



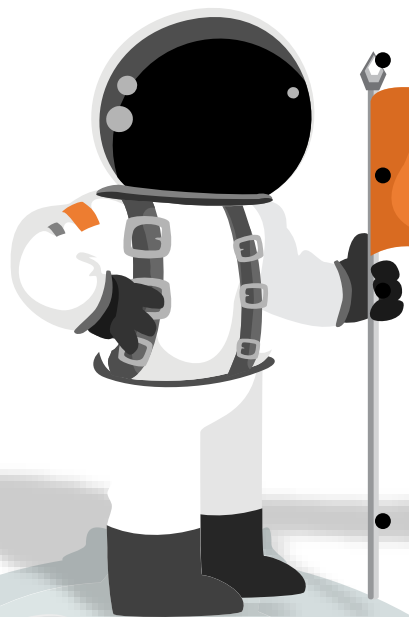
Análise das Mudanças Temporais no Datum Vertical Brasileiro de Imbituba

Da Silva, L.M.; De Freitas, S.R.C.



Mendoza, 28 de novembro de 2017

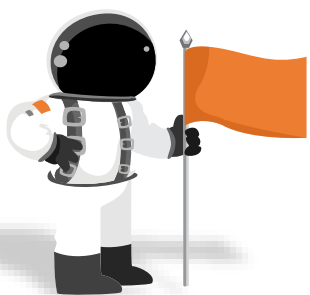
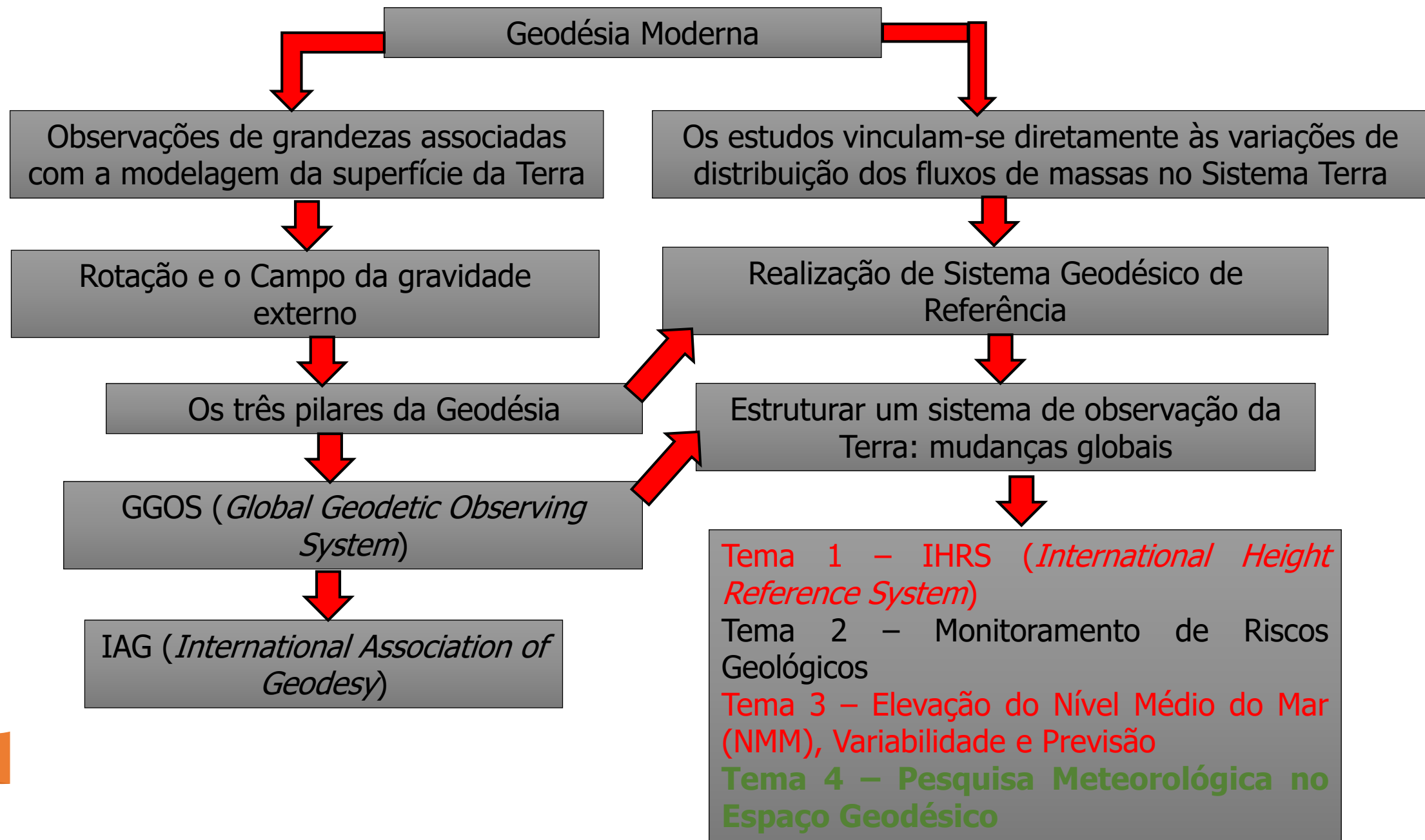
ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO



- **Visão Atual das Demandas Globais para Referenciais Verticais**
- **Problemas Envolvidos na Determinação do Datum**
- **Estratégias de Abordagem para Análise da Evolução Temporal do DVB-I**
- **Caracterização e Base de Dados para o DVB-I**
- **Análises e Resultados Acerca da Análise da Evolução Temporal do DVB-I**
 - **Nível do Mar no DVB-I – Observações Maregráficas**
 - **Movimentos da Crosta**
 - **Integração das Séries Temporais**
- **Conclusões e Recomendação**

VISÃO ATUAL DAS DEMANDAS GLOBAIS PARA REFERENCIAIS VERTICAIS



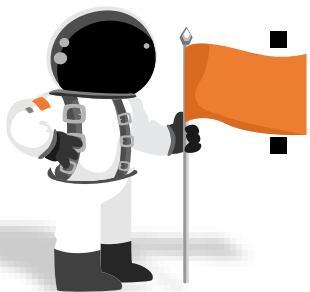


Como pode ser feita a definição e a realização de um Datum Vertical Moderno (DVM)?

- Aspectos Geocinemáticos da interação oceano-continente;
- Relacionar com uma referência global única: valor unívoco de geopotencial e que as coordenadas verticais primárias nas Redes Verticais de Referência sejam os números geopotenciais.

Quais são os problemas para a definição e realização de um DVM? E como solucionar os problemas?

- Discriminar movimentos eustáticos e tectônicos.
- Monitorar a posição geocêntrica dos marégrafos costeiros e;
- Variabilidade temporal.

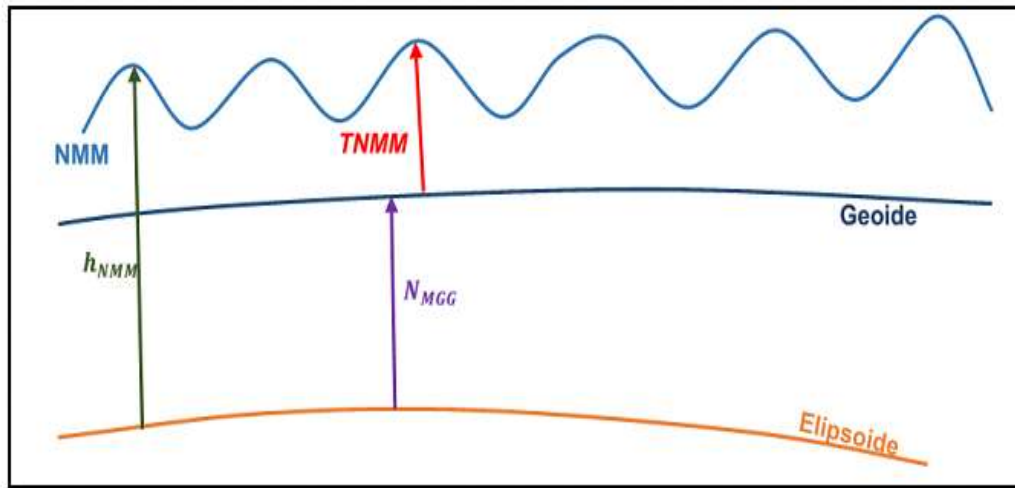


PROBLEMAS ENVOLVIDOS NA DETERMINAÇÃO DO DATUM



Como determinar a TNMM?

■ Aspectos geométricos

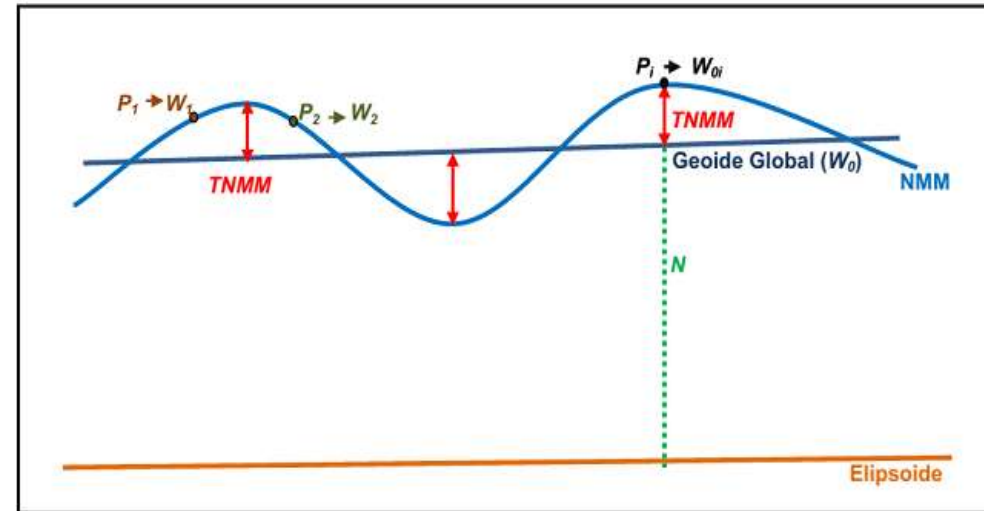


- As altitudes geoidais são resolvidas por modelos globais;

- Há a necessidade de um sistema de referência comum.

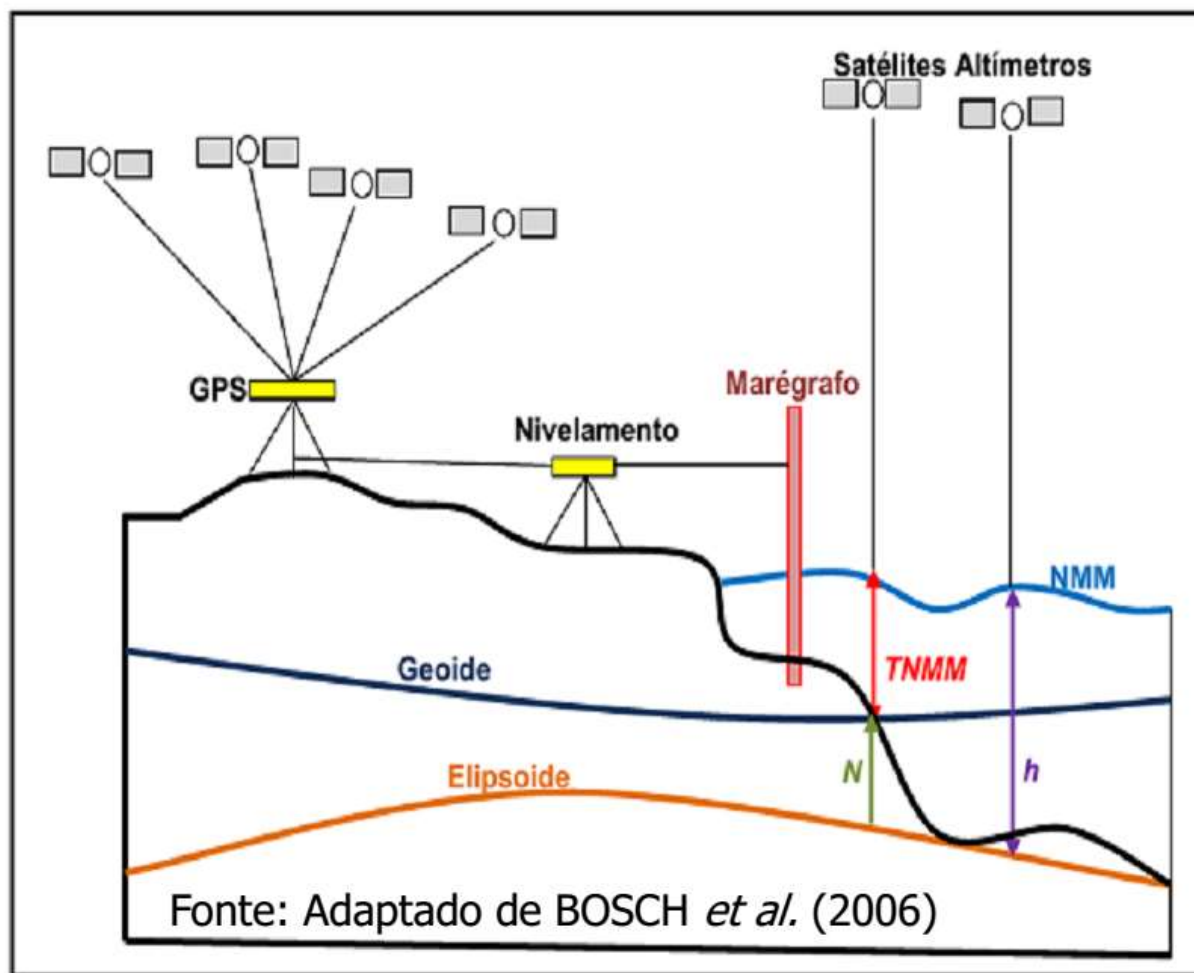


■ Aspectos físicos



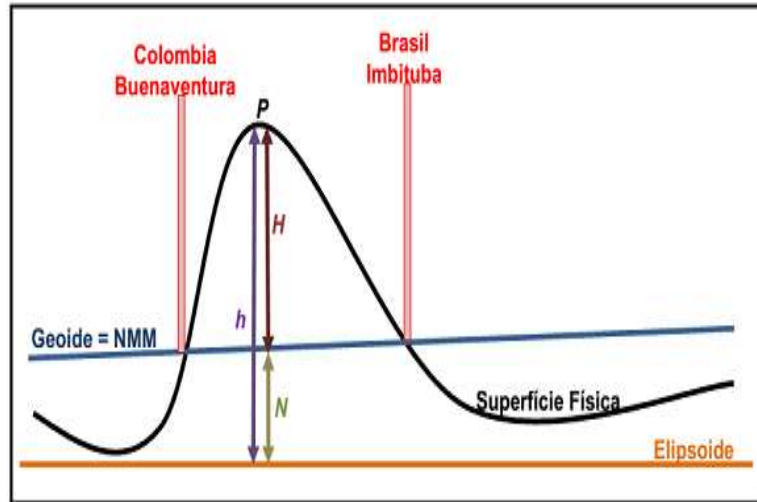
- Adoção de um geoide global;
- Coaduna com a visão atual da Geodésia;
- Estão associadas com os efeitos de anomalias locais de massas continentais e oceânicas.

Na atualidade, a TNMM é, em geral, derivada a partir de missões de altimetria por satélites, as quais permitem a determinação do nível do mar com relação ao elipsoide, porém com acentuada perda de resolução em áreas costeiras.

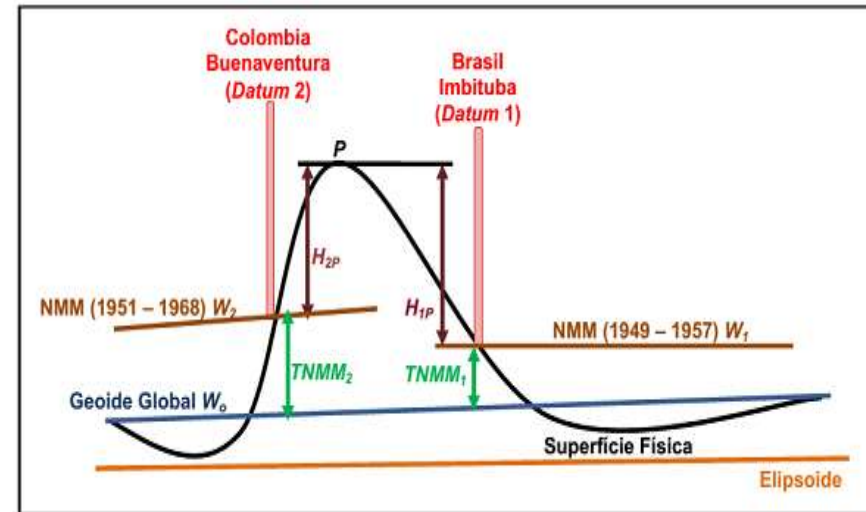


Como realizar o monitoramento da evolução do DVB-I?

Definição dos Data Verticais Clássicos

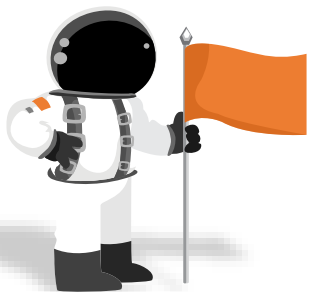


Definição dos *Data* Verticais Moderno

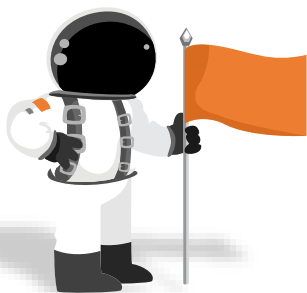
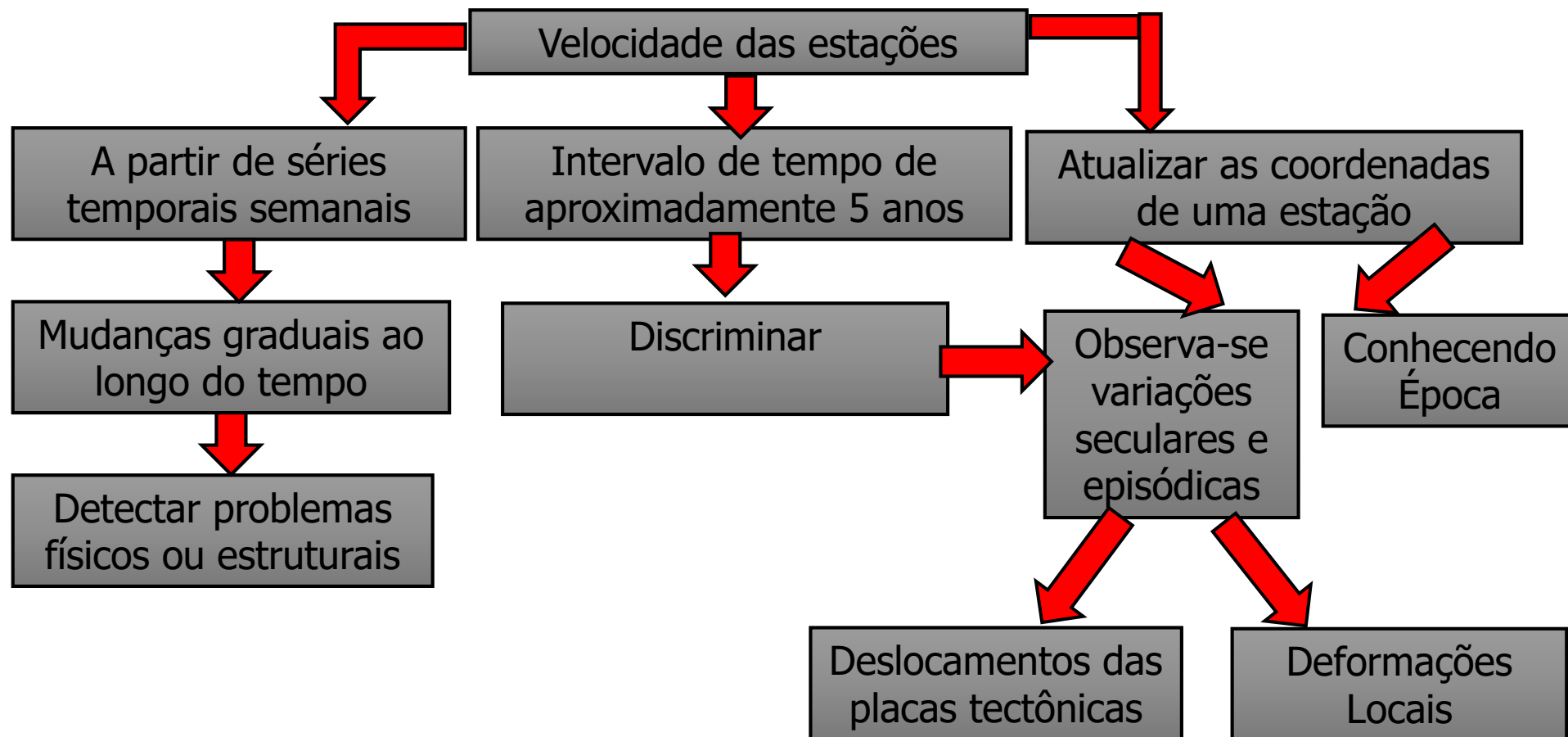


Fonte: Adaptado de IBGE (1997a)

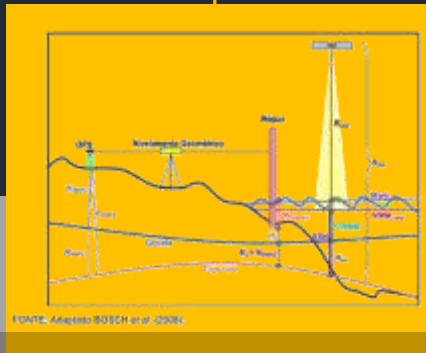
- Os DVs são inconsistentes entre si:
 - ✓ Obtidos em épocas distintas;
 - ✓ Sujeitos a efeitos geográficos locais.
- Na atualidade, passou a ser uma preocupação prioritária da comunidade geodésica os efeitos indiretos da TNMM no DV e, por conseguinte em toda a rede a ele vinculada.

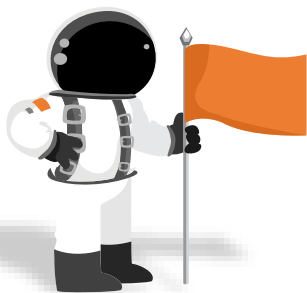
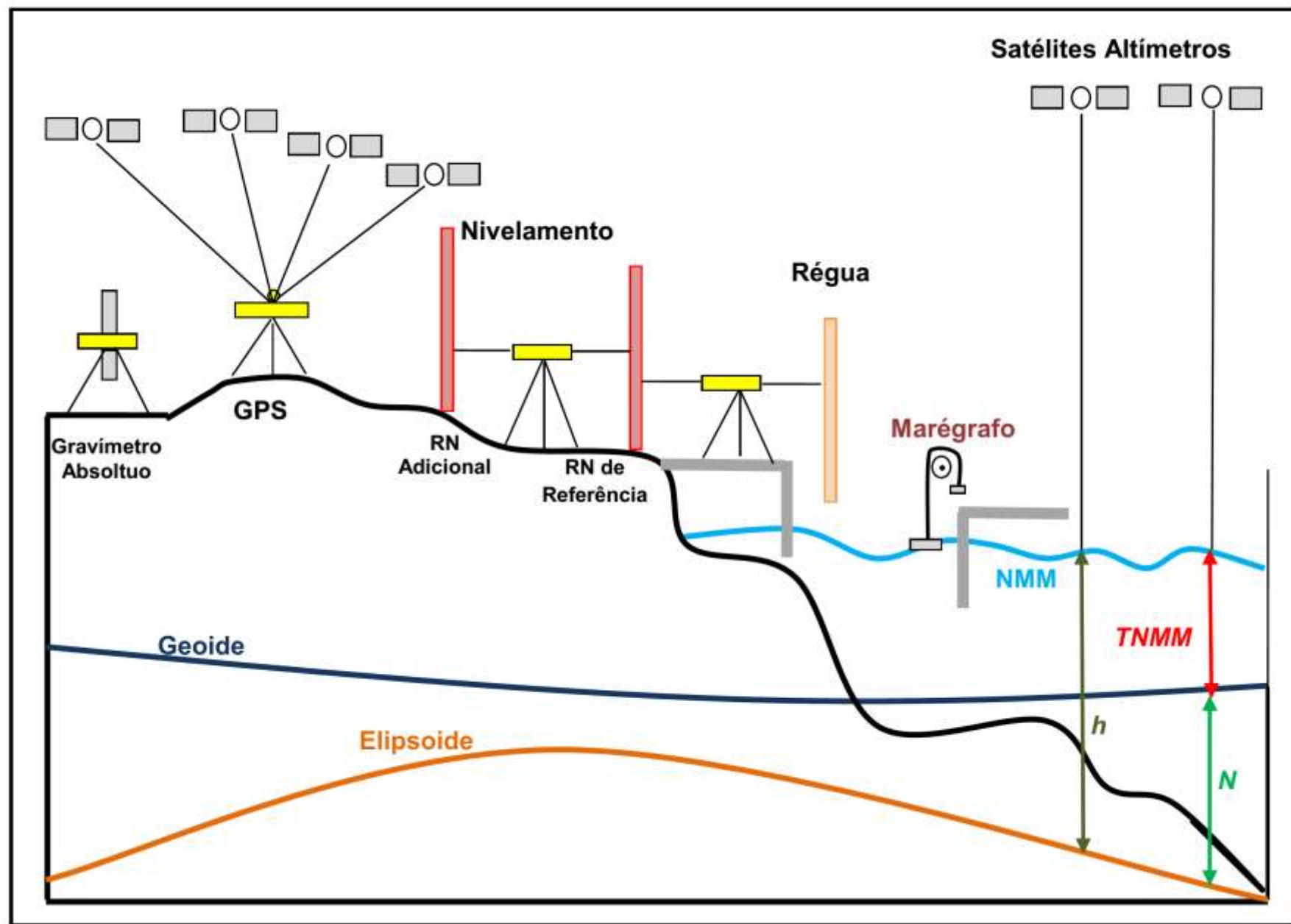


O movimento da crosta



ESTRATÉGIAS DE ABORDAGEM PARA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DVB-I

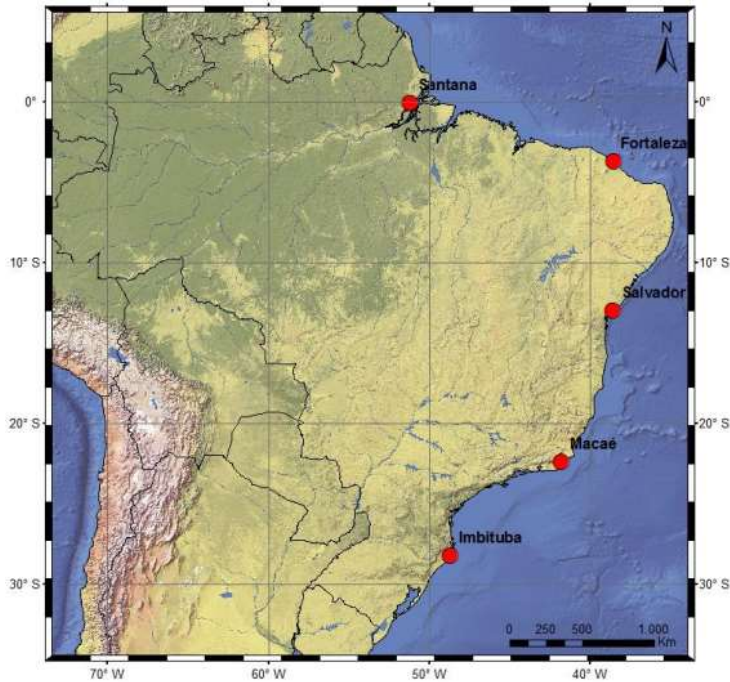




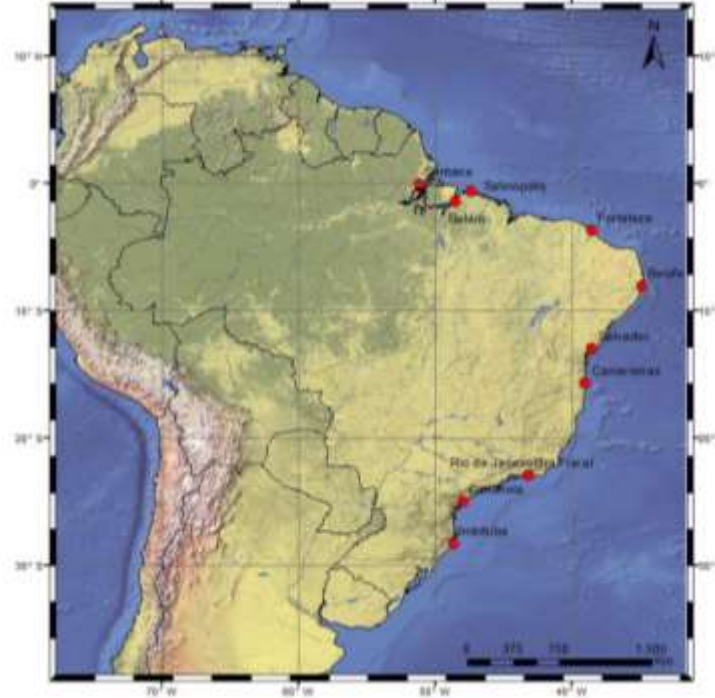
CARACTERIZAÇÃO E BASE DE DADOS PARA O DVB-I



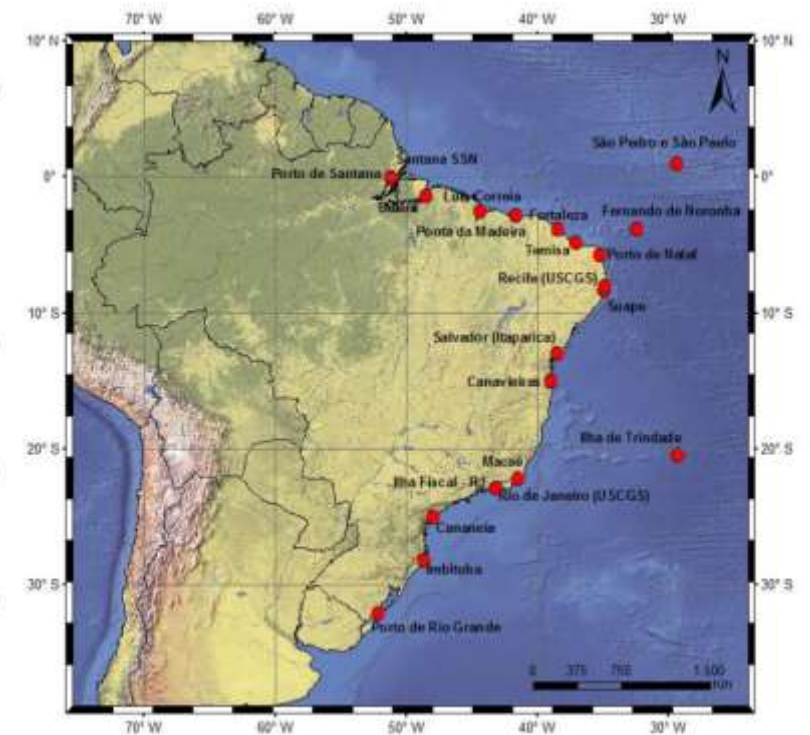
Onde há dados para análise dos aspectos do nível do mar no DVB-I?



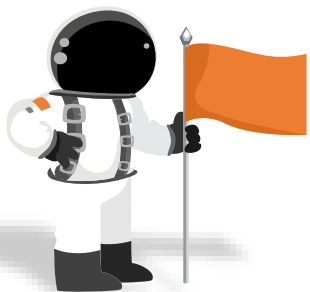
RMPG (2006 – Atual)



PSMSL (1948-1968)

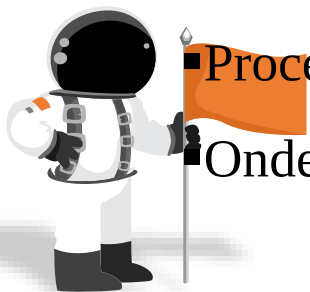
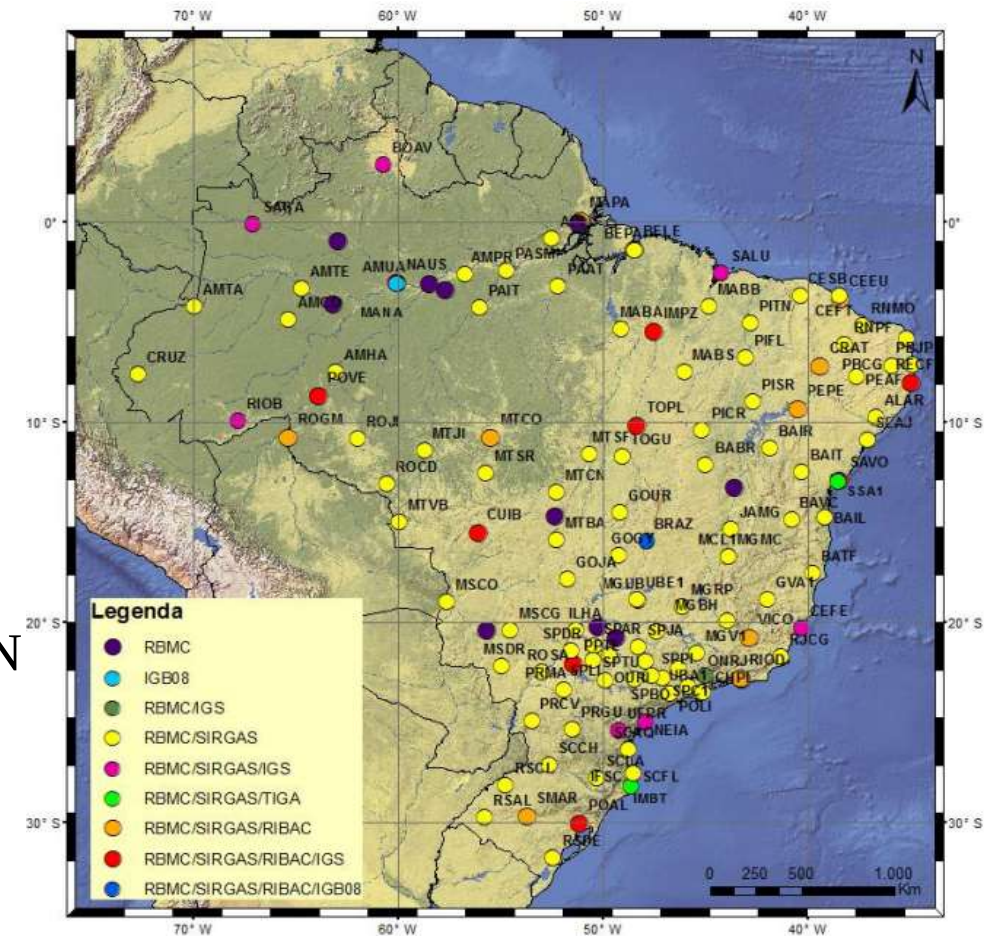


UHSLC (2001 – 2007)



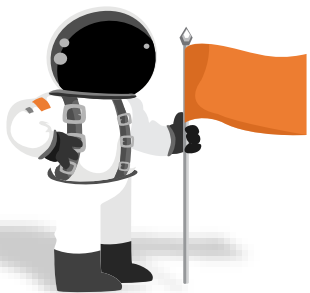
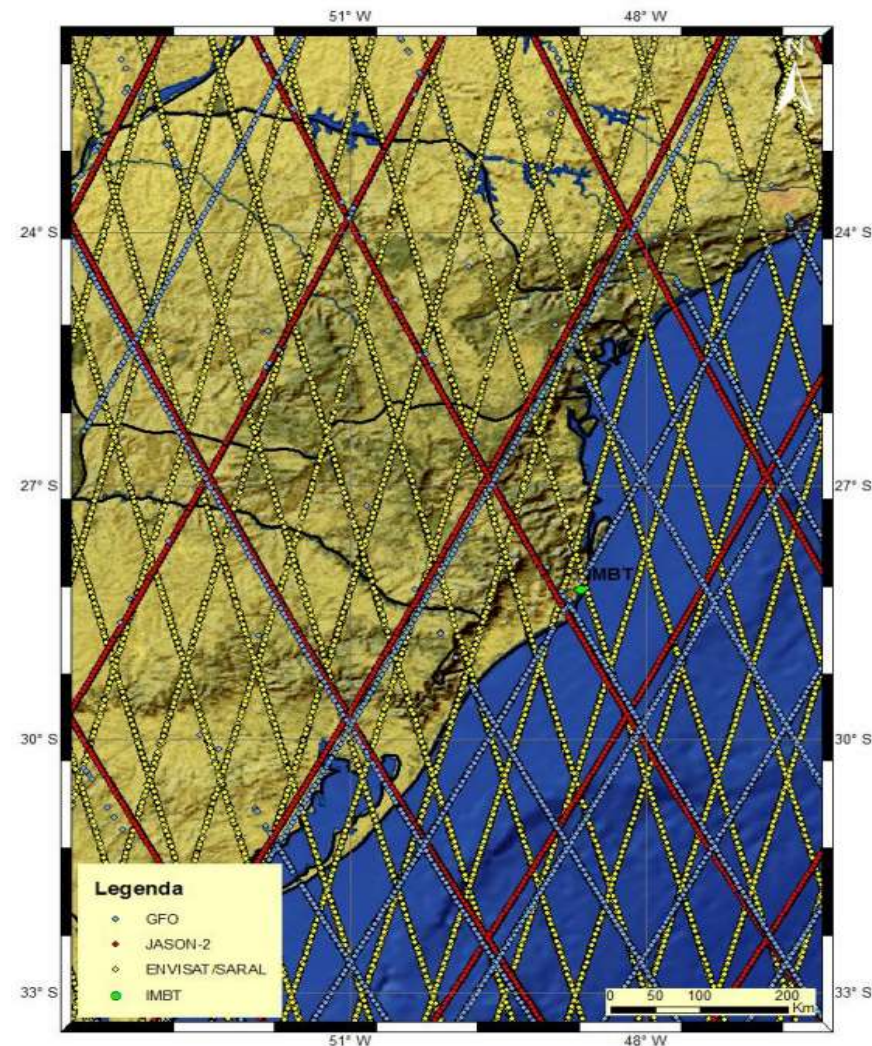
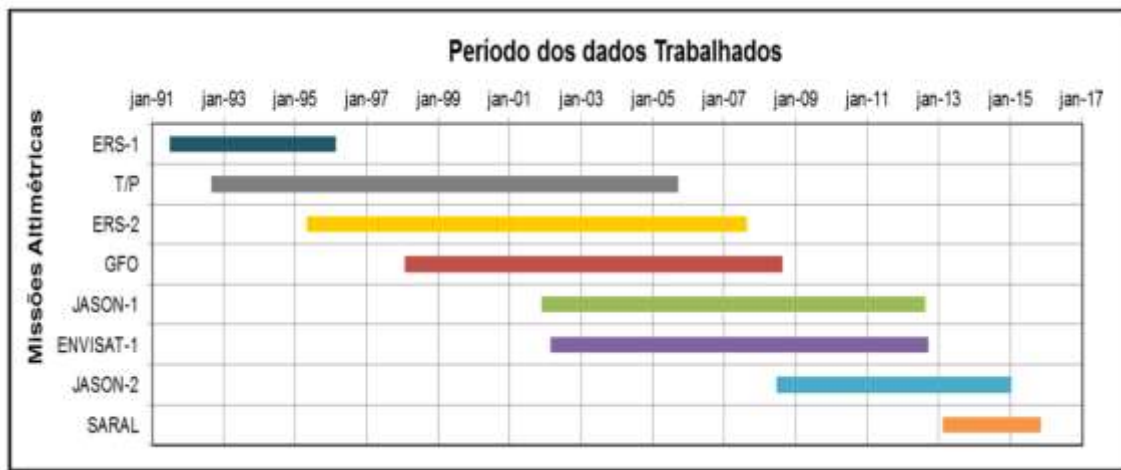
O que vem sendo feito para análise do comportamento dinâmico da crosta da Terra no DVB-I?

- Acompanhamento há cerca de 20 anos
- ✓ Posição geocêntrica
- ✓ Velocidade
- ✓ Efeitos locais
- ✓ Discriminação de perturbações
- Campanhas esporádicas na estação IMBI – GPS no mínimo 10 dias (1997, 2000 e 2005)
- Forma contínua na estação IMBT desde 2007 – SIRGAS–CON com emprego de receptor GNSS
- Processamento com o software Bernese 5.0 e atualmente o 5.2
- Onde obter dados das estações GNSS?



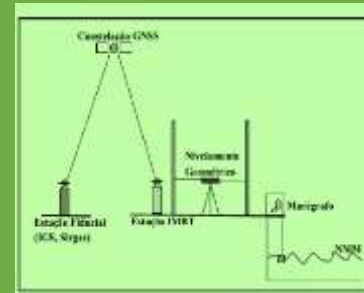
Quais são as vantagens da utilização da técnica da altimetria por satélite para análise do NMM?

- Séries da altimetria são curtas comparadas as séries de observações maregráficas, mas sua utilização proporciona mensurações absolutas;
- Há grande cobertura espacial, ciclo de revisita de dez a trinta e cinco dias;
- Permitem a recuperação das informações do NM dos marégrafos que possuem dados descontínuos ou que ficaram inoperantes;
- Verificar a estabilidade dos radares altímetros de outras missões.

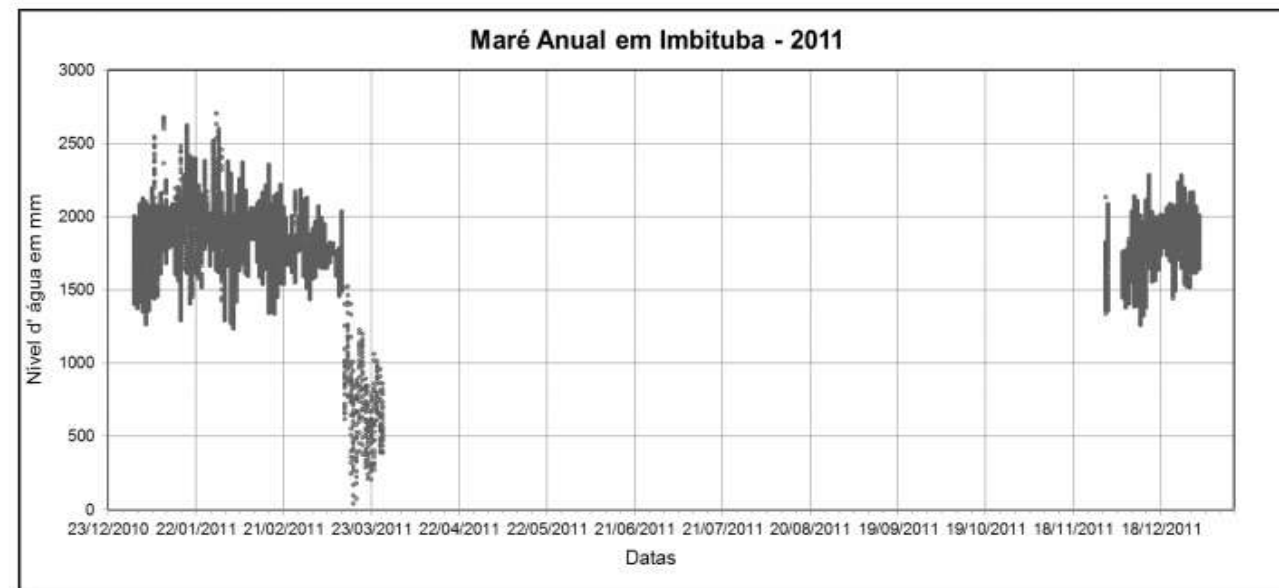
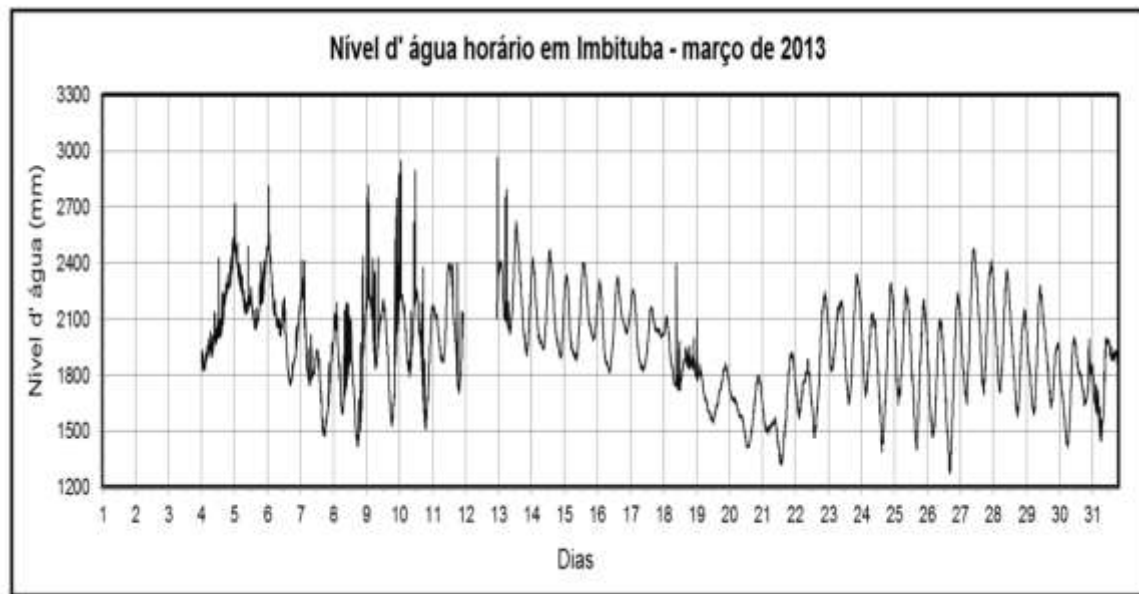


ANÁLISES E RESULTADOS ACERCA DA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DVB-I

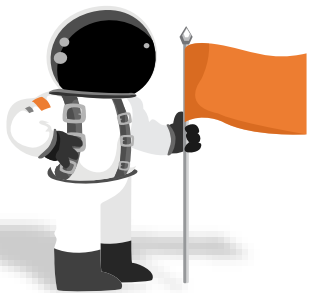
NÍVEL DO MAR NO DVB-I – OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS



- As séries temporais possuem leituras possivelmente anômalas ou períodos com ausência de dados.



- Quais dados foram utilizados para as análises acerca da evolução do nível do mar no DVB-I?
 - Dados da RMPG – novembro de 2006 a janeiro de 2016; 754022 observações horárias (5 minutos);
 - Dados UHSLC - agosto de 2001 a dezembro de 2007, 48319 observações horárias (1 hora);
 - PSMSL - setembro de 1948 a dezembro de 1968.



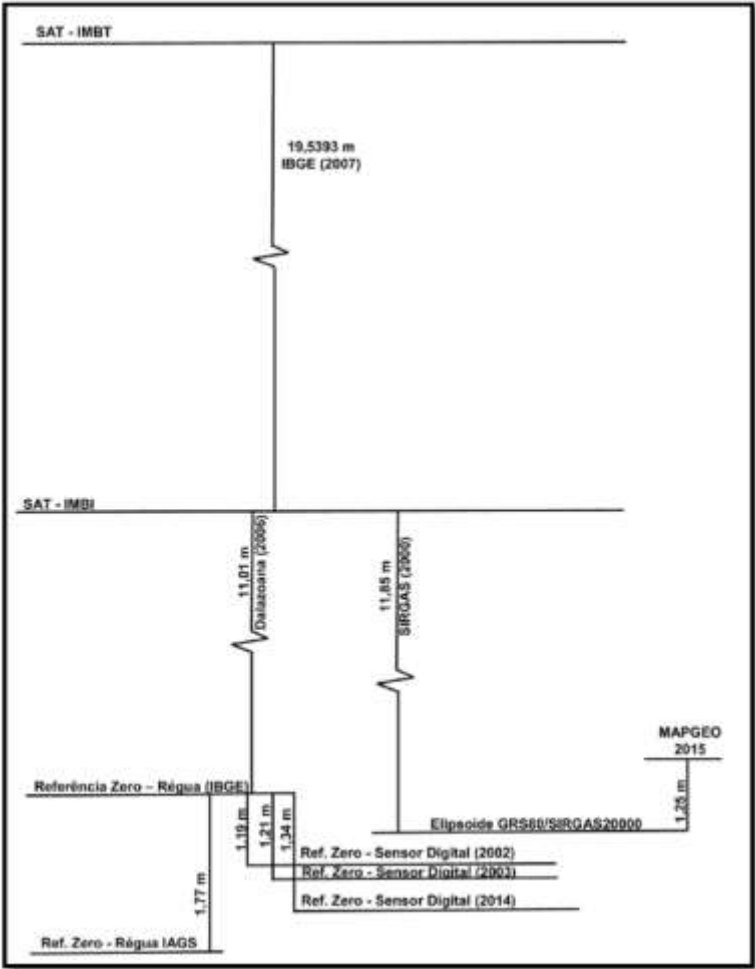
Como integrar distintas bases de dados?

É fundamental a **identificação de referência de leitura** dos distintos sensores e assim estabelecer a diferença entre eles.

Desníveis entre os “zeros” obtidos do sensor de pressão e da régua.

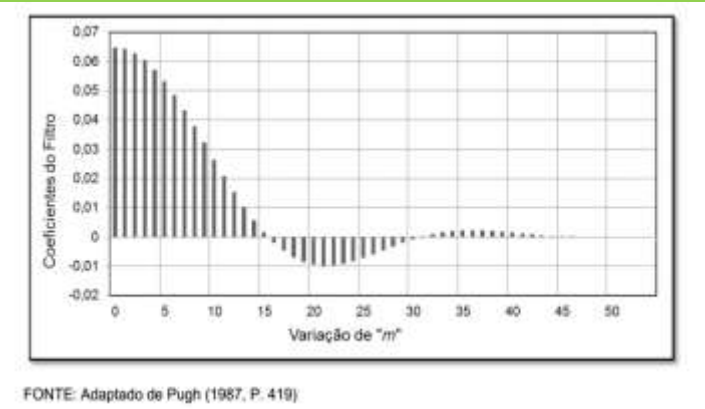


Data de Aferição	Desnível (m)	Desvio Padrão (m)
04/10/2002	1,190	0,082
30/06/2003	1,213	0,038
10/02/2005	1,215	0,075
26/02/2010	1,238	0,042
16/05/2014	1,345	0,012



Como foi realizado o processamento das observações maregráficas?

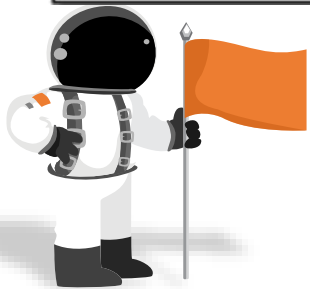
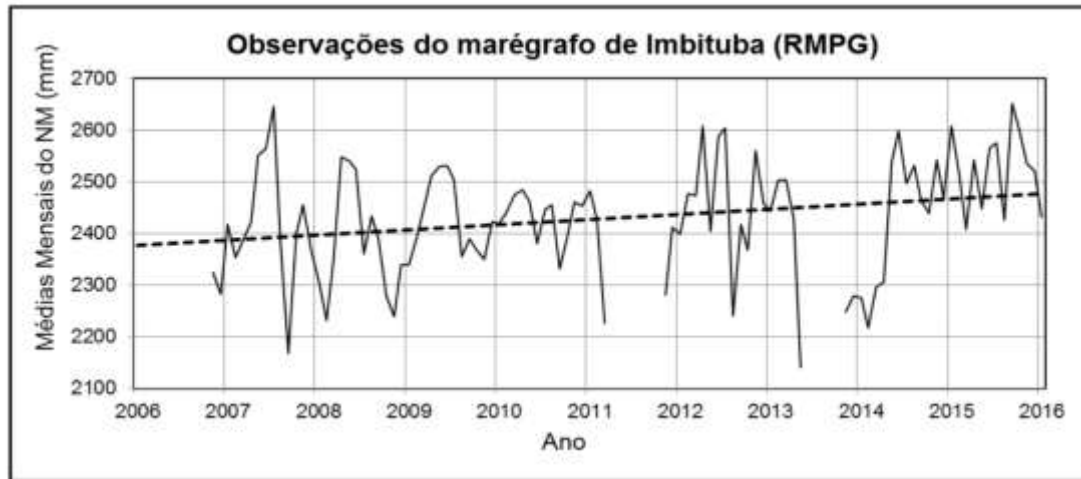
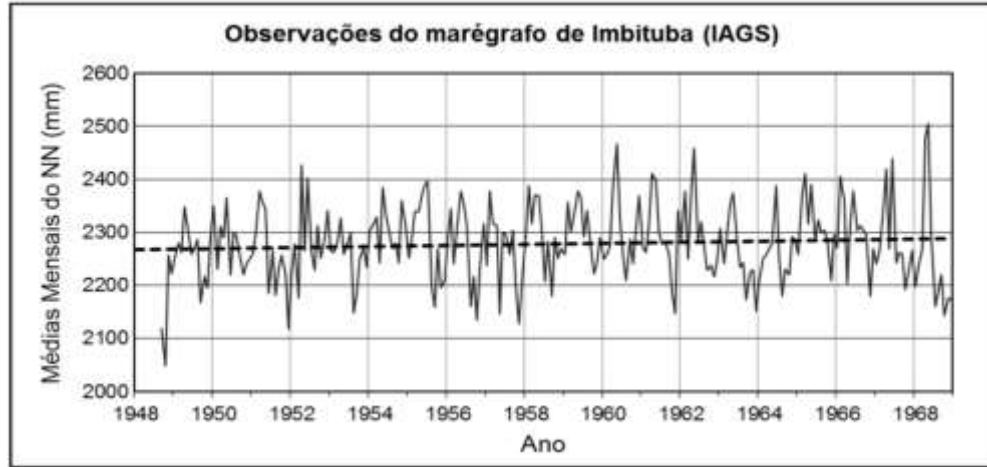
- Filtro passa-baixa, simétrico e centrado no valor inteiro da hora



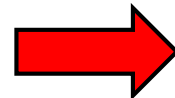
$$X_F(t) = F_0X(t) + \sum_{m=1}^{54} F_m[X(t+i) + X(t-i)]$$

Precisão	Antes da Filtragem	Após a Filtragem
Média (m)	1,763	1,864
Mínima (m)	0,55	1,57
Máxima (m)	3,44	2,085
Variância (m ²)	1,202	0,012
Desvio Padrão (m)	1,096	0,109
RMS (m)	0,283	0,137

■ Análise da taxa de elevação do nível do mar em Imbituba



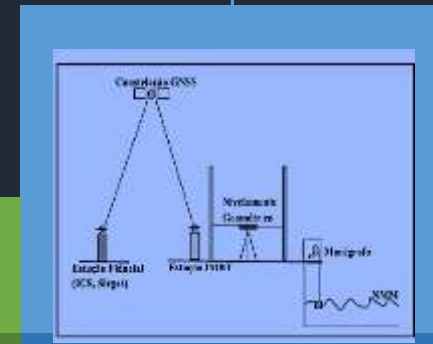
- IAGS – 1,2 mm/ano
- UHSLC – 1,78 mm/ano
- RMPG – 5,26 mm/ano



- RMPG + UHSLC = 6,90 mm/ano
- RMPG + UHSLC + IAGS = 3,10 mm/ano

ANÁLISES E RESULTADOS ACERCA DA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DVB-I

MOVIMENTOS DA CROSTA



• **Dados GNSS utilizados**

➤ O período de dados utilizados é de 5 de setembro de 2007 a 2 de janeiro de 2016, tendo início na semana GPS 1443 e finalizando na semana GPS 1877, totalizando 435 semanas GPS e 3042 observações para cada estação

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Dias	118	366	365	365	365	366	365	365	365	2	3042
Semanas GPS	17	52	52	52	52	53	52	52	159 ^(*)	-	541



Trabalhou-se com 98748 arquivos RINEX dos dados das estações GNSS, correspondendo a um total de aproximadamente 420 *Gigabytes* de dados brutos.

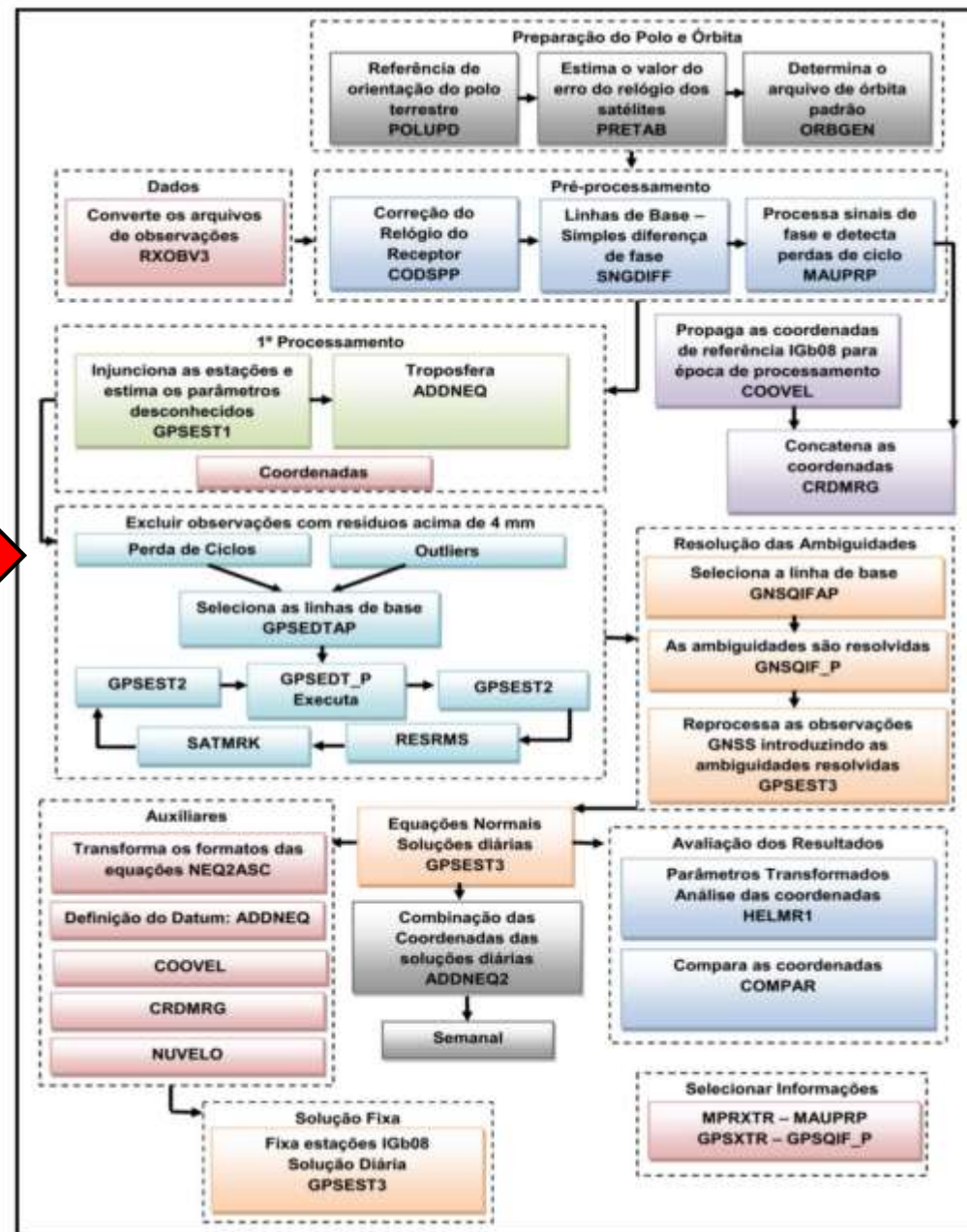


Principais características para o processamento

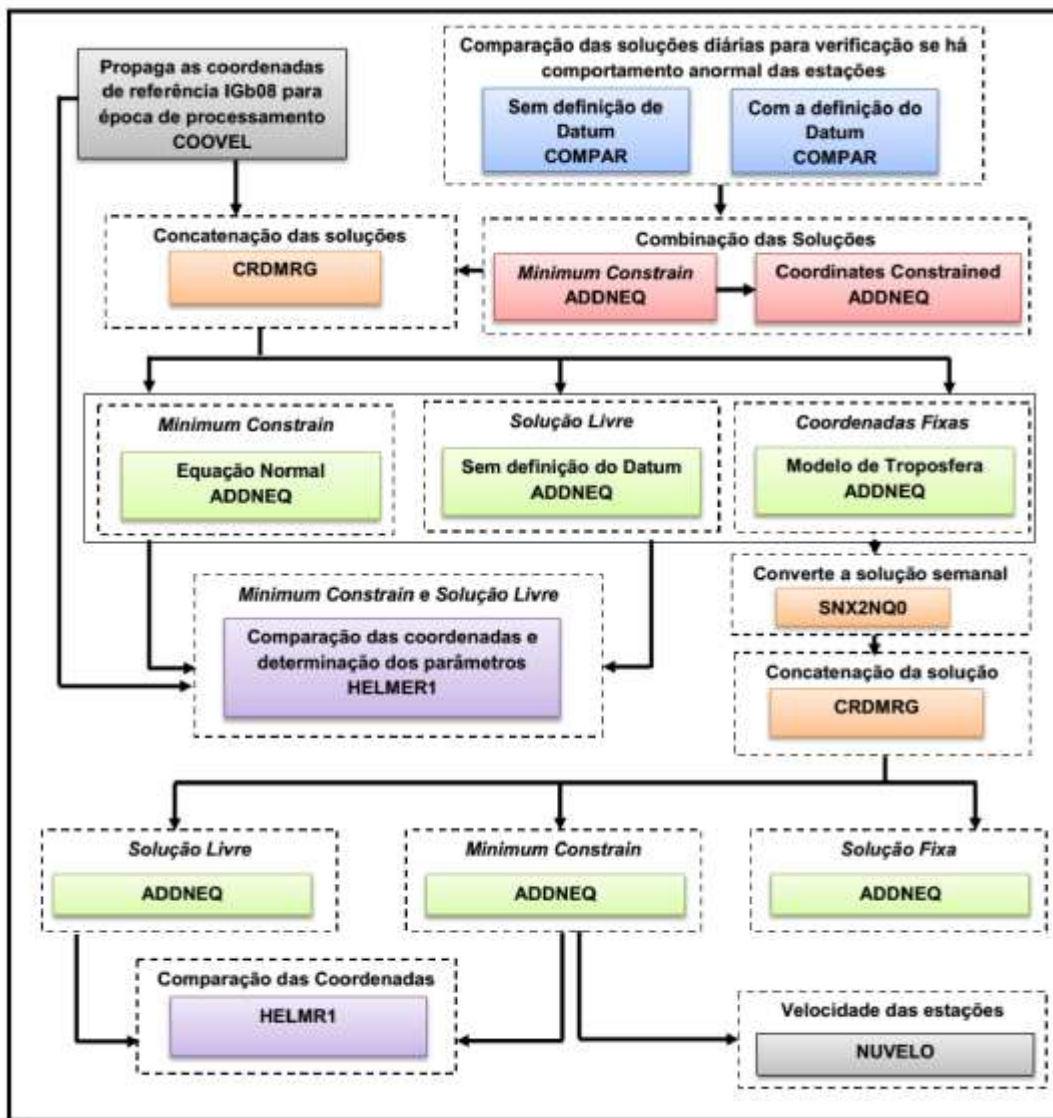
Período	Semana GPS: 1443 a 1877 ⁽¹⁾
Observações	GNSS: Código e Fase (dupla diferença)
Software	Bernese 5.2 (modo BPE)
Número de Estações	35 estações (Extensão YYO ⁽¹⁾)
Taxa de Coleta	30 segundos
Ângulo de Elevação	3°
Estratégia de Linha de Base	OBS-MAX
Órbita	Produtos do centro de análise CODE contendo as análises das órbitas GNSS (GPS e GLONASS) – Final IGS05, IGS08 e IGB08 ⁽¹⁾
Modelo de Nutação	IAU2000R06
Modelo de Polo	IERS2010XY
Efemérides Planetárias	DE405.PH
Modelo Global de Gravidade	EGM2008
Marés Oceânicas	OT_FES2004.TID
Maré da Terra Sólida	TIDE2000
Redução da carga dos efeitos troposféricos <i>a priori</i>	Dry_GMF ² (Na etapa de detecção dos resíduos – GPSEST)
Estimativa dos parâmetros do atraso troposféricos: Zênite e Gradiente	Wet_GMF ² (Etapa de detecção dos resíduos: Zênite – 2 horas; Sigma a priori relativo – 5 m Gradiente – 24 horas; Sigma a priori relativo – 5 m)
Estimativa da Troposfera	Modelo Troposférico VMF ³ (Solução Final)
Ambiguidades	Estratégia baseada em observações, distância e tempo. QIF ⁴ – linhas de base maiores que 2000 km
Unificação da referência das diferentes técnicas do rastreamento dos receptores	Correções DCB ⁵
Modelo de Ionosfera	Global Ionosphere Maps (diário, com extensão ION) obtido do CODE
Modelo de Carga Oceânica	FES2004 (extensão BLQ)
Redução de Carga Atmosférica	Carga atmosférica (extensão ATL)
Definição da Placa Oceânica	South American - SOAM (extensão PLD)
Dados Meteorológicos	Imbituba e Florianópolis (extensão MET)
Variação de Centro de Fase	Absoluto (IGS05, IGS08 e IGB08)
Coordenadas e Velocidades	(IGS05, IGS08 e IGB08)
Soluções Diárias	Soluções Semilivres – Todas as estações injuncionadas em $\sigma = \pm 1$ m. Arquivos de saída: SINEX ⁶
Tempo de Processamento	Cerca de 9 horas
Soluções Semanais	Soluções Semilivres - Injuncionadas em $\sigma = \pm 1$ m. Arquivos de saída: SINEX ⁶
Tempo de Processamento	Cerca de 30 minutos



Script para o processamento diário



Script para o processamento semanal



- Estratégias para obtenção das Soluções Semanais

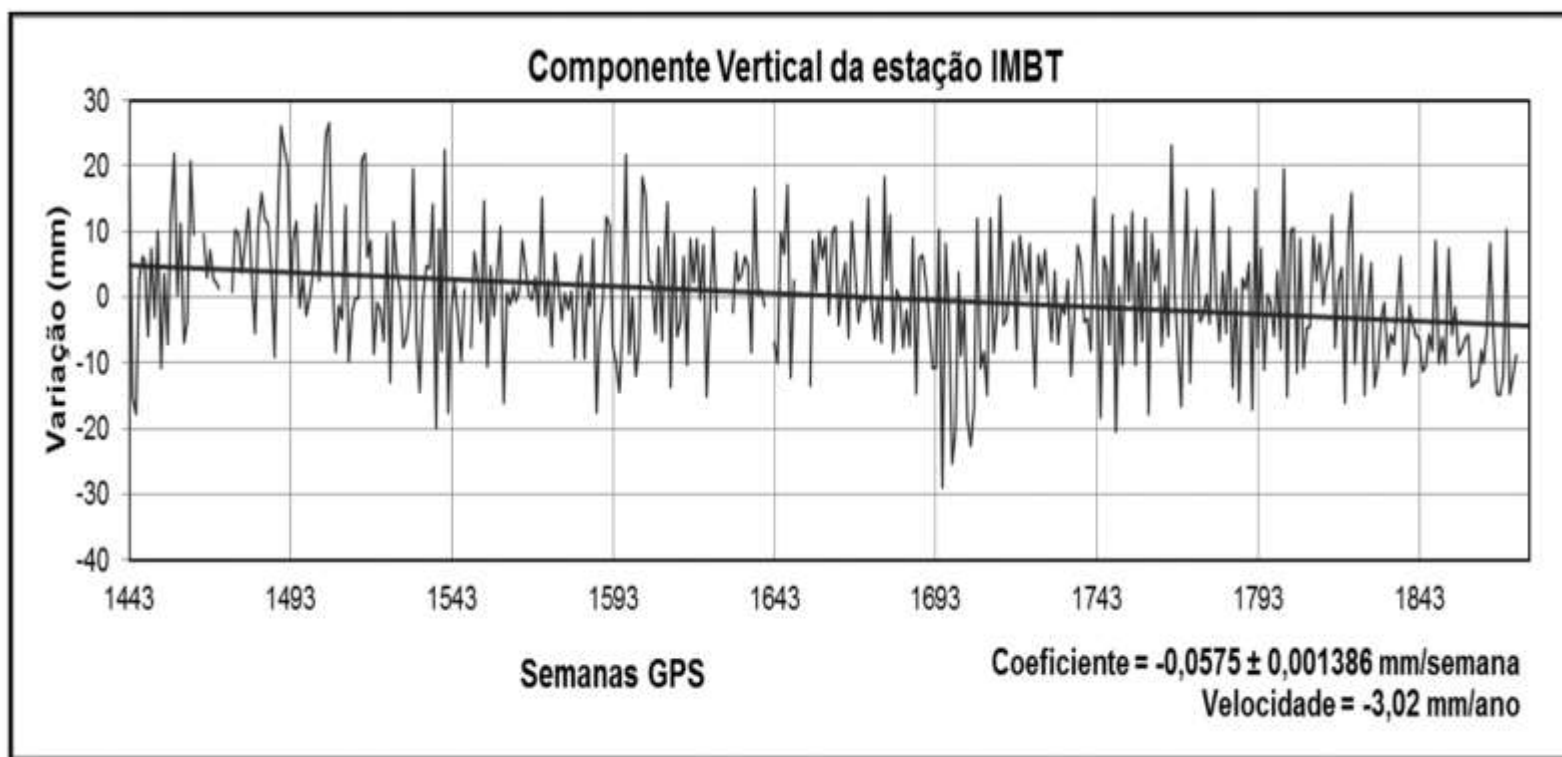
- Realizada a partir do ajustamento do MMQ nas equações normais, as quais estimam coordenadas e velocidades para estações;
- Utilizou-se a solução com a condição de *minimum constraint*, onde as coordenadas foram injuncionadas fracamente.
- **Criação de Séries Temporais**
 - Cada semana processada possuía aproximadamente 2200 arquivos a serem analisados;
 - Foi criado um *script* em *Python* para a leitura dos dados processados que se encontravam nos distintos formatos do Bernese

Comportamento do DVB-I

Velocidades derivadas do VEMOS2009, VEMOS2015 e do processamento para estação IMBT.



Modelo	$V_{Lat}(mm/a)$	$V_{Long}(mm/a)$	$h(mm/a)$	$V_x(mm/a)$	$V_y(mm/a)$	$V_z(mm/a)$
VEMOS2009	12,00	-2,60	-	1,80	-6,00	10,60
VEMOS2015	14,20	-3,80	-3,40	-0,37	-5,30	14,14
Processamento	16,18	-3,87	-3,02	-0,39	-5,69	12,56



Como realizar a integração da séries maregráficas com a série proveniente da altimetria por satélite?

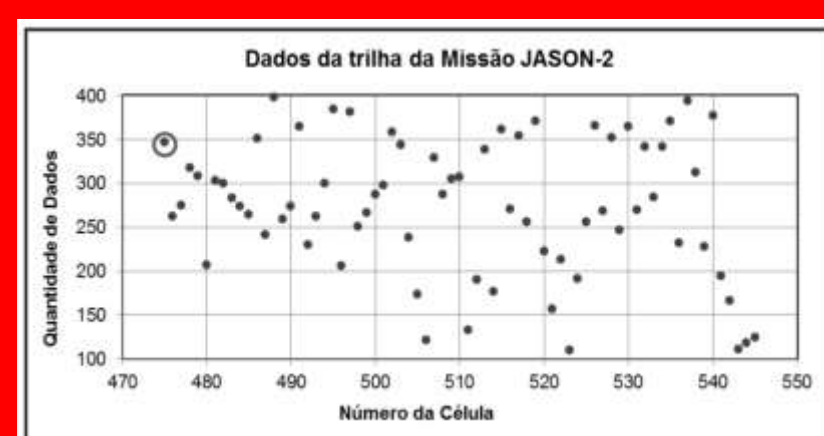
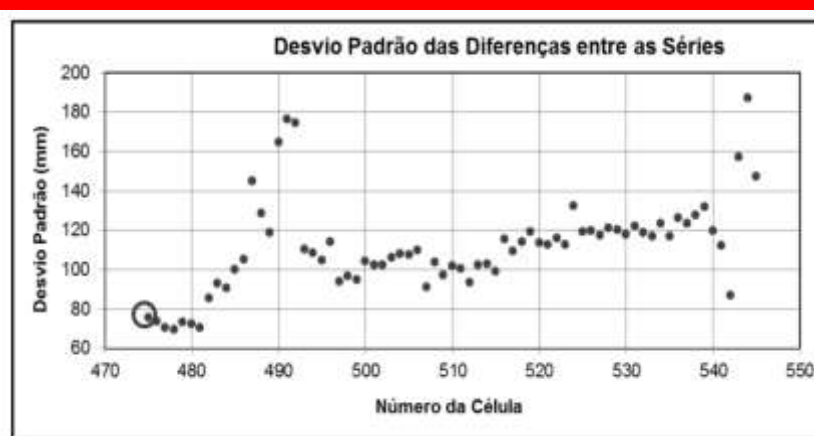
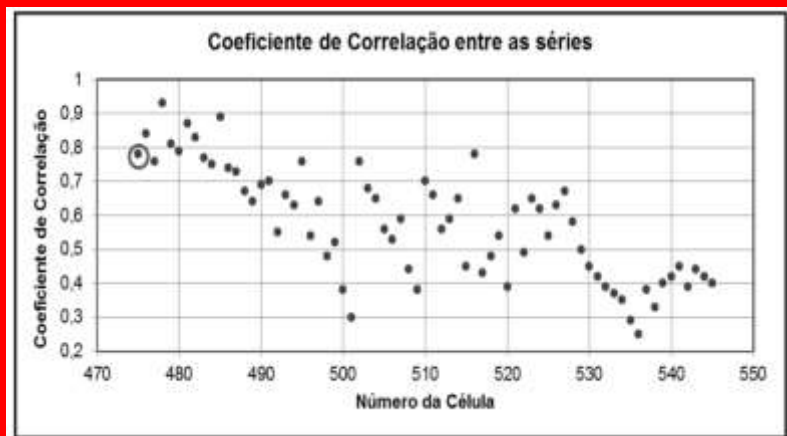
- Reprocessar os dados brutos de altimetria por satélite visando eliminar os efeitos costeiros;
- Trabalhar com distintas missões;
- Extrapolar variações até a costa a partir dos dados provenientes de missões altimétricas.

Como se realizou a comparação dos dados de altimetria por satélite com as observações maregráficas?

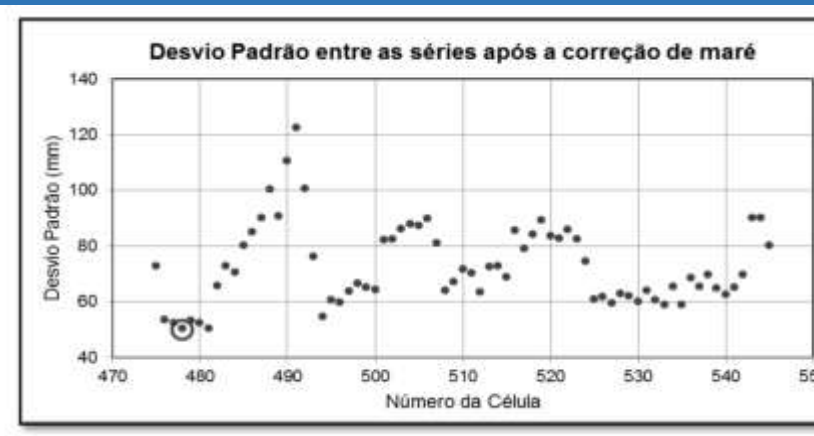
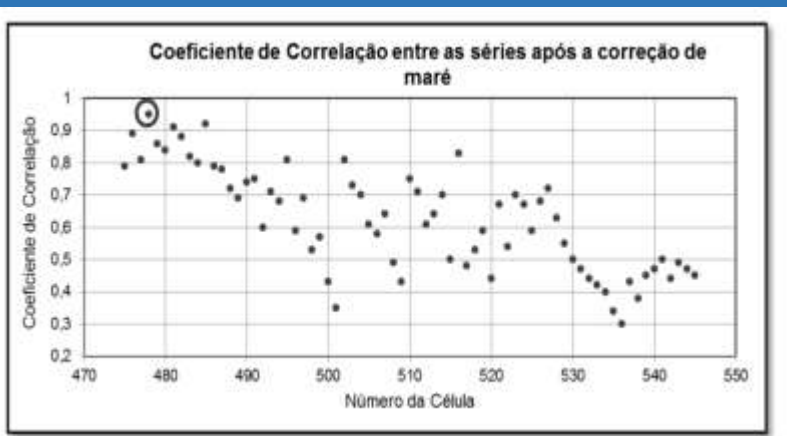
- Os dados da *SSH* utilizados para análise foram considerados dentro do intervalo de *SSHM* $\pm 3\sigma$;
- As 71 células mais próximas do marégrafo, compreende aproximadamente 500 km até a costa;
- Reamostragem das séries maregráficas do NM em Imbituba obtidas da RMPG e UHSLC (horárias) no mesmo instante de tempo das séries *SSH* da altimetria por satélites;
- Interpolação cúbica.

Como se realizou a comparação dos dados de altimetria por satélite?

Antes da Correção



Após a Correção



	Antes da Correção	Após a Correção
Célula	478	478
Coeficiente de correlação	0,93	0,96
Desvio Padrão (mm)	69	50
Distância da Costa (km)	77	77

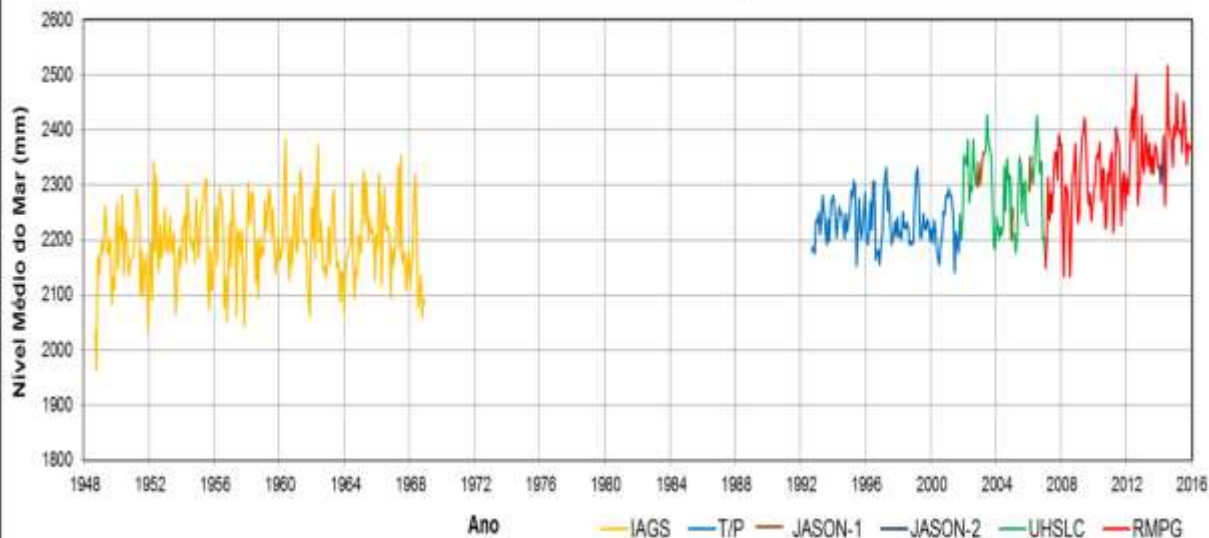
Como se extrapolou os dados de altimetria por satélite?

$$SSH_{CELM I} = a + b(CELM I) + c(CELM I)^2$$

	JASON-2/RMPG	T/P+JASON-1/UHSLC
Coefficiente de correlação	0,88	0,80
Desvio Padrão (mm)	77	79

Como se realizou a integração das séries?

Estimativa do Nível Médio do Mar em Imbituba período de 1948 a 2016



Como se realizou o posicionamento geocêntrico?

$$Tendência_{Marégrafo} + Tendência_{GNSS} - Tendência_{Altimetria} = 0$$

Período	$Tend_{MARÉGRAFO}$ (mm/a)	+	$Tend_{GNSS}$ (mm/a)	-	$Tend_{ALTIMETRO}$ (mm/a)	=	0?	MARÉGRAFO
1993-1996	-				2,13 ⁽¹⁾	-	-	Imbituba
1993-2002 ⁽¹⁾	2,0		-1,6		0,22 ⁽²⁾		0,18	Imbituba
1995-2007 ⁽³⁾	1,78		-0,7		1,24 ⁽³⁾		-0,16	Imbituba
1998-2008 ⁽⁴⁾	3,17		-1,7		1,46 ⁽⁴⁾		0,01	Imbituba
2001-2009 ⁽⁵⁾	3,98		-2,2		1,67 ⁽⁵⁾		0,11	Imbituba
2002-2012 ⁽⁶⁾	4,16		-2,5		1,6 ⁽⁶⁾		0,06	Imbituba
2008-2015 ⁽⁷⁾	4,67		-2,56		2,15 ⁽⁷⁾		-0,04	Imbituba
1993-2015 ⁽⁸⁾	6,90		-3,02		2,94 ⁽⁸⁾		0,94	Imbituba
2007-2016 ⁽⁹⁾	5,26		-3,02		2,23 ⁽⁹⁾		0,01	Imbituba

⁽¹⁾ Missão ERS-1

⁽²⁾ Missão T/P

⁽³⁾ Missão ERS-2

⁽⁴⁾ Missão GFO

⁽⁵⁾ Missão JASON-1

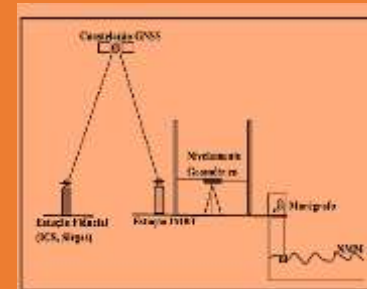
⁽⁶⁾ Missão ENVISAT-1

⁽⁷⁾ JASON-2

⁽⁸⁾ JASON-1 e JASON-2

⁽⁹⁾ Observações da UHSLC

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO



- A evolução temporal do DVB-I foi modelada a partir de longas séries temporais (mais de 5 anos);
- Foi evidenciado uma taxa de elevação de $+ 2,24 \text{ mm/ano} \pm 0,4 \text{ mm/ano}$ na região do *Datum*;
- Este valor está em concordância com informações globais de elevação do nível médio do mar;
- Ficou evidenciada a evolução do NMM na região do DVB-I

PARA FAZER FUTURAMENTE

- Levar em conta as soluções do PVCG realizadas no DVB-I pelo LARAS em associação com as tendências evidenciadas neste trabalho para sua efetiva integração ao IHRS.

Obrigada pela atenção!

*“Mesmo que encontrar a
perfeição das coisas seja
impossível, não é
impossível continuar a
buscá-la.”*



lumasilva15@gmail.com

<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/47347/R%20-%20T%20-%20LUCIANA%20MARIA%20DA%20SILVA%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>