



COMO

GEODESIA GLOBAL DAS NAÇÕES UNIDAS CENTRO DE EXCELÊNCIA

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFERENCIA
GEOESPACIAL
OFICINA DE DESENVOLVIMENTO DE CAPACIDADES

Parâmetros de transformação, modelos de
movimento de placas e modelos de deformação

Nicholas Brown
Chefe do Gabinete, UN-GGCE

Dia 3, Sessão 1 [3_1_1]

Agradecimentos: Nic Donnelly (NZ); Jan Dostal (UN-GGCE); Anna Riddell (AUS); Chris Pearson (NZ); Alex Woods (AUS)

- Uma transformação de coordenadas refere-se a uma alteração das coordenadas de um ponto definido num quadro de referência para um sistema de referência diferente (por exemplo, de XYZ em ITRF1996 para XYZ em ITRF2020).
- Uma transformação geodésica comum é conhecida como transformação de 7 parâmetros, que inclui:
 - 3 x Vetor de tradução: A mudança da origem do sistema
 - 3 x Ângulos rotativos: O ângulo pelo qual um sistema é girado em relação a outro
 - 1 x Dimensionamento: Redimensionamento devido às diferentes escalas ao longo do eixo coordenado
- Para desenvolver uma transformação de 7 parâmetros entre dois sistemas de referência diferentes, é necessário conhecer as coordenadas cartesianas centradas na Terra (ou seja, XYZ) em ambos os sistemas em vários pontos.
- Quando uma transformação de 7 parâmetros é insuficiente para atingir a precisão necessária, pode ser necessário um modelo de deformação 1D, 2D ou 3D.



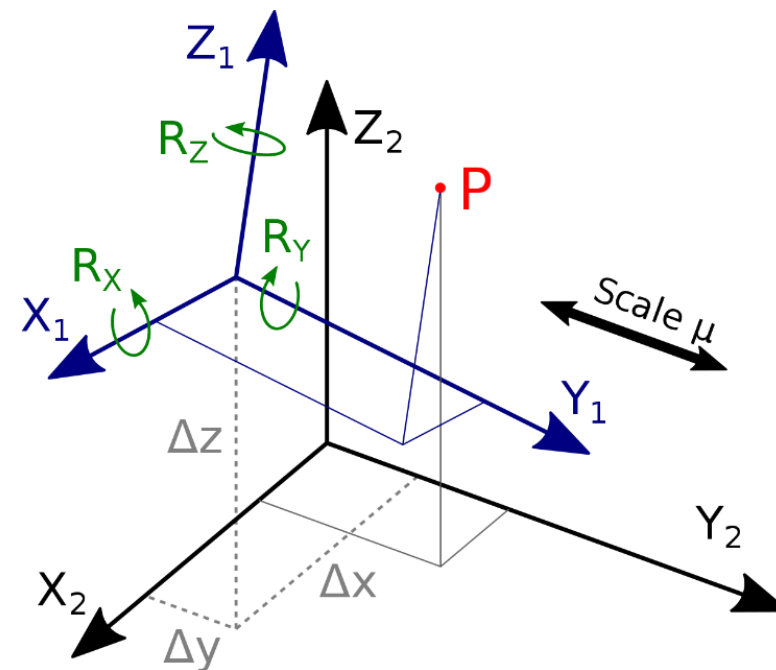
Diferentes sistemas de referência

Variedade de sistemas de referência

- Diferentes escalas: global, regional, nacional, local
- Finalidade diferente: técnica, científica, cadastral
- Deterioração ao longo do tempo devido à dinâmica da Terra
- Evolução tecnológica – maior precisão

Transformação de coordenadas

- A transformação (mudança) de coordenadas de um ponto definido num sistema de referência para um sistema de referência diferente (por exemplo, de XYZ em ITRF1996 para XYZ em ITRF2020).
- Os parâmetros comuns de transformação geodésica incluem:
 - Vetor de tradução: A mudança da origem do sistema
 - Ângulos de rotação: O ângulo pelo qual um sistema é girado em relação a outro
 - Dimensionamento: Redimensionamento devido às diferentes escalas ao longo do eixo coordenado



Transformação de coordenadas

Equação da transformação de Helmert

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \mu \cdot \begin{bmatrix} 1 & r_z & -r_y \\ -r_z & 1 & r_x \\ r_y & -r_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$

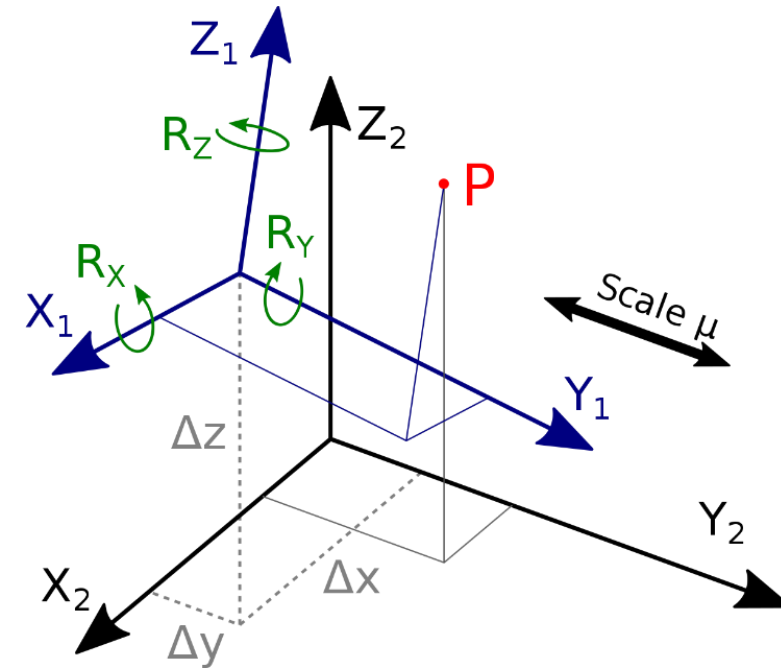
Tradução (3)Escala (1)Rotação (3)

Novo
Coordenadas

Original
Coordenadas

7 Parâmetros de transformação

- Tradução (3)
- Rotação (3)
- Escala (1)



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Transformação de coordenadas

Repositórios de dados estáticos



Novos Repositórios
de Dados Estáticos
Geocêntricos



Transformação de 7
parâmetros

Repositórios de dados estáticos



Antigo Repositório
de Dados Estático
Geodésico

Transformação

**Conexão entre
dois repositórios de dados diferentes**

**Caso de uso – melhoria na gestão de
alturas (o ITRF1992 e o ITRF2020
apresentam uma diferença de 9 cm na
altura elipsoidal)*



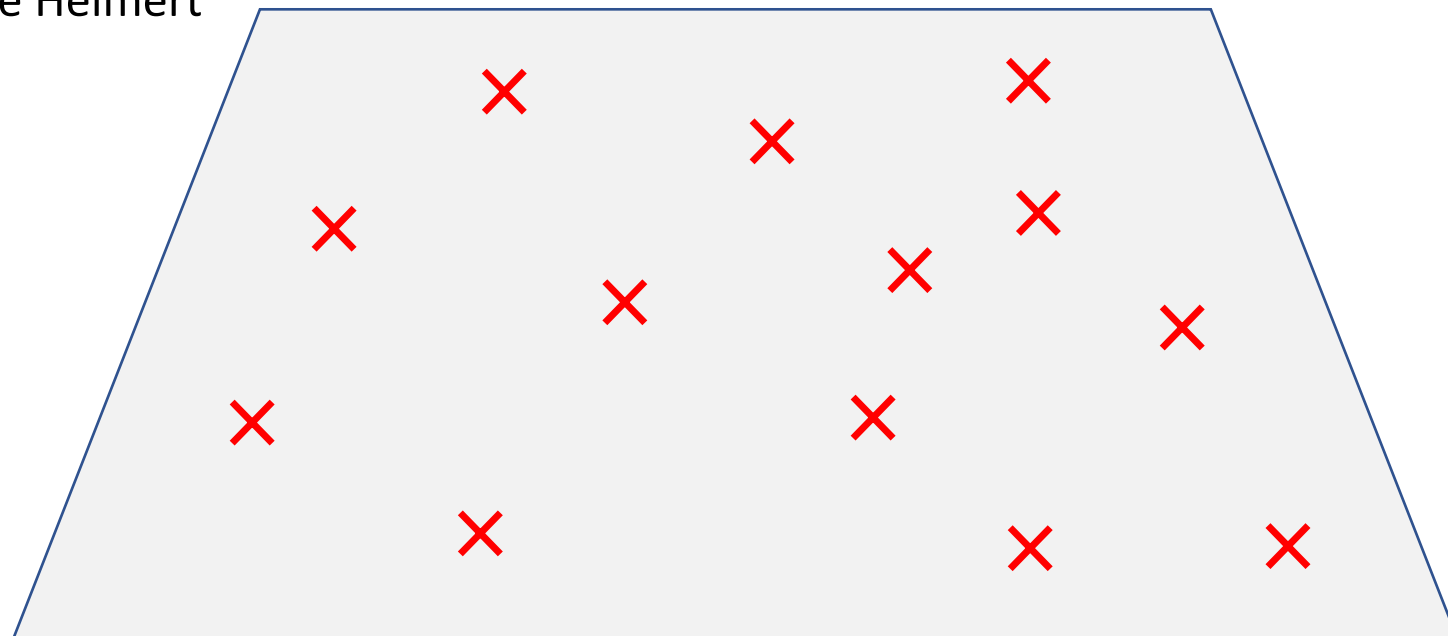
**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Parâmetros de transformação

- Estimativa dos parâmetros de transformação
- Pontos comuns nos repositórios de dados estáticos ANTIGOS e NOVOS (mínimo de três pontos)
- Inversão da equação da transformação de Helmert

Exemplo

✗ - Marcador no antigo repositório de dados estático



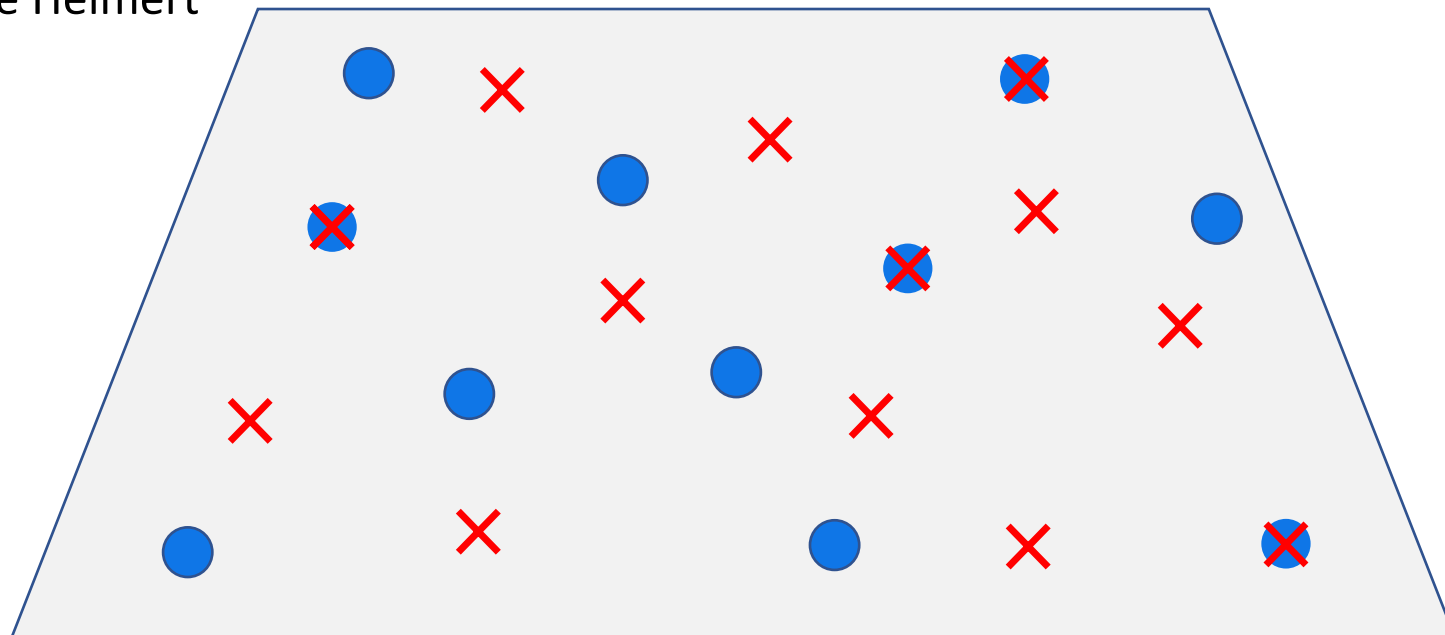
**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Parâmetros de transformação

- Estimativa dos parâmetros de transformação
- Pontos comuns nos repositórios de dados estáticos ANTIGOS e NOVOS (mínimo de três pontos)
- Inversão da equação da transformação de Helmert

Exemplo

- ✗ - Marcador no antigo repositório de dados estático
- - Marcador no novo repositório de dados estático



Transformação de coordenadas

Coordenadas originais

Latitude, Longitude, ell. Altura



Coordenadas Cartesianas (X, Y, Z)



Transformação usando parâmetros

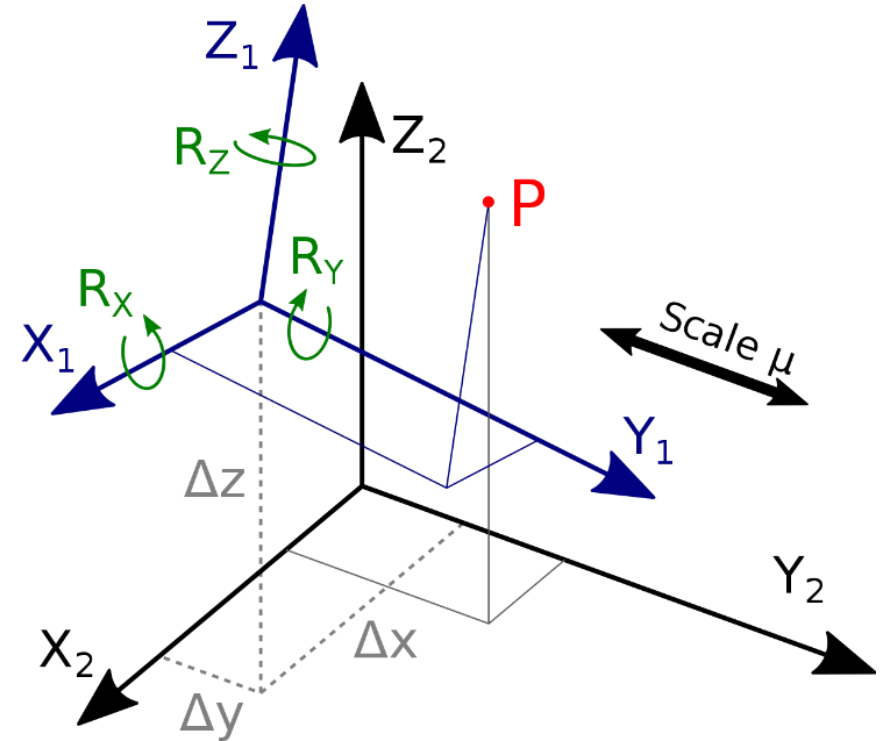


Novas coordenadas

Coordenadas Cartesianas (X, Y, Z)



Latitude, Longitude, ell. Altura



MAIS
FORTES.
JUNTOS

Transformação de coordenadas (com deformação)

Repositórios de dados estáticos



Novos Repositórios
de Dados Estáticos
Geocêntricos



Transformação de 7
parâmetros

+modelo de deformação

Repositórios de dados estáticos



Antigo Repositório
de Dados Estático
Geodésico

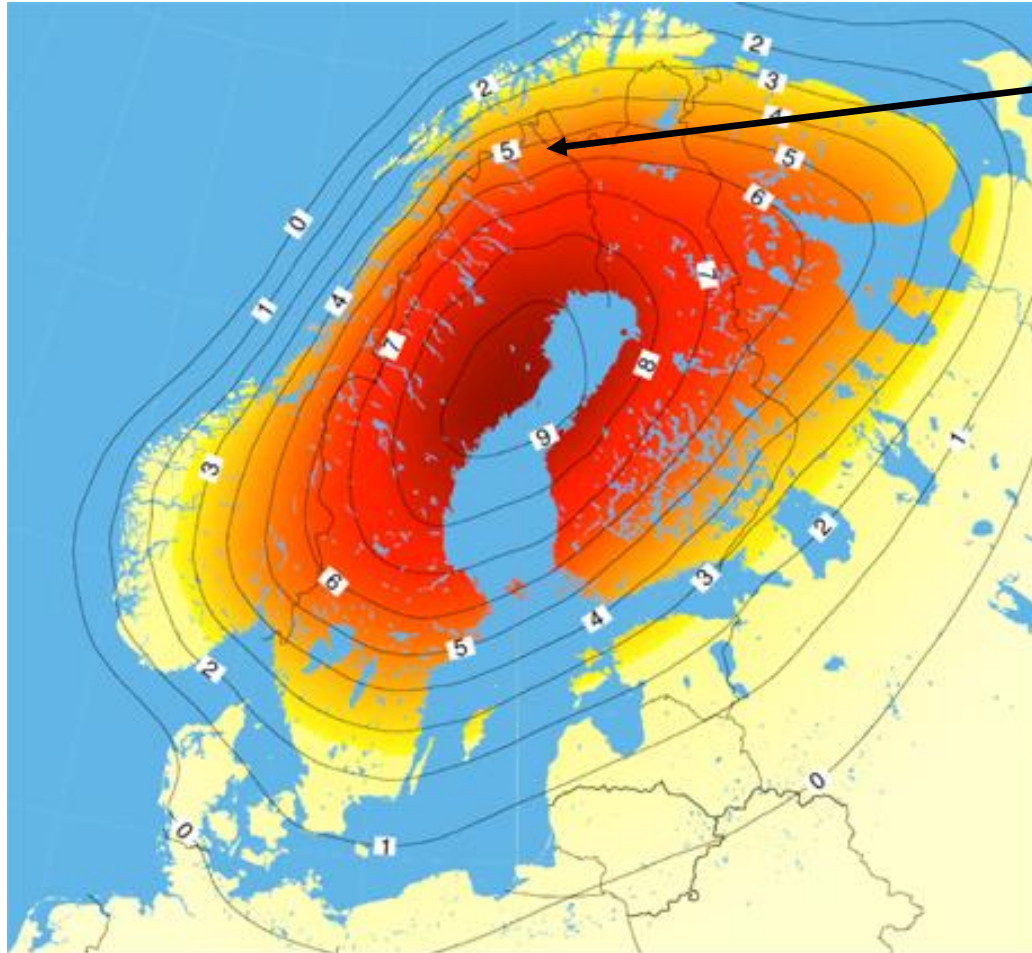
Transformação + Deformação

Conexão entre
dois repositórios de dados diferentes



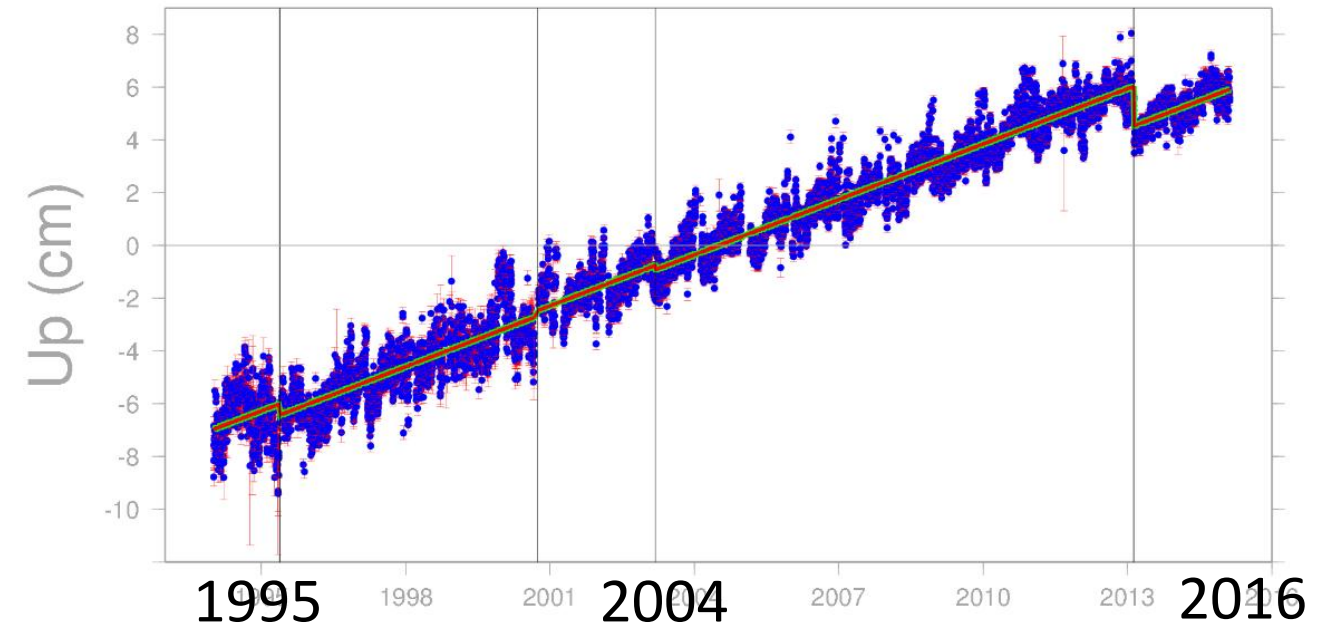
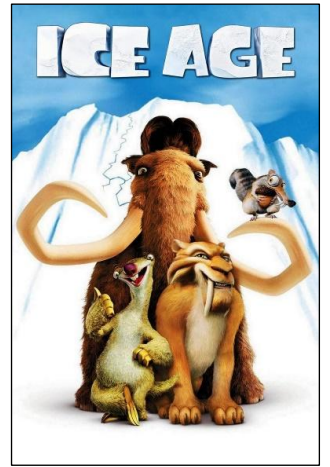
**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Deformação 1D (Elevação Terrestre Pós-glacial)



Estação GNSS Kiruna

Elevação do terreno 7 mm/ano

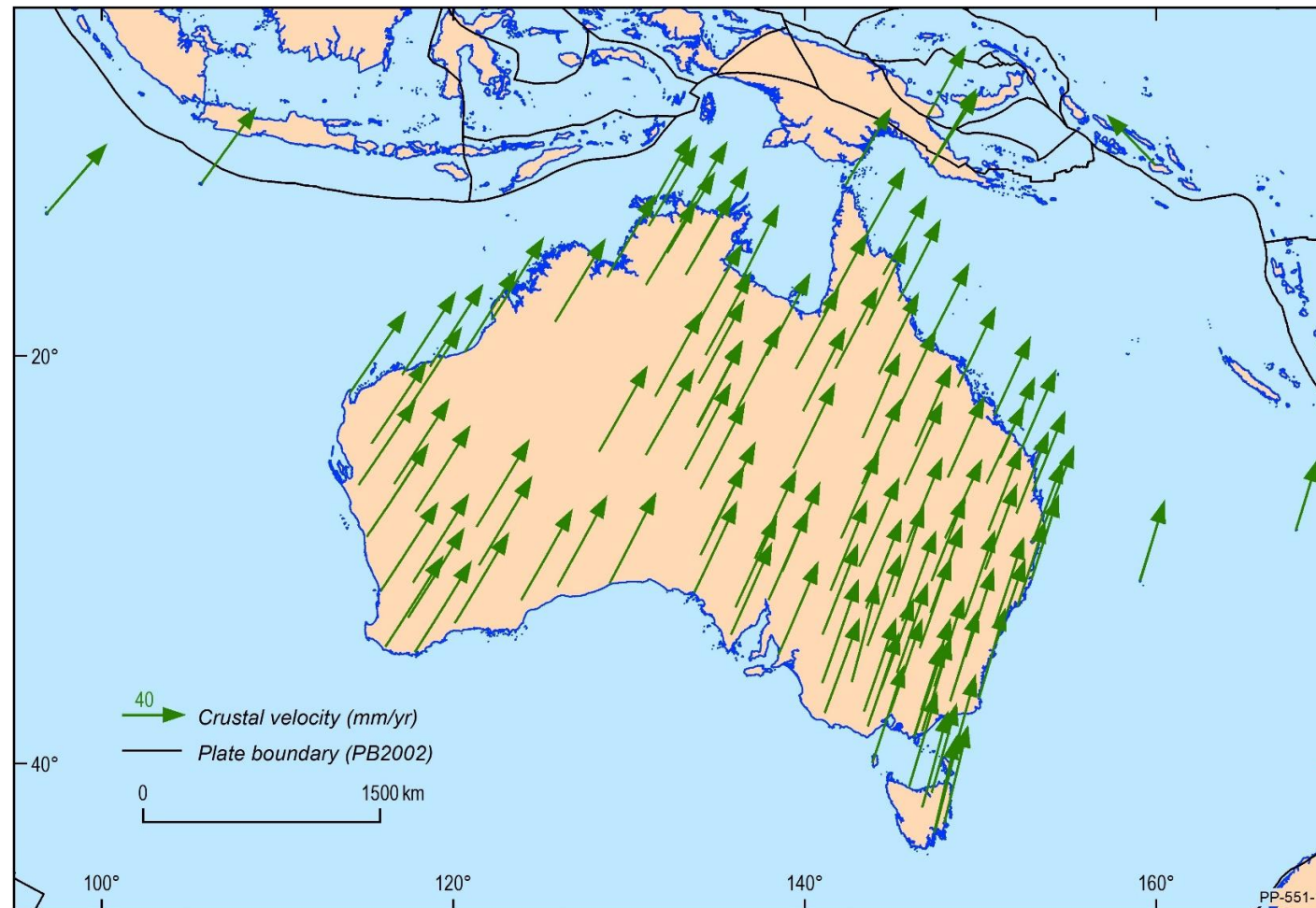


**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Deformação 2D

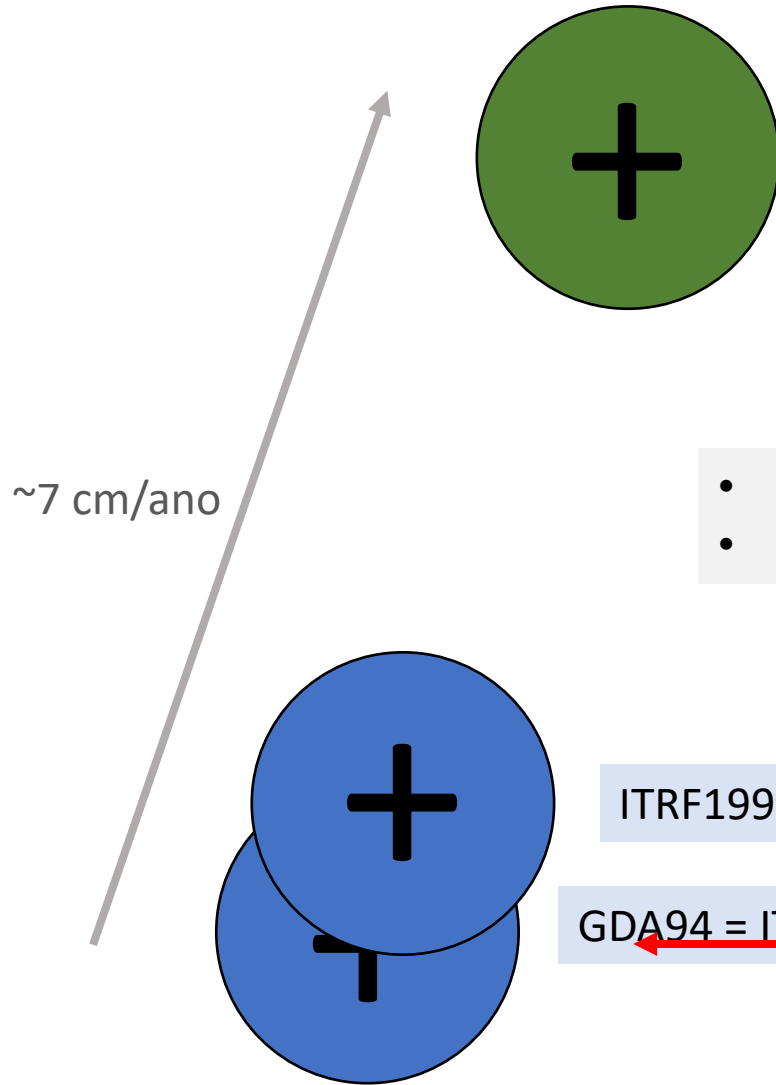
Movimento secular

- A Austrália é a placa continental que se move mais rapidamente (~7 cm/ano NNE)
- O GNSS fornece coordenadas no ITRF (posição atual da placa australiana).
- Os usuários observariam uma discrepância de aproximadamente 1,8 m entre as posições GNSS e os conjuntos de dados espaciais (se em GDA94).



Deformação 2D (Modelo de movimento de placas)

- O continente australiano está relativamente livre de deformações, com a deformação horizontal acumulada resultante de grandes terremotos sendo inferior a 0,2 mm/ano (Tregoning et al. 2013).
- O movimento do continente pode ser modelado por uma rotação no sentido horário em torno de um polo de Euler. A velocidade instantânea dessa rotação resulta no que parece ser um movimento linear de ~ 7 cm/ano na direção norte-nordeste, com locais mais distantes do polo se movendo mais rapidamente do que aqueles mais próximos.
- O Modelo Australiano de Movimento de Placas (PMM) foi criado através da análise da solução APREF, que mostrou que a estabilidade horizontal das estações APREF é de 1 mm/ano ou menos.
- O PMM australiano pode ser usado para propagar coordenadas entre o ITRF2014 em qualquer época e o GDA2020 (e vice-versa).
- Versão mais densa e precisa do modelo de velocidade ITRF2014 para a Austrália.



$GDA2020 = ITRF2014@2020$

As coordenadas ITRF2014 são diferentes das coordenadas ITRF1992.
Por exemplo, as alturas diferem em 9 cm.

- Atualizações da ITRF: 1994, 1996, 1997, 2000, 2005, 2008, 2014.
 - Cada um deles é uma versão melhorada da forma da Terra.
- Transformação de 7 parâmetros**

$ITRF1992@1995.0$ (~7 cm a nordeste de 1994)

$GDA94 = ITRF1992@1994,0$

Por que elas não combinam?

1. Alterações no sistema de referência entre o ITRF1992 e os dias de hoje
2. Distorções locais (por exemplo, subsidência, terremotos)
3. Falta de rigor na forma como as coordenadas GDA94 foram calculadas

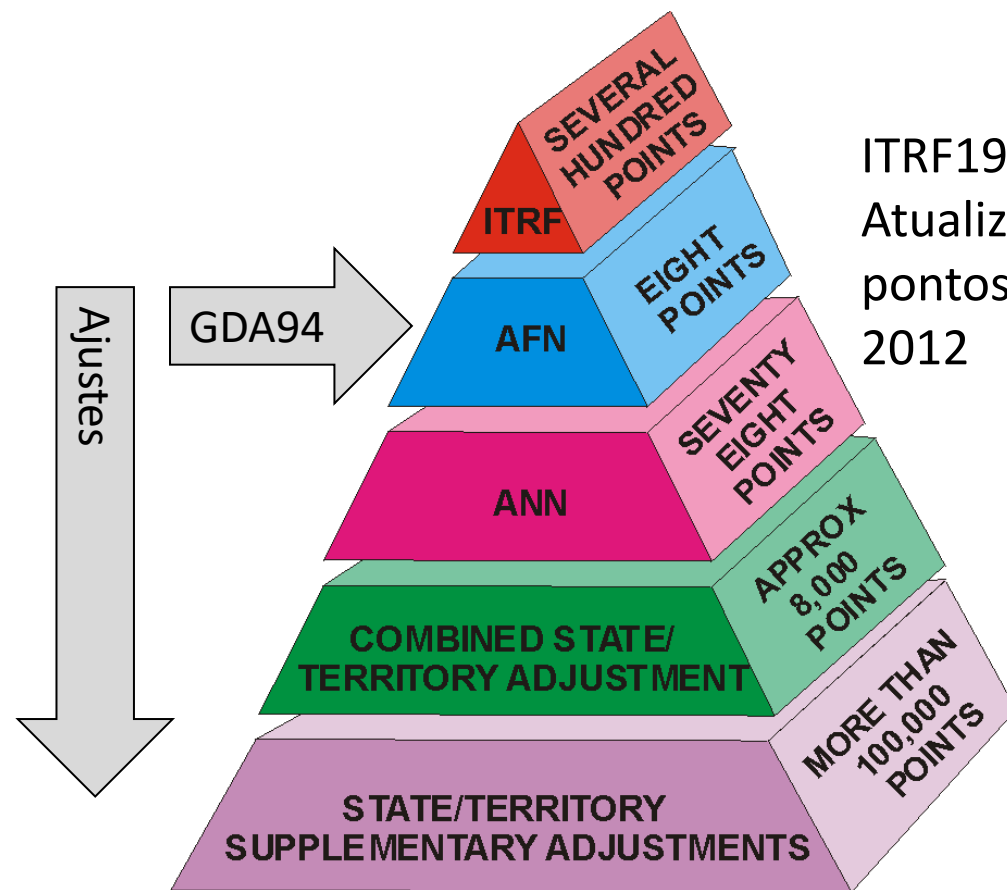


**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Deformação 2D

Distorção no GDA94

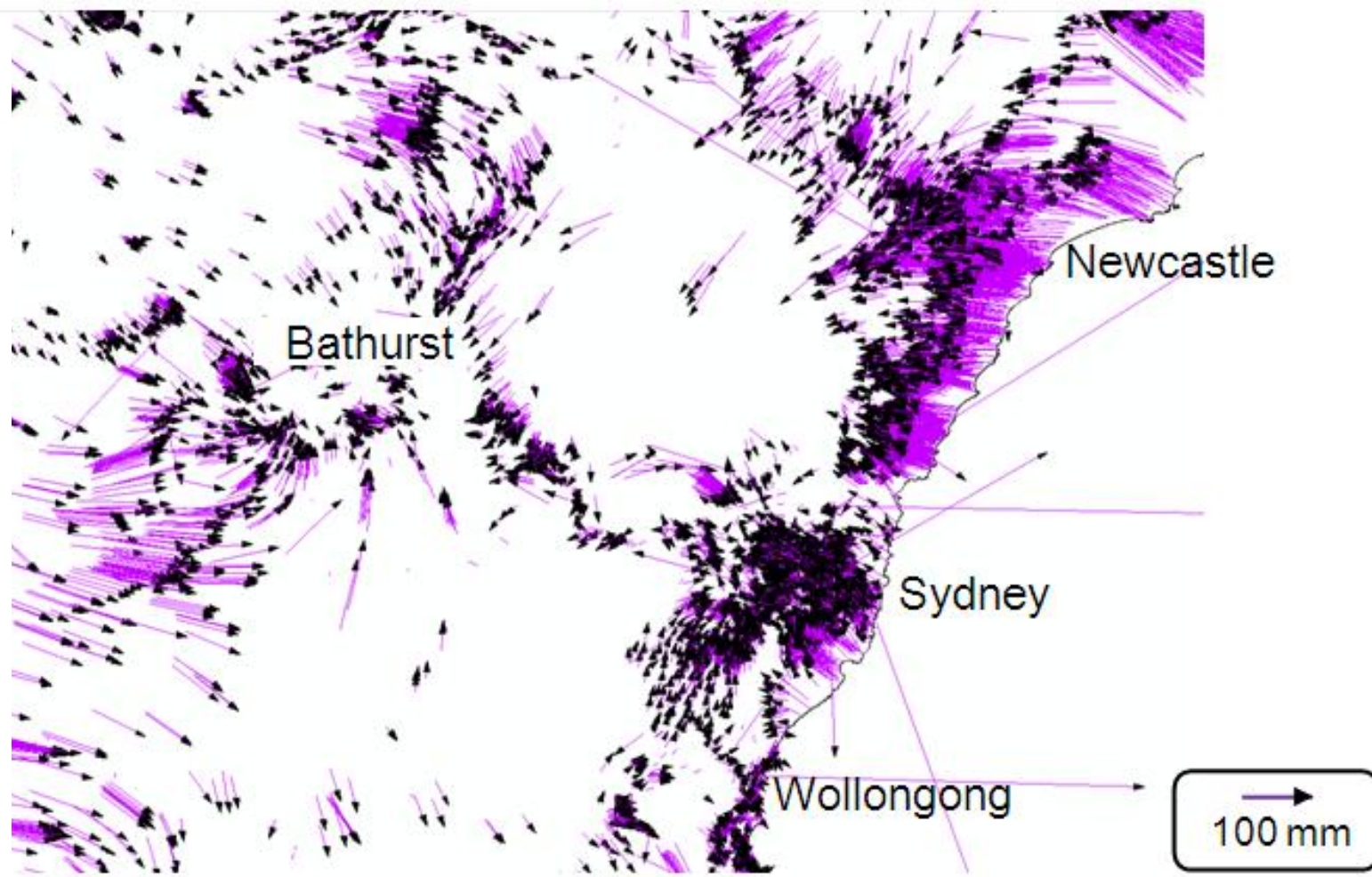
1. Alterações no sistema de referência entre o ITRF1992 e os dias de hoje
2. Distorções locais (por exemplo, subsidência, terremotos)
3. Falta de rigor na forma como as coordenadas GDA94 foram calculadas



Deformação 2D

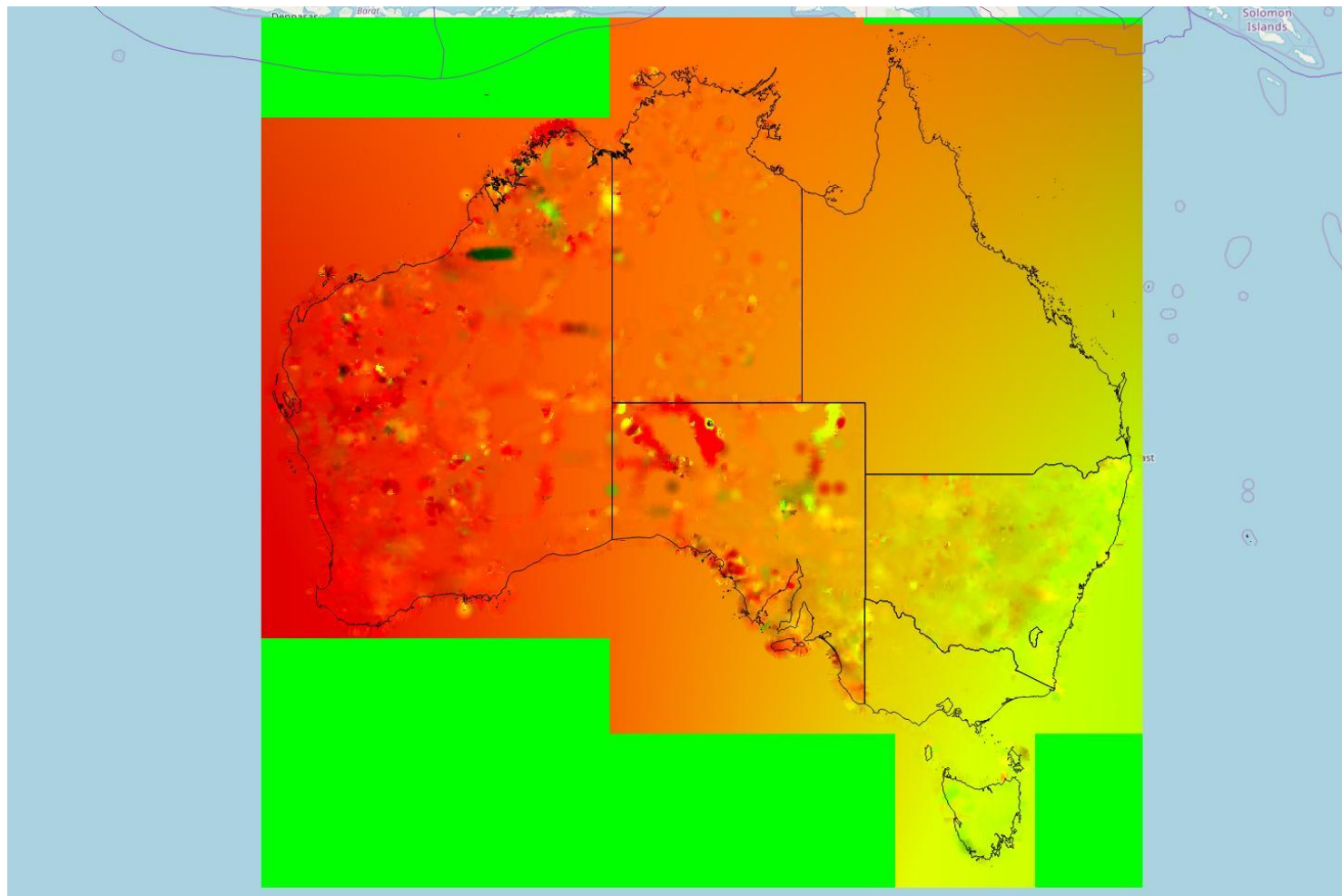
Distorção no Repositório de Dados Geocêntrico da Austrália 1994

1. Alterações no sistema de referência entre o ITRF1992 e os dias de hoje
2. Distorções locais (por exemplo, subsidência, terremotos)
3. Falta de rigor na forma como as coordenadas GDA94 foram calculadas



Fonte: Joel Haasdyk e Tony Watson, LPI NSW, Conferência APAS 2013

Deformação 2D (Conformal + Grelha de deformação)



Cortesia de Alex Woods, DELWP

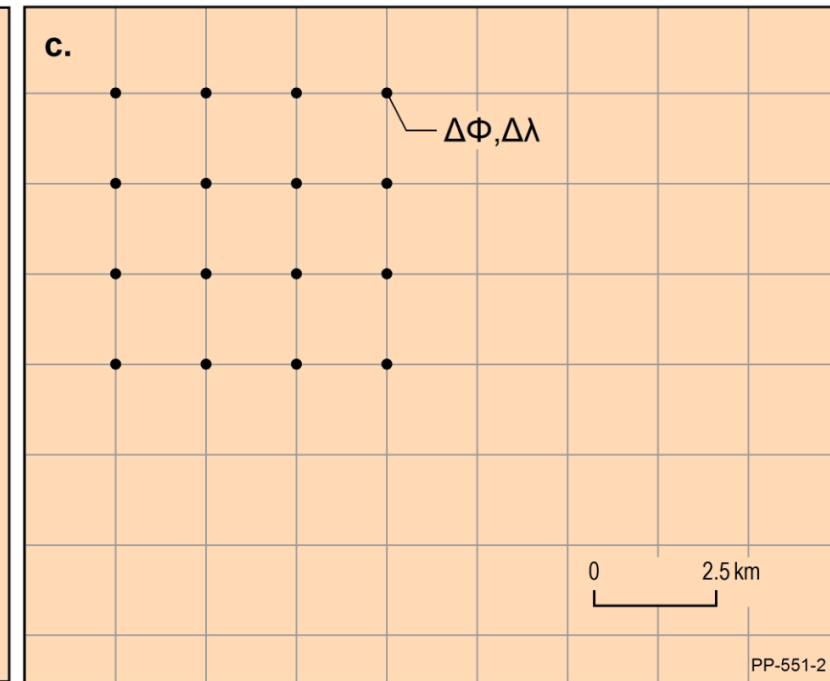
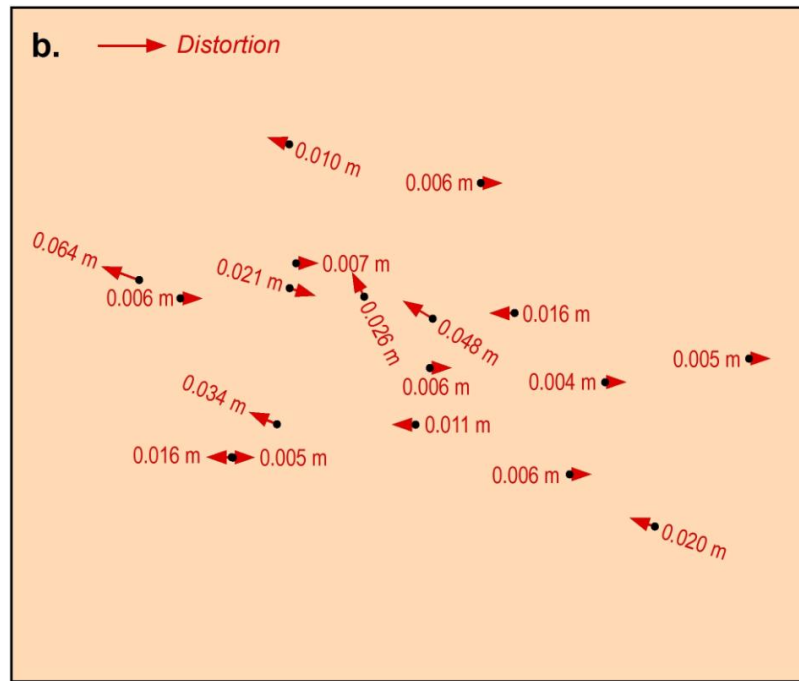
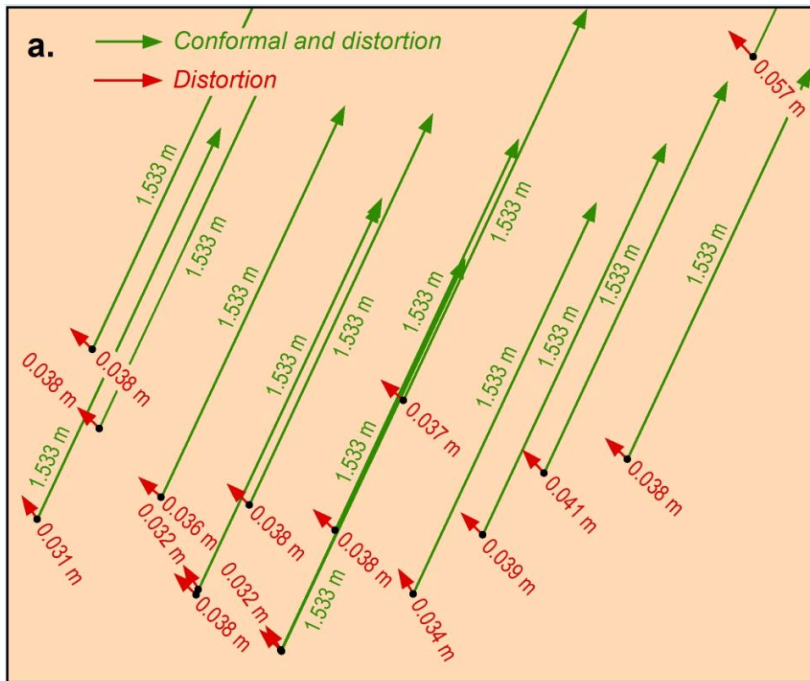
Inserir:

- Grelha conformacional
- Notas da pesquisa
 - Publicado GDA94
 - GDA2020 ajustado

Aplicação:

- 2D
- Dados alinhados com a rede de marcas de controle da pesquisa

Deformação 2D (Conformal + Grelha de deformação)



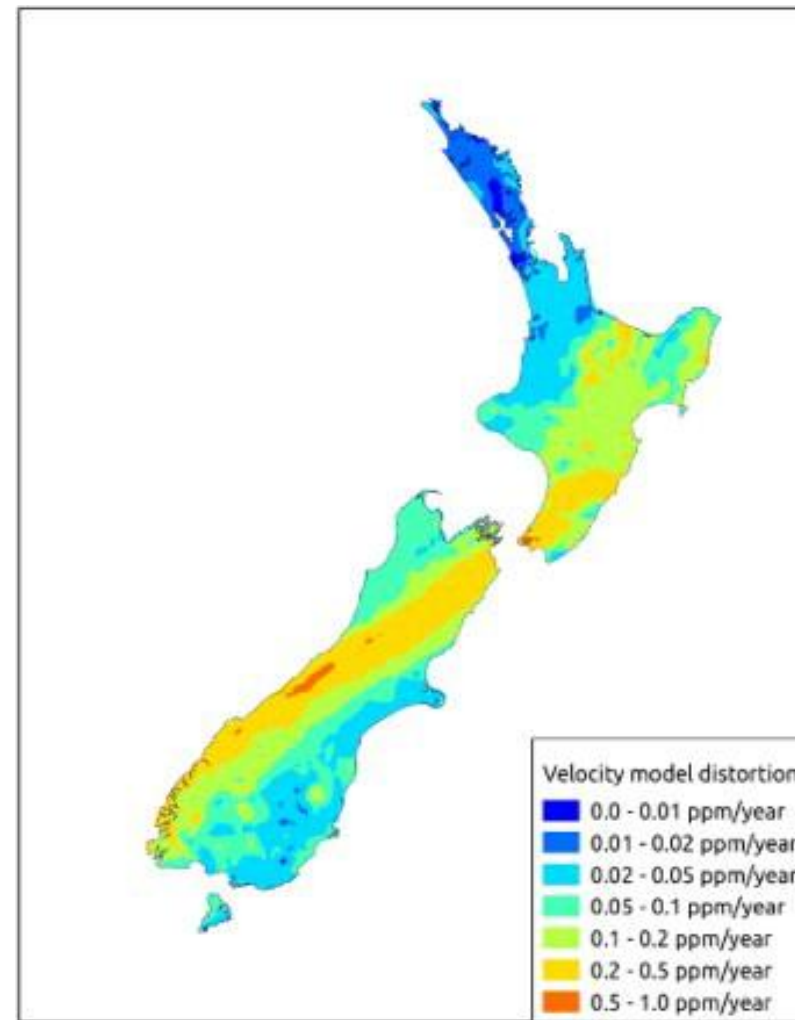
- a) componentes conformes (verde) e de distorção (vermelho) das grelhas de transformação;
- b) baixa confiabilidade do componente de distorção;
- c) A grelha possui um componente de latitude e um componente de longitude.

Deformação 3D

Os modelos de deformação são usados para estimar:

- A deformação da crosta terrestre, incluindo movimentos tectônicos, falhas geológicas e terremotos.

A Nova Zelândia (NZGD2000) é definida através da sua relação com o ITRF através do modelo de deformação.



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Deformação 3D

	Patch reverso	Patch para avançar
Descrição	Um patch reverso corrige coordenadas no passado para levar em conta a deformação que ocorreu desde um período de referência específico.	Um patch avançado projeta coordenadas para o futuro ou as corrige para o presente, a fim de refletir a deformação em andamento.
Finalidade	Ajustar coordenadas históricas (por exemplo, dados de levantamentos coletados há anos) para alinhá-las com o moderno sistema de referência NZGD2000, que representa a superfície da Terra em uma época de referência específica (2000.0).	Ajustar coordenadas atuais ou passadas para levar em conta o movimento da crosta terrestre que ocorrerá (ou ocorreu) após o período de referência (2000.0) para alinhá-las com sua posição no mundo real.
Cenário	Suponha que as coordenadas tenham sido medidas em 2012. Para utilizá-los na estrutura NZGD2000 tal como era em 2000, é aplicado um patch reverso para “desfazer” o movimento tectônico que ocorreu entre 2000 e 2012.	Se uma pesquisa for realizada hoje (por exemplo, em 2025), as coordenadas precisariam de um patch avançado para “prever” o movimento desde a época de 2000.0.
Utilização	Normalmente aplicado ao integrar conjuntos de dados mais antigos em uma estrutura geodésica moderna ou ao comparar dados históricos com coordenadas atuais.	Essencial para aplicações como posicionamento GNSS em tempo real, onde as coordenadas precisam refletir a superfície atual da Terra, em vez do sistema de referência 2000.0.

Recursos



GeodePy

<https://github.com/GeoscienceAustralia/GeodePy>



Australian Geospatial Reference System Compendium

Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping
Geodesy Working Group
16 August 2022

https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/2022-08/AGRS_Compendium_20220816.pdf

Recursos: Serviços de transformação

GDA94 – GDA2020 Online Transformation Service

Purpose

The online transformation service (powered by FME) provides a reference standard that enables software developers and spatial professionals to transform their data from the Geocentric Datum of Australia 1994 (GDA94) to the Geocentric Datum of Australia 2020 (GDA2020). Users can simply drag and drop files onto the page and receive an email with a link to download the output file.

Please note, this service is not intended to enable users to transform all their data from GDA94 to GDA2020; instead it aims to provide a method of checking systems and processes implemented by government or the spatial industry to ensure the transformation results are correct. The online transformation service accepts the following formats at this time: Shapefiles, CSV, ASCII Grid, GeoTIFF, ECW, JPEG2000, GeoJSON.

Drop
File(s)
Here

Allowed input file types

CSV Shapefile JPEG2000 GeoJSON GeoTIFF ASCII Grid ECW

Choice of Transformation

Three different transformations are provided for you to choose from:

- 7-parameter similarity
- Conformal
- Conformal and Distortion

<http://positioning.fsdf.org.au/>

<https://github.com/GeoscienceAustralia/GeodePy>

EUREF Permanent GNSS Network

ETRF/ITRF Coordinate Transformation Tool (ECTT)

On-line coordinate transformation between coordinates (position and velocity) expressed in any ETRFxx realisations of the European Terrestrial Reference System (ETRS89) and any ITRFyy realizations of the International Terrestrial Reference System (ITRS). In case output coordinates are requested at a different epoch than the provided input coordinates, it is mandatory to also input station velocities.

For transformations to and from the Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF), use ITRF. GTRF is aligned to current versions of the ITRF.

Explanation and examples are available from the following [tutorial](#). However, note that with the introduction of the most recent transformation tool (August 2022), this tutorial has become slightly outdated. If you use the ECTT tool, please cite [doi:10.24414/ROB-EUREF-ECTT](https://doi.org/10.24414/ROB-EUREF-ECTT).

Change epoch format:

INPUT

Frame: Epoch:

Lines starting by # are treated as comments
Fields (in decimal format) should be separated by at least one space

--> Example without velocity <--
Stationname (no space character) X[m] Y[m] Z[m] :
Station_1 4027894.006 307045.600 4919474.910

--> Example with velocity <--
Stationname (no space ch.) X[m] Y[m] Z[m] VX[m/yr] VY[m/yr] VZ[m/yr] :
Station_2 4027894.006 307045.600 4919474.910 0.01 0.2 0.03

TRANSFORM TO

Frame: Epoch:

https://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/

Estado atual

- Atualizar a precisão do código EPSG GDA94-WGS84 (genérico) (1150) de 1 m para 3 m
- Introdução dos códigos EPSG GDA94-GDA2020
- Introdução dos códigos EPSG GDA2020-ITRF2014(8049)

Futuro

- Discussões com a OGC+EPSG para reconhecer o WGS84 como dependente do tempo

