



GEODESIA GLOBAL DAS NAÇÕES UNIDAS CENTRO DE EXCELÊNCIA

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFERENCIA
GEOESPACIAL
OFICINA DE DESENVOLVIMENTO DE CAPACIDADES

EXEMPLO: Criando parâmetros de transformação

Nicholas Brown
Chefe do Gabinete, UN-GGCE

COMO

Dia 3, Sessão 1 [3_1_2]

Agradecimentos: John Dawson (AUS); Guorong Hu (AUS).

O repositório de dados das Ilhas Fiji é o WGS72.

A Comissão de Geociências Aplicadas das Ilhas do Pacífico (SOPAC) solicitou à Geoscience Australia que calculasse as coordenadas do Sistema de Referência Terrestre Internacional (ITRF) para 18 locais de levantamento nas ilhas do arquipélago norte de Fiji a partir de medições geodésicas contínuas do Sistema de Posicionamento Global (GPS) observadas de 8 de julho a 5 de agosto de 2008, inclusive.

Estas coordenadas fornecem o sistema de referência de coordenadas a ser utilizado para definir a reivindicação das Ilhas Fiji relativamente à plataforma continental alargada, nos termos do disposto no artigo 76.º da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar.



Cálculo dos parâmetros de transformação

Dados estáticos



ITRF2005@2008



Transformação de 7
parâmetros

Dados estáticos



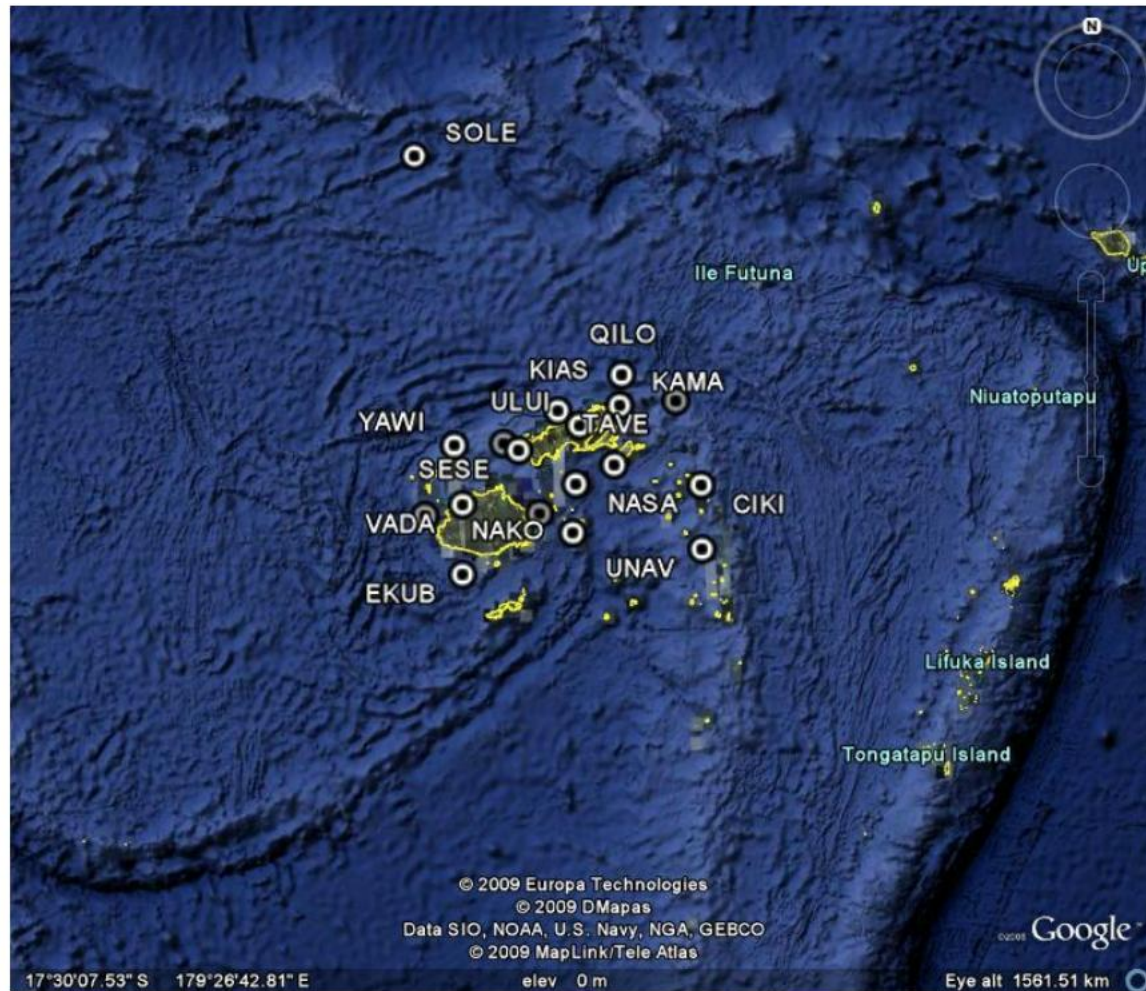
WGS72



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Cálculo dos parâmetros de transformação

1. Observe o GNSS nas marcas nas quais as coordenadas WGS72 estão disponíveis.



- 18 estações
- Observações de frequência dupla
- 28 dias consecutivos



Figure 1: The distribution of the stations of the 2008 Northern Fiji Islands GPS campaign.

Dawson e Hu (AUS)

**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Cálculo dos parâmetros de transformação

2. Processar dados GNSS para calcular coordenadas ITRF2005@2008

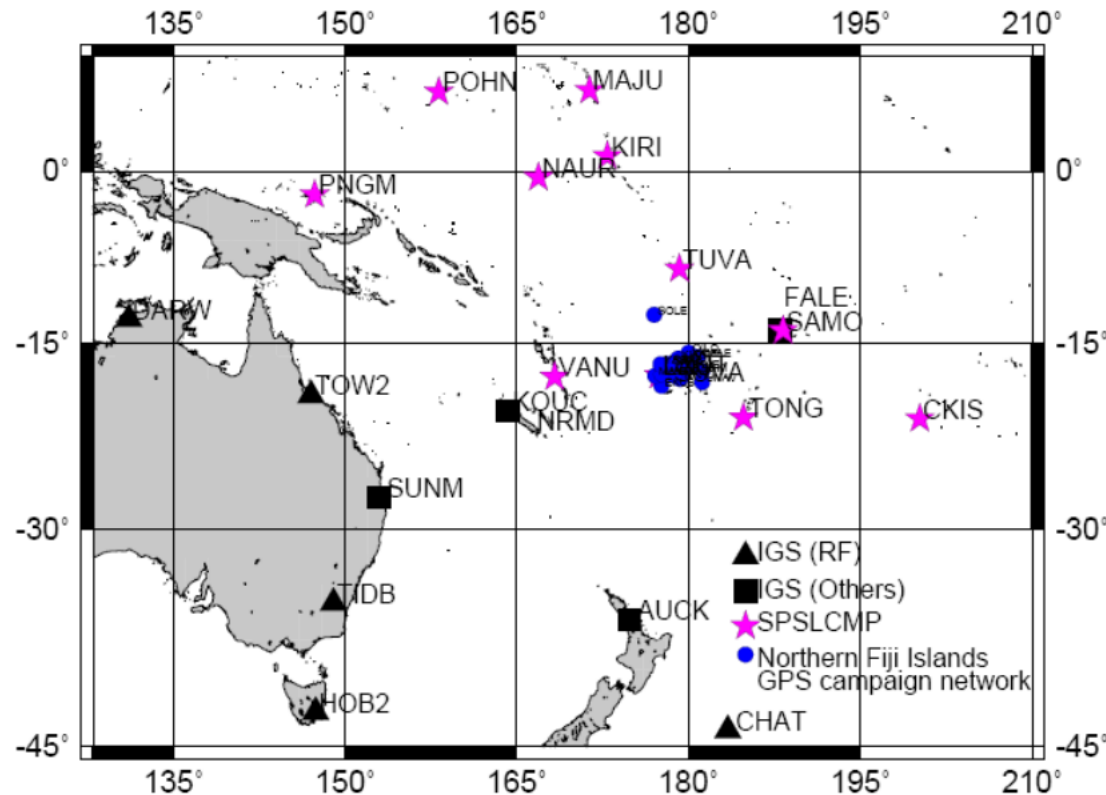


Figure 2: The SPSLCMP/IGS stations included in the GPS data processing.

- Incluídas 5 estações IGS da área circundante no processamento (para alinhar/restringir ao ITRF)
- Também foram incluídos locais de referência regionais das Ilhas do Pacífico para “ajudar na resolução de ambiguidades e reduzir os comprimentos de linha de base entre as estações IGS acima mencionadas e as estações da campanha de Fiji”.

Dawson e Hu (AUS)



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Cálculo dos parâmetros de transformação

WGS72

SITE	X (m)	Y (m)	Z (m)
CIKI	-6090790.884	-128354.367	-1882866.878
EKUB	-6045005.524	248397.533	-2012568.398
KADV	-6025612.829	211678.930	-2075994.466
KAMA	-6128128.427	-876.912	-1763105.787
KIAS	-6125126.204	96614.615	-1770429.211
MATU	-6026782.025	26320.369	-2081724.597
NAKO	-6069393.337	74317.387	-1952868.080
ODRI	-6023321.140	-167612.926	-2084345.816
ONOI	-5969814.367	-131365.080	-2234500.378
SAIL	-6108964.587	182329.478	-1818369.130
SESE	-6106871.289	158749.826	-1828962.411
SOLE	-6219742.471	324299.487	-1371185.634
TAVE	-6101703.123	8543.670	-1852334.121
UNAV	-6060199.677	-129057.382	-1978129.289
VADA	-6078939.965	247719.845	-1908646.928
VATO	-5999583.742	-183087.633	-2149906.544

ITRF2005@2008

SITE	X (m)	Y (m)	Z (m)
CEVA	-5901432.3013	554458.5449	-2347334.7909
CIKI	-6090792.0436	-128369.4471	-1882863.3918
EKUB	-6045006.4702	248381.1969	-2012567.0641
KADV	-6025613.9456	211663.5349	-2075992.0838
KAMA	-6128129.1449	-891.7874	-1763104.8897
KIAS	-6125127.8089	96598.2963	-1770426.0192
LAUT	-6075194.5732	270923.9137	-1917189.4371
MAJU	-6257572.3044	950332.6831	785215.2375
MANF	-6071340.2395	307355.4745	-1923860.4408
MATU	-6026782.9119	26305.2446	-2081722.4555
NAKO	-6069393.3645	74300.7507	-1952865.8078
NASA	-6092446.1776	69059.2460	-1880371.3209
NAUR	-6212555.1027	1442786.8956	-61006.6725
ODRI	-6023324.3914	-167626.9300	-2084343.2937
ONOI	-5969817.8125	-131380.5993	-2234496.5488
OVAL	-6078392.5714	126360.6143	-1923939.7659
QELE	-6129224.7546	-89303.1288	-1756463.9017
QILO	-6141289.6922	-4172.9920	-1717003.0966
SAIL	-6106871.9025	158732.3759	-1828960.5555
SESE	-6108966.7088	182311.7462	-1818366.9382
SOLE	-6219743.2094	324285.6012	-1371182.6871
SUVA	-6060677.2218	166617.2074	-1973761.3461
TAVE	-6101703.0397	8527.7474	-1852331.7513
TUCO	-5955264.9601	-129584.0062	-2272571.3656
TURA	-5954650.3967	-119772.0561	-2274702.3597
ULUI	-6119100.7845	62728.2252	-1792699.4820
UNAV	-6060202.2155	-129071.4774	-1978127.1784
VADA	-6078942.2205	247703.3363	-1908644.9425
VATO	-5999585.5068	-183103.6074	-2149904.6272
YAWI	-6105774.5980	260113.9199	-1819818.9082



Cálculo dos parâmetros de transformação

$$\begin{bmatrix} X_{ITRF05} \\ Y_{ITRF05} \\ Z_{ITRF05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + (1 + S) \times \begin{bmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{WGS72} \\ Y_{WGS72} \\ Z_{WGS72} \end{bmatrix}$$

$(X_{ITRF05}, Y_{ITRF05}, Z_{ITRF05})$

are the transformed Cartesian coordinates (m) consistent with the ITRF05@2008.0 coordinates listed in this report.

$(X_{WGS72}, Y_{WGS72}, Z_{WGS72})$

are the Cartesian Fiji WGS72 geodetic datum coordinates (m).

(T_X, T_Y, T_Z)

are the coordinate origin translation parameters (m).

(R_X, R_Y, R_Z)

are the coordinate axis rotations (radians).

S

is the scale change between both coordinate systems.



Cálculo dos parâmetros de transformação

- É necessário ter pelo menos 3 pontos em comum; mas quanto mais pontos tiverem, melhor.
- Os parâmetros de transformação são calculados utilizando um processo de ajuste por mínimos quadrados.
- **Parâmetros de tradução (T_x, T_y, T_z):**
 - Calcule a diferença média entre as coordenadas correspondentes do Repositório de Dados 1 e do Repositório de Dados 2 para obter os valores iniciais de tradução.
- **Fator de dimensionamento (s):**
 - Estime a mudança de escala como a razão entre as distâncias entre os pontos no Repositório de Dados 2 e no Repositório de Dados 1.
- **Parâmetros de rotação (R_x, R_y, R_z):**
 - Calcule os ângulos de rotação que melhor alinham o Repositório de dados 1 com o Repositório de dados 2. Isso envolve resolver a matriz de rotação usando uma forma linearizada das equações de transformação.



Cálculo dos parâmetros de transformação

Resolva o sistema linearizado

- Estabeleça um sistema de equações:
- $\Delta = A \cdot P$
 - Δ : As diferenças entre as coordenadas observadas e transformadas.
 - A : A matriz de projeto (baseada nas derivadas parciais das equações de transformação).
 - P : Os parâmetros desconhecidos ($T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z, s$).

Refinar iterativamente os parâmetros

- Resolva para P usando operações matriciais (por exemplo, $P = (A^T A)^{-1} A^T \Delta$)
- Aplique os parâmetros estimados aos dados de entrada.
- Refinar as estimativas até que os resíduos sejam minimizados.

Verifique a transformação

- Use os parâmetros calculados para transformar as coordenadas originais.
- Compare as coordenadas transformadas com o datum de referência para garantir a precisão.

- Isso pode ser feito no software de combinação GNSS (por exemplo, CATREF), software proprietário... ou com a ajuda da IA.



Cálculo dos parâmetros de transformação

WGS72			ITRF2005@2008		
X	Y	Z	X	Y	Z
-6090790.9	-128354.37	-1882866.9	-6090792	-128369.45	-1882863.4
-6045005.5	248397.533	-2012568.4	-6045006.5	248381.197	-2012567.1
-6025612.8	211678.93	-2075994.5	-6025613.9	211663.535	-2075992.1
-6128128.4	-876.912	-1763105.8	-6128129.1	-891.7874	-1763104.9
-6125126.2	96614.615	-1770429.2	-6125127.8	96598.2963	-1770426
-6026782	26320.369	-2081724.6	-6026782.9	26305.2446	-2081722.5
-6069393.3	74317.387	-1952868.1	-6069393.4	74300.7507	-1952865.8
-6023321.1	-167612.93	-2084345.8	-6023324.4	-167626.93	-2084343.3
-5969814.4	-131365.08	-2234500.4	-5969817.8	-131380.6	-2234496.5
-6108964.6	182329.478	-1818369.1	-6108966.7	182311.746	-1818366.9
-6106871.3	158749.826	-1828962.4	-6106871.9	158732.376	-1828960.6
-6219742.5	324299.487	-1371185.6	-6219743.2	324285.601	-1371182.7
-6101703.1	8543.67	-1852334.1	-6101703	8527.7474	-1852331.8
-6060199.7	-129057.38	-1978129.3	-6060202.2	-129071.48	-1978127.2
-6078940	247719.845	-1908646.9	-6078942.2	247703.336	-1908644.9
-5999583.7	-183087.63	-2149906.5	-5999585.5	-183103.61	-2149904.6



Cálculo dos parâmetros de transformação

Resultados IA

Traduções (metros):

$$T_x = -6,9344$$

$$T_y = -21,2037$$

$$T_z = -10,4443$$

Fator de dimensionamento(sem unidade):

$$S = -1.42 \text{ ppm}$$

Rotações (segundos de arco):

$$R_x = -0.1225$$

$$R_y = 0.3425$$

$$R_z = -0.2289$$

Resíduos RMSE do ChatGPT

$$X: 0,887 \text{ m}$$

$$Y: 1,038 \text{ m}$$

$$Z: 0,745 \text{ m}$$

Resultados de Dawson

e Hu

Traduções (metros):

$$T_x = -7,0295$$

$$T_y = -22,1185$$

$$T_z = -10,1505$$

Fator de dimensionamento(sem unidade):

$$s = -1,4227 \text{ ppm}$$

Rotações (segundos de arco):

$$R_x = -0.1139$$

$$R_y = +0.3325$$

$$R_z = -0.2573$$

Resíduos RMSE de Dawson e Hu

$$X: 0,983 \text{ m}$$

$$Y: 0,863 \text{ m}$$

$$Z: 0,808 \text{ m}$$



Código Python

importar numpy como np

```
def calcular_parâmetros_de_transformação(Repositório de Dados1, Repositório de Dados2):
```

```
    """  
    Calcule os parâmetros de transformação de 7 parâmetros usando mínimos quadrados.
```

```
    Parâmetros
```

```
    - Repositório de Dados1: matriz numpy de forma (n, 3), coordenadas no primeiro repositório de Dados  
    - Repositório de Dados2: matriz numpy de forma (n, 3), coordenadas no segundo repositório de Dados
```

```
    Retornos:
```

```
    - parâmetros: dicionário contendo fatores de tradução, rotação e escala  
    """
```

```
    # Certifique-se de que os dados estejam no formato de matriz numpy  
    Repositório de Dados1 = np.array(Repositório de Dados1)  
    Repositório de Dados2 = matriz numérica np.array(Repositório de Dados2)
```

```
    # Calcular centróides  
    centroide1 = np.mean(Repositório de Dados1, eixo=0)  
    centroide2 = np.mean(Repositório de Dados2, eixo=0)
```

```
    # Centralizar as coordenadas  
    centrado1 = repositório de dados1 - centroide1  
    centrado2 = repositório de dados2 - centroide2
```

```
    # Fator de dimensionamento (s)  
    escala = np.sqrt(np.sum(centrado2**2) / np.sum(centrado1**2))
```

```
    # Calcule a matriz de rotação usando a decomposição em valores singulares (SVD)  
    H = np.dot(centrado2.T, centrado1)  
    U, _, Vt = np.linalg.svd(H)  
    matriz_rotação = np.dot(U, Vt)
```

```
    # Vetor de tradução (Tx, Ty, Tz)  
    tradução = centroide2 - escala * np.dot(matriz_de_rotação, centroide1)
```

```
    # Extrair ângulos de rotação (em radianos)  
    ângulos_de_rotação = {  
        'Rx': np.arctan2(matriz_rotação[2, 1], matriz_rotação[2, 2]),  
        'Ry': np.arctan2(-matriz_rotação[2, 0], np.sqrt(matriz_rotação[2, 1]**2 + matriz_rotação[2, 2]**2)),  
        'Rz': np.arctan2(matriz_rotação[1, 0], matriz_rotação[0, 0])  
    }
```

```
    # Parâmetros de retorno  
    retorno {  
        'Tradução': tradução,  
        'Rotação (radianos)': ângulos_de_rotação,  
        'Fator de escala': escala  
    }
```

```
    # Exemplo de uso:
```

```
    # Substitua `datum1_coords` e `datum2_coords` pelos seus dados reais  
    datum1_coords = [  
        [-6090790,884, -128354,367, -1882866,878],  
        [-6045005,524, 248397,533, -2012568,398],  
        # Adicione mais pontos conforme necessário  
    ]
```

```
    datum2_coords = [  
        [-6090792,0436, -128369,4471, -1882863,3918],  
        [-6045006,4702, 248381,1969, -2012567,0641],  
        # Adicione mais pontos conforme necessário  
    ]
```

```
    # Calcular os parâmetros de transformação
```

```
    parâmetros = calcular_parâmetros_de_transformação(coordenadas_repositórios de dados1, coordenadas_repositórios de dados2)
```

```
    # Exibir resultados
```

```
    imprimir("Parâmetros de tradução (Tx, Ty, Tz):", parâmetros['Tradução'])  
    imprimir("Ângulos de rotação (Rx, Ry, Rz) em radianos:", parâmetros['Rotação (radianos)'])  
    imprimir("Fator de escala:", parâmetros['Fator de escala'])
```

- Substitua os dados provisórios (repositórios de dados1_coords e repositórios de dados2_coords) pelas coordenadas reais dos dois repositórios de dados.
- A função calculará a translação, a rotação (em radianos) e o fator de escala.



MAIS
FORTES.
JUNTOS

Discussão

- O que você deve considerar antes de usar IA?
- Como você poderia validar o método?
- A quem você poderia pedir ajuda?
- Como lidar com dados geodésicos antigos (por exemplo, sem alturas elipsoidais)

