 1979. A imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967.

O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral do Estado de Santa Catarina.

Foram determinados os parâmetros topocêntricos das componentes do desvio da vertical e ondulação geoidal no vértice Chuá.

Coordenadas

- latitude :  $19^{\circ} 45' 41.6527''$  S
- longitude:  $48^{\circ} 06' 04.0639''$  W
- Altitude ortométrica: 763.28 m
- Azimute (Chuá - Uberaba):  $271^{\circ} 30' 04.05''$

Orientação elipsóide-geóide no ponto datum

- $\zeta = 0.31$
- $\eta = -3.52$
- N = 0 m

## SAD69 - Realização 1996

Em 1996 foi concluído pelo IBGE o reajustamento da rede geodésica brasileira, utilizando-se das novas técnicas de posicionamento por satélites GPS. Juntamente com as observações GPS também participaram do reajustamento os pontos da rede clássica. A ligação entre as duas redes foi feita através de 49 estações da rede clássica, as quais foram observadas por GPS. Esse ajustamento forneceu também o desvio padrão das coordenadas das estações.

## WGS84

O WGS84 é a quarta versão do sistema de referência geodésico global estabelecido pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) desde 1960 com o objetivo de fornecer posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo. Ele é o sistema de referência das efemérides operacionais do sistema GPS. Daí a importância do WGS84 frente aos demais sistemas de referência.

No Brasil, os parâmetros de conversão entre SAD69 e WGS84 foram apresentados oficialmente pelo IBGE em 1989. Uma das principais características do WGS84 diante do SAD69 é este ser um sistema geocêntrico, ao contrário do sistema topocêntrico do SAD69.

## SIRGAS

O SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) foi criado em outubro de 1993, contando com a participação dos países da América do Sul, representados por suas agências nacionais, tendo como principal objetivo estabelecer um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul. A adoção do SIRGAS segue uma tendência atual, tendo em vista as potencialidades do GPS e as facilidades para os usuários, pois, com esse sistema geocêntrico, as coordenadas obtidas com GPS, relativamente a esta rede, podem ser aplicadas diretamente aos levantamentos cartográficos, evitando a necessidade de transformações e integração entre os dois referenciais (Dalazoana; Freitas. 2000).

Utilizando a concepção de um Sistema de Referência Moderno, onde a componente "tempo" é a acrescentada, as coordenadas e vetor velocidades dos vértices são referidos a uma determinada época. O elipsóide utilizado é o GRS-80 (Geodetic Reference System 1980), sendo considerado idêntico ao WGS84 em questões de ordem prática, como é o caso do mapeamento. As constantes dos dois elipsóides são idênticas, com exceção de uma pequena variação no achatamento terrestre ( $f_{WGS84} = 1/298.257223563$ ,  $f_{GRS80} = 1/298.257222101$ ).

O pós-processamento de um rastreamento GPS realizado com efemérides precisas, proporcionam coordenadas em ITRFyy e ou SIRGAS, dependendo da estação de referência (ou junção) no posicionamento relativo for ITRF e ou SIRGAS, respectivamente. Nos demais casos, como por exemplo, no posicionamento diferencial pós-processado com efemérides operacionais e o posicionamento em tempo real, as coordenadas resultantes estarão referidas ao WGS84.

No Brasil, fazem parte das estações SIRGAS, 9 estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Foi oficialmente adotado como Referencial Geodésico Brasileiro em 2005, através da Resolução do Presidente do IBGE N°1/2005, onde é alterada a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro, estando atualmente em um período de transição de 10 anos, onde o SAD69 ainda poderá ser utilizado pela comunidade, com a recomendação de que novos trabalhos sejam feitos já no novo sistema (Resolução do RJ, IBGE).

## MÉTODOS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE SISTEMAS

A Resolução do IBGE N°22, de 21/07/83, estabeleceu para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), as fórmulas oficiais de transformação entre os Sistemas Geodésicos usados no Brasil e os respectivos parâmetros de transformação entre alguns dos Sistemas de Referência.

A partir dos parâmetros fornecidos vale ressaltar que o elipsóide adotado para o SAD 69 difere do Elipsóide de Referência 1967, pois este tem o achatamento igual a  $1/298,247\ 167\ 427$ .

## Fórmulas Simplificadas de Molodensky

Como modelo matemático são apresentadas as equações diferenciais simplificadas de Molodensky, Este método utiliza 5 parâmetros (3 parâmetros de translação e as diferenças entre os semi-eixos maior e achatamento dos dois sistemas), aplicando a transformação diretamente nas coordenadas curvilíneas do sistema de origem.

$$\Delta\phi^{\circ} = \frac{1}{M_1} \{ (a_1\Delta f + f_1\Delta a) \sin 2\phi_1 - \Delta x \sin\phi_1 \cos\lambda_1 - \Delta y \sin\phi_1 \sin\lambda_1 + \Delta z \cos\phi_1 \} \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta\lambda^{\circ} = \frac{1}{N_1 \cos\phi_1} \{ -\Delta x \sin\lambda_1 + \Delta y \cos\lambda_1 \} \frac{180}{\pi}$$

$$\begin{aligned}\phi_2^{\circ} &= \phi_1^{\circ} + \Delta\phi^{\circ} \\ \lambda_2^{\circ} &= \lambda_1^{\circ} + \Delta\lambda^{\circ}\end{aligned}$$

Fórmulas simplificadas de Molodensky

### Fórmula dos Três Parâmetros

Com a publicação da Resolução do IBGE N°23, de 21/02/89, entre outras alterações, são apresentados os parâmetros de transformação oficiais entre SAD69 e o WGS84 e introduzida a fórmula dos Três Parâmetros como método de transformação oficial. O modelo matemático consiste da aplicação dos 3 parâmetros de translação nos eixos cartesianos geocêntricos do sistema de referência de origem. As coordenadas são inicialmente convertidas para cartesianas, onde são aplicados os parâmetros e após são convertidas novamente em coordenadas geodésicas.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_D = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_0$$

Fórmula dos 3 Parâmetros

### Fórmulas Completas de Molodensky

Apesar de não oficiais no Brasil, as fórmulas completas de Molodensky fornecem uma maior precisão ao processo de transformação de coordenadas. Nos dias de hoje, com a facilidade de implementação destas fórmulas, vale a pena sua utilização frente, por exemplo, às fórmulas apresentadas na resolução do IBGE N°22, de 21/07/83.

$$\Delta\phi = \frac{\sin\phi_1 \cos\lambda_1}{M+H} \Delta x + \frac{\sin\phi_1 \sin\lambda_1}{M+H} \Delta y - \frac{\cos\phi_1}{M+H} \Delta z + \frac{a^2/N+H}{M+H} \sin\lambda_1 dE_x - \frac{a^2/N+H}{M+H} \cos\lambda_1 dE_y +$$

$$+ \frac{[1-(1-f)^2]N}{M+H} \cos\phi_1 \sin\phi_1 \left( dk + \frac{da}{a} \right) + \frac{M+(1-f)^2 N}{M+H} \cos\phi_1 \sin\phi_1 \frac{df}{1-f}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\sin\lambda_1}{(N+H) \cos\phi_1} \Delta x - \frac{\cos\lambda_1}{(N+H) \cos\phi_1} \Delta y - \frac{(1-f)^2 N+H}{N+H} \operatorname{tg}\phi_1 \cos\lambda_1 dE_x -$$

$$- \frac{(1-f)^2 N+H}{N+H} \operatorname{tg}\phi_1 \sin\lambda_1 dE_y + dE_z$$

$$dH = -\Delta x \cos\phi_1 \cos\lambda_1 - \Delta y \cos\phi_1 \sin\lambda_1 - \Delta z \sin\phi_1 + [1-(1-f)^2] N \sin\phi_1 \cos\phi_1 \sin\lambda_1 dE_x -$$

$$- [1-(1-f)^2] N \sin\phi_1 \cos\phi_1 \cos\lambda_1 dE_y - (a^2/N+H) dk - \frac{a}{N} da + (1-f)^2 N \sin^2\phi_1 \frac{df}{1-f}$$

Fórmulas Completas de Molodensky (Pierozzi, 1989)

### PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE SISTEMAS ADOTADOS NO BRASIL

SAD69	WGS84	CÓRREGO	SIRGAS
Translação X	-66,87 m	+138,70 m	-67,348 m
Translação Y	+4,37 m	-164,40 m	+3,879 m
Translação Z	-38,52 m	-34,40 m	-38,223 m

SIRGAS	WGS84	CÓRREGO	SAD69
Translação X	+0,478 m	+206,048 m	+67,348 m
Translação Y	+0,491 m	-168,279 m	-3,879 m
Translação Z	-0,297 m	+3,823 m	+38,223 m

CÓRREGO	WGS84	SIRGAS	SAD69
Translação X	-205,57 m	-206,048 m	-138,70 m
Translação Y	+168,77 m	+168,279 m	+164,40 m
Translação Z	-4,12 m	-3,823 m	+34,40 m

WGS84	SIRGAS	CÓRREGO	SAD69
Translação X	-0,478 m	+205,57 m	+66,87 m
Translação Y	-0,491 m	-168,77 m	-4,37 m
Translação Z	+0,297 m	-72,623 m	+38,52 m

## [Transformação entre Referenciais Geodésicos - Cálculos](#)