

# Mudança de referencial e atualização de coordenadas, uma análise da consistência entre o SIR17P01 e a RBMC

Raissa da Cruz Ferreira

Rita Pereira Calderaro

Alessandro Salles Carvalho

Edvaldo Simões da Fonseca Junior

# Estrutura do trabalho

1

Introdução

2

Objetivo

3

Materiais e métodos

4

Resultados

5

Considerações finais



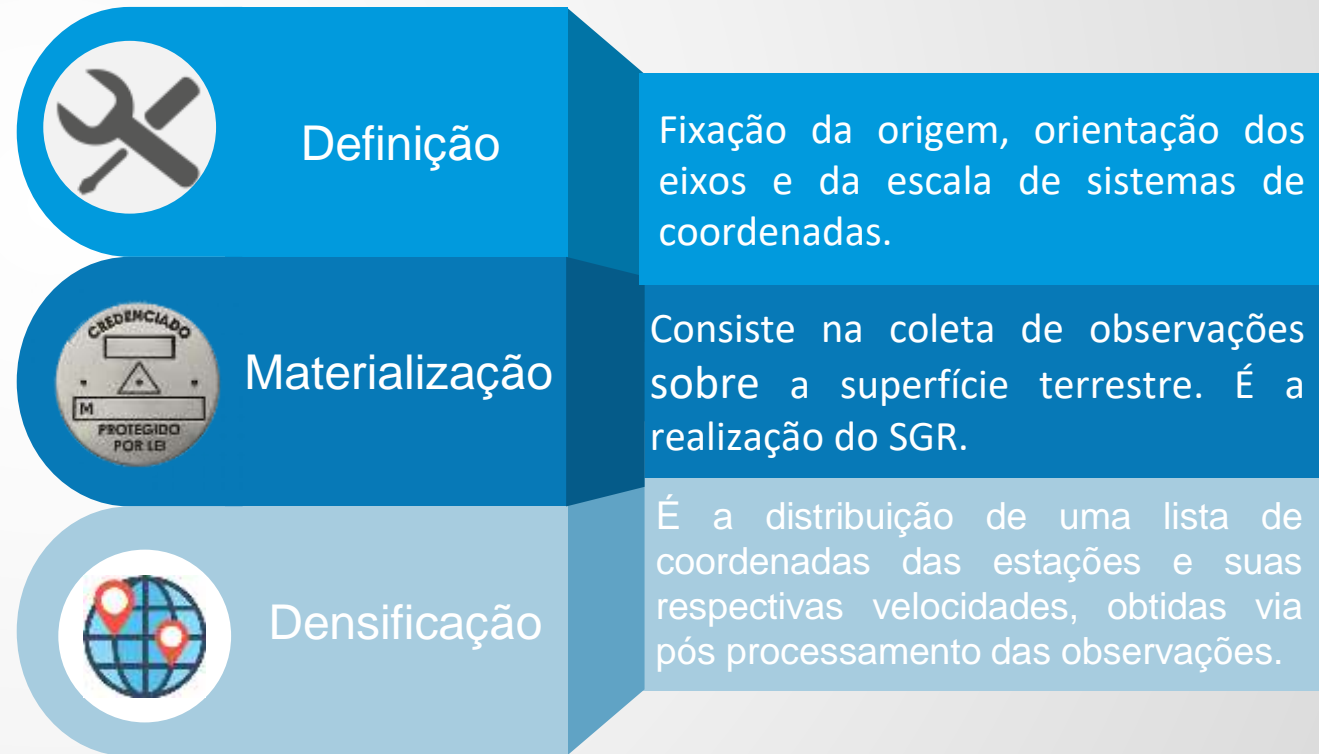
# 1

## Introdução

### Nova conceituação de sistema geodésico de referência:

- Atualmente os sistemas geodésicos de referência são constituídos por redes de referência.
- São pontos denominados por marcos geodésicos materializados no terreno cujas coordenadas são determinadas através de técnicas espaciais.
- As redes podem ser:
  - Globais (IGS);
  - Continentais (SIRGAS);
  - Nacionais (RBMC);
  - Regionais (Rede GPS do estado de São Paulo).

### Etapas para o estabelecimento de um sistema de referência (BLITZKOW e MATOS, 2011) :



## SIRGAS

O SIRGAS é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas e como um sistema de referência, tem sua definição igual ao ITRS (*International Terrestrial Reference System*), ou seja, é um sistema geocêntrico, e sua realização é uma densificação regional do ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) para a América Latina, Central e Caribe (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008).

Assim como o ITRF, as realizações do SIRGAS fornecem em suas soluções, coordenadas e respectivas velocidades das estações (SIRGAS, 2019).

Além disso, o SIRGAS desenvolve seu modelo de velocidade válido para região sul americana e útil para atualizar/reduzir a época das coordenadas para uma determinada época de interesse (SIRGAS, 2019).

---

## **SIR17P01 – Solução multianual**

A solução multianual SIR17P01 é uma realização da rede SIRGAS que inclui posições e velocidades de 345 estações referentes ao IGS14, época 2015,0 e cobre o período de 17 de abril de 2011 (semana GPS 1632) a 28 de janeiro de 2017 (semana GPS 1933) (SIRGAS, 2019).

---

---

## **RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**

A RBMC é a principal rede de referência ativa no Brasil. Ela é mantida pelo IBGE e é a primeira rede permanente da América Latina (COSTA et al., 2018).

No presente momento o Brasil colabora com 150 estações da RBMC, sendo que o IBGE disponibiliza gratuitamente suas informações tais como: suas coordenadas de referência e observações GNSS.

As coordenadas das estações da RBMC estão na realização SIRGAS2000 (época 2000,4) do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

Na atualidade, o IBGE adota o Modelo de Velocidades para a América do Sul e Caribe (VEMOS2009) nas soluções da rede (DREWES e HEIDBACH, 2012).

---

## 2

## Objetivo

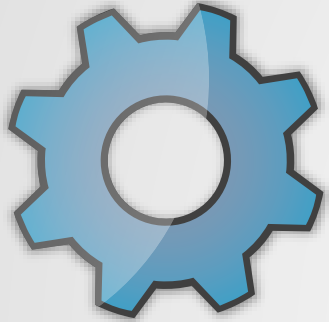
O objetivo deste estudo foi aplicar os conceitos ligados às etapas do processo de transformação de referenciais e atualização/redução da época das coordenadas da solução SIR17P01 e comparar com as coordenadas oficiais das estações da RBMC.

Nesta análise, 84 estações GNSS distribuídas no Brasil comuns à solução SIR17P01 e à RBMC foram selecionadas para o estudo.



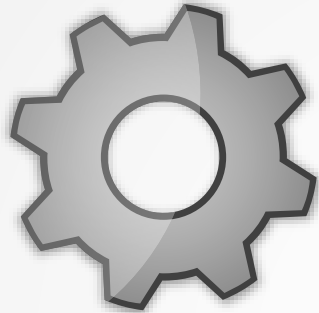


Etapas de transformação das coordenadas de referência:



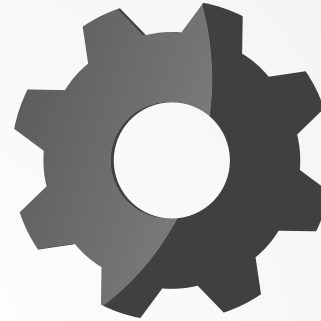
### Etapa 1:

Atualização dos parâmetros da época inicial  $t_0$  para a época  $t$ .



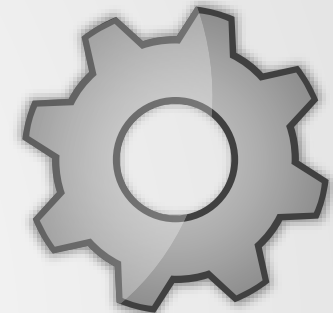
### Etapa 2:

Transformação de Helmert (ou similaridade).



### Etapa 3:

Mudança de referencial das velocidades.



### Etapa 4:

Atualização/redução das coordenadas das estações da época ( $t_0$ ) para a época de interesse ( $t$ ).

A primeira etapa consiste na atualização dos parâmetros de transformação de uma época inicial  $P_{(t_0)}$  para uma época final  $P_{(t)}$  Equação (1) (ITRF,2014) e (MONICO, 2008):

$$P(t) = P_{t_0} + \dot{P}_{(t-t_0)} \rightarrow \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ S \\ e_X \\ e_Y \\ e_Z \end{pmatrix}_t = \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ S \\ \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{pmatrix}_{t_0} + \begin{pmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \\ \dot{S} \\ \dot{e}_X \\ \dot{e}_Y \\ \dot{e}_Z \end{pmatrix} (t - t_0) \quad (1)$$

Onde:

$\dot{P}$ : é a taxa de variação dos parâmetros;

$\vec{T}$ : é o vetor das translações em X, Y e Z entre os dois referenciais, dadas em metros;

S: é o fator de escala entre os dois referenciais, adimensional, dado em PPM;

$\varepsilon$ : é a matriz das rotações diferenciais em torno dos eixos X, Y e Z, dadas em radianos;

$\dot{T}$ ,  $\dot{S}$ ,  $\dot{e}$ : são as taxas de variações em translação, fator de escala e rotação no ITRF com relação ao tempo.

O modelo matemático utilizado para transformar as coordenadas no sistema referencial de origem (0) para o sistema de referência destino (d), estando estes dois sistemas na mesma época, pode ser dado por meio da Equação (2) (ALTAMIMI et al. 2012):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_d = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_0 + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S & -\varepsilon_Z & \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z & S & -\varepsilon_X \\ -\varepsilon_Y & -\varepsilon_X & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_0 \quad (2)$$

Em que:

$X_d, Y_d, Z_d$ : São as coordenadas transformadas de uma referencial origem para o de destino, em metros;

$X_o, Y_o, Z_o$ : São as coordenadas de um ponto P no referencial do sistema de origem expresso em metros;

$T_X, T_Y, T_Z$ : São os parâmetros do vetor translação, no instante  $t_o$ , em torno dos eixos de origem expresso em metros;

$\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$ : São os parâmetros da matriz de rotação diferencial em torno dos eixos de X, Y, Z, expresso em radianos;

D: É o fator de escala, adimensional.

O modelo de velocidade VEMOS2009 está vinculado ao ITRF2005 (DREWES e HEIDBACH, 2012), e as velocidades retiradas da solução SIR17P01 em ITRF2014. Desta forma pode ser necessário realizar a mudança de referencial das velocidades para ITRF2000, através do emprego da Equação 3 (ALTAMIMI et al. 2012):

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_d = \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{t_0} + \begin{bmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{S} & -\dot{\epsilon}_Z & \dot{\epsilon}_y \\ \dot{\epsilon}_Z & \dot{S} & -\dot{\epsilon}_x \\ -\dot{\epsilon}_y & -\dot{\epsilon}_x & \dot{S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_0} \quad (3)$$

A última etapa é a redução das coordenadas da época  $t_0$  para a época de destino  $t$  e pode ser realizada a seguir por meio das seguintes equações (SIRGAS, 2019):

$$X_{(t)} = X_{(t_0)} + V_{X(t-t_0)} \quad (4)$$

$$Y_{(t)} = Y_{(t_0)} + V_{Y(t-t_0)} \quad (5)$$

$$Z_{(t)} = Z_{(t_0)} + V_{Z(t-t_0)} \quad (6)$$

Em que:

$t$ : é a época de destino;

$t_0$ : é a época de origem;

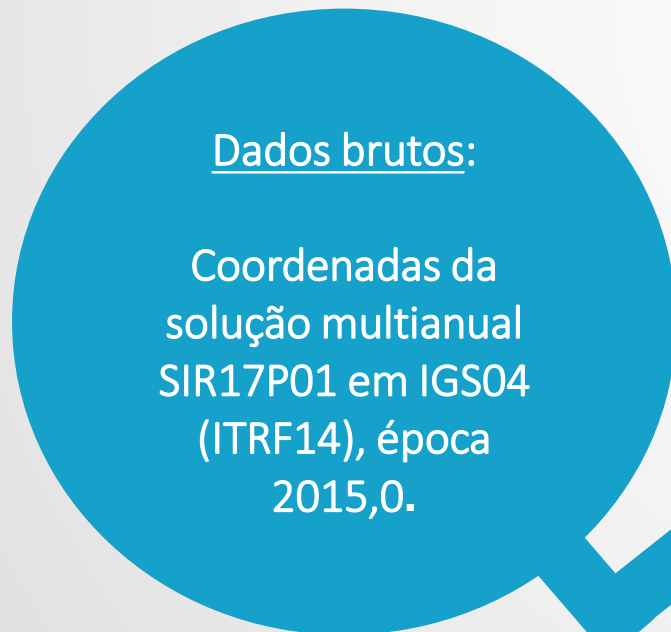
$X_{(t_0)}, Y_{(t_0)}, Z_{(t_0)}$ : são as coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto P na época de origem;

$X_{(t)}, Y_{(t)}, Z_{(t)}$ : são as coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto P na época de destino;

$V_X, V_Y$  e  $V_Z$ : é o vetor velocidade do ponto P na época de origem.

## Experimentos realizados

Para alcançar os objetivos do trabalho, foi realizada uma análise comparativa entre as coordenadas das estações GNSS da solução SIR17P01 e a RBMC.



Experimento 1

Experimento 2

Experimento 3

Experimento 4

Dados finais:

Coordenadas da solução SIR17P01 em SIRGAS2000, época 2000,4.

## Experimento 1

Mudança do referencial ITRF2014 para ITRF2000 ora utilizando-se dos parâmetros fornecidos pelo IBGE, ora do ITRF e redução da época 2015,0 para 2000,4 através do VEMOS2009 (velocidades em ITRF2005).

## Experimento 2

Mudança do referencial ITRF2014 para ITRF2000 ora utilizando-se dos parâmetros fornecidos pelo IBGE, ora do ITRF e redução da época 2015,0 para 2000,4 com as velocidades da solução multianual SIR17P01 (velocidades em ITRF2014).

## Experimento 3

Mudança do referencial ITRF2014 para ITRF2000 utilizando-se dos parâmetros fornecidos pelo ITRF e redução da época 2015,0 para 2000,4 através do VEMOS2009 (velocidades em ITRF2000).

## Experimento 4

Mudança do referencial ITRF2014 para ITRF2000 ora utilizando-se dos parâmetros fornecidos pelo ITRF e redução da época 2015,0 para 2000,4 com as velocidades da solução multianual SIR17P01 (velocidades em ITRF2000).

Foram empregadas coordenadas no SGL para as comparações:

	EXPERIMENTO 1:		
	PARÂMETROS DO IBGE, VEMOS2009(ITRF2005)		
	SIR17P01 - SIRGAS2000 (Época 2000,4)		
	e	n	u
MÍNIMO:	-0,028 m	-0,022 m	-0,047 m
MÁXIMO:	0,023 m	0,016 m	0,024 m
<b>MÉDIA:</b>	<b>-0,005 m</b>	<b>-0,001 m</b>	<b>-0,015 m</b>

	EXPERIMENTO 1:		
	PARÂMETROS DO ITRF, VEMOS2009(ITRF2005)		
	SIR17P01 - SIRGAS 2000 (Época 2000,4)		
	e	n	u
MÍNIMO:	-0,028 m	-0,014 m	-0,039 m
MÁXIMO:	0,022 m	0,023 m	0,031 m
<b>MÉDIA:</b>	<b>-0,006 m</b>	<b>0,006 m</b>	<b>-0,008 m</b>

	EXPERIMENTO 2:		
	PARÂMETROS DO IBGE, VELOCIDADES DA SOLUÇÃO SIR17P01 (ITRF2014)		
	SIR17P01 - SIRGAS 2000 (Época 2000,4)		
	e	n	u
MÍNIMO:	-0,028 m	-0,046 m	-0,088 m
MÁXIMO:	0,027 m	0,016 m	0,067 m
<b>MÉDIA:</b>	<b>-0,001 m</b>	<b>-0,011 m</b>	<b>-0,013 m</b>

	EXPERIMENTO 2:		
	PARÂMETROS DO ITRF, VELOCIDADES DA SOLUÇÃO SIR17P01 (ITRF2014)		
	SIR17P01 - SIRGAS 2000 (Época 2000,4)		
	e	n	u
MÍNIMO:	-0,029 m	-0,040 m	-0,081 m
MÁXIMO:	0,026 m	0,024 m	0,074 m
<b>MÉDIA:</b>	<b>-0,002 m</b>	<b>-0,004 m</b>	<b>-0,007 m</b>



## EXPERIMENTO 3:

PARÂMETROS DO ITRF VEMOS2009  
(ITRF2000)

SIR17P01 - SIRGAS 2000 (Época 2000,4)

	e	n	u
MÍNIMO:	-0,022 m	0,010 m	-0,048 m
MÁXIMO:	0,028 m	0,048 m	0,030 m
<b>MÉDIA:</b>	<b>-0,002 m</b>	<b>0,032 m</b>	<b>-0,014 m</b>

## EXPERIMENTO 4:

PARÂMETROS DO ITRF, VELOCIDADES DA  
SOLUÇÃO SIR17P01 (ITRF2000)

SIR17P01 - SIRGAS 2000 (Época 2000,4)

	e	n	u
MÍNIMO:	-0,031 m	-0,009 m	-0,094 m
MÁXIMO:	0,024 m	0,053 m	0,054 m
<b>MÉDIA:</b>	<b>-0,003 m</b>	<b>0,026 m</b>	<b>-0,024 m</b>

A partir das análises realizadas, verifica-se que os referenciais estão consistentes na ordem do centímetro.

É possível observar que o efeito da mudança de referencial das velocidades deteriora a qualidade dos resultados.

Em resumo, os resultados mostram a importância do processo de compatibilização de referenciais e épocas, em aplicações geodésicas de alta precisão.

## Referências bibliográficas

ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L. Analysis and results of ITRF2008. (IERS Technical Note; 37) Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 54 pp., ISBN 978-3-86482-046-5 (print version), 2012.

BLITZKOW, DENIZAR; DE MATOS, ANA CRISTINA CANCORRO. A EVOLUÇÃO DOS REFERENCIAIS USADOS EM GEODÉSIA: A ERA MODERNA. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 8, n. 1, 2002.

BLITZKOW, DENIZAR; SIMÕES DA FONSECA JR, EDVALDO; ALMEIDA FILHO, GUILHERME, FLAVIO. Notas de aula LTG: Sistemas de Referência. 25 feb. 2019, 25 may. 2019. Notas de Aula.

COSTA, S. M. A.; MANTOVANI, G.; SCOFANO, F.; LIMA, M. A. A.; SILVA, A. L.; MOURA JÚNIOR, N. J. Ampliação e modernização da RBMC. VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, pp 440-450. 2018.

DREWES, H.; O. HEIDBACH. The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean. Geodesy for Planet Earth, IAG Symposia, 136: 657-664. 2012.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more. New York: Springer-Verlag, 516p, 2008.

ITRF (2018b). International Terrestrial Reference Frame. Transformation parameters from ITRF2008 to past ITRFs. Disponível em: <[http://itrf.ensg.ign.fr/doc\\_ITRF/Transfo-ITRF2008\\_ITRFs.txt](http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt)>. Acesso em agosto de 2018.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: Editora UNESP, 476 p, 2008.

SIRGAS (2019). Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. VEMOS: Modelo de velocidade para o SIRGAS. Disponível em: <<http://www.sirgas.org/pt/velocity-model/>>. Acesso em junho de 2019.



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Esta pesquisa teve o incentivo da Universidade de São Paulo através do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes que disponibilizaram suas instalações e aplicativos computacionais.