



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

Avaliação Preliminar da Técnica de PPP em Tempo Real usando Efemérides IGS Referidas a SIRGAS2000

Renan Rodrigues da Motta
Luiz Paulo Souto Fortes

Simpósio SIRGAS 2017

Mendoza, 27 a 30 de novembro de 2017



Sumário

- Introdução
- PPP em tempo real
- Metodologia utilizada
- Resultados PPP
- Conclusões

Introdução

- Evolução tecnológica (*smartphones*) \Rightarrow Posicionamento por Ponto Simples largamente utilizado
 - Alcance de acurácias máximas de $\sim 9\text{m}$ (horizontal) e $\sim 15\text{m}$ (vertical), 95% do tempo (em navegação com GPS)



(fonte: Internet)

Introdução

- Evolução tecnológica (*smartphones*) \Rightarrow Posicionamento por Ponto Simples largamente utilizado
 - Alcance de acurácias máximas de $\sim 9\text{m}$ (horizontal) e $\sim 15\text{m}$ (vertical), 95% do tempo (em navegação com GPS)



(fonte: Internet)

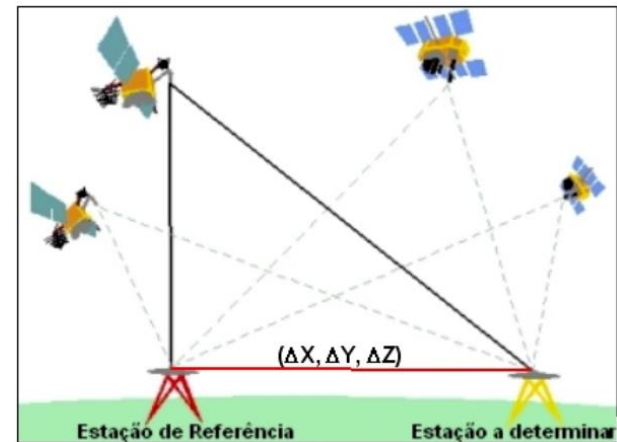
Introdução

- Usuários profissionais necessitam de melhores acurácias...

cada vez mais em tempo real !

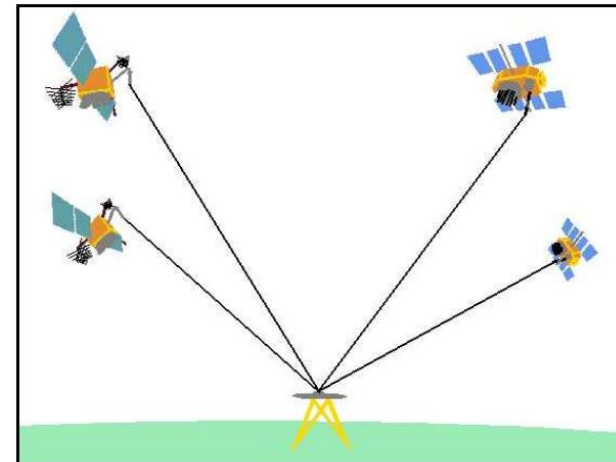
- Posicionamento relativo

- uso de **estação-base** para anular erros de relógio e reduzir erros de órbita e de refração troposférica/ionosférica
- **DGNSS (pseudodistancia) ou RTK (fase da onda portadora)**



- Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

- sem estação-base mas com **efemérides precisas e correções aos relógios dos satélites (IGS)**
- **PPP em tempo real (RTPPP) (pseudodistancia e fase da onda portadora)**

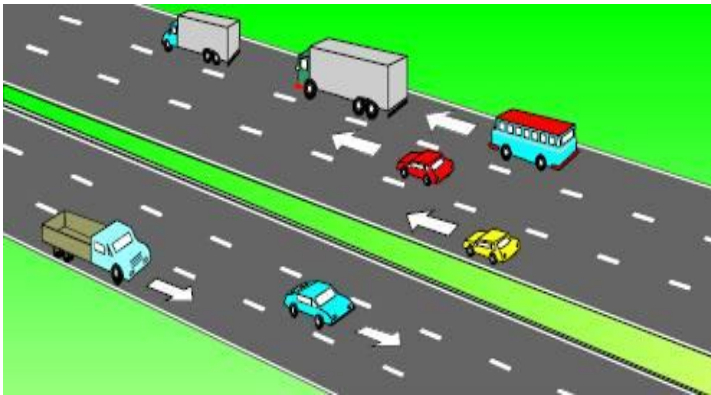


(fonte: IBGE, 2008)

PPP em Tempo Real

- Aplicações

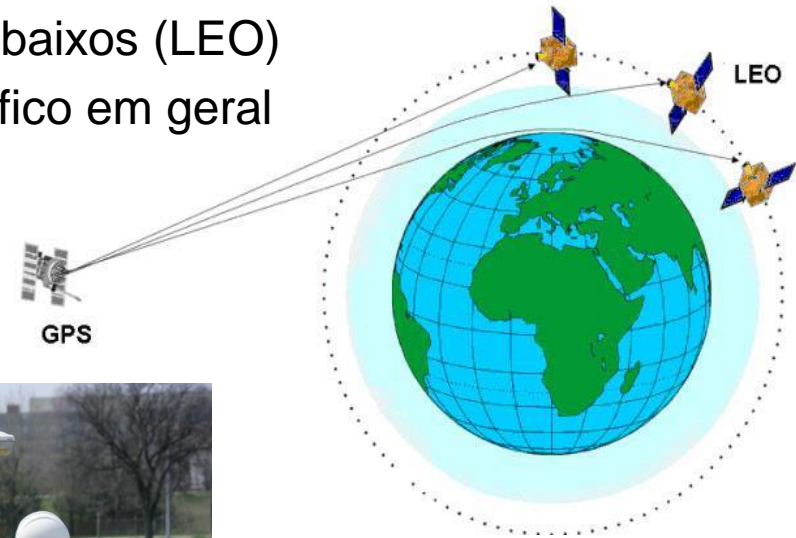
- Navegação com precisão decimétrica
- Determinação de órbitas de satélites baixos (LEO)
- Posicionamento geodésico e topográfico em geral



(fonte: STV Engenharia)



(fonte: Ohio DoT)



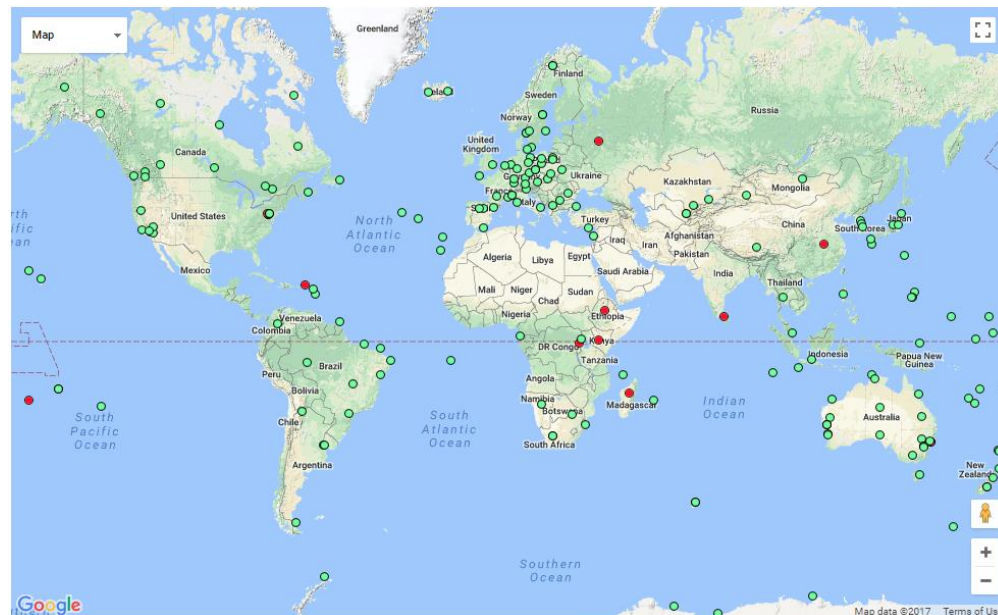
(fonte: NewScientist)



(fonte: Triggs)

PPP em Tempo Real

- Necessidade de efemérides precisas e correções aos relógios dos satélites transmitidas em tempo real
- Disponibilizadas pelo Serviço em Tempo Real (RTS) do IGS
 - Rede global com ~180 estações, sendo 13 na América Latina
 - 10 Centros de Análise
 - 3 Centros de Combinação
 - *European Space Agency's Space Operations Centre in Darmstadt, Germany (ESA/ESOC)*
 - *German Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG)*
 - *Natural Resources Canada (NRCan)*
 - 2 Centros de Distribuição
 - *IGS Central Bureau*
 - *BKG*



(fonte: www.igs.org/rts)



PPP em Tempo Real

- **Produtos** gerados pelo RTS do IGS para a Internet
 - Fluxos de **correções às órbitas transmitidas** e aos relógios dos satélites GPS e GLONASS
 - Fluxos de **órbitas transmitidas** dos satélites GPS e GLONASS
 - Formato RTCMv3 via protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*)
 - Os fluxos se referem à época da coleta das observações
 - Fluxos globais se referem atualmente ao **ITRF2014**
 - Fluxos referidos a Marcos de Referência Regionais também são gerados: ETRF2000, GDA94, NAD83, **SIRGAS95**, **SIRGAS2000**, ...
 - Uso destes fluxos em posicionamentos PPP em tempo real já fornece coordenadas referidas ao Marco de Referência Regional!
 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) retransmite fluxos referidos ao SIRGAS2000
- https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ppp_tempo_real.shtm



PPP em Tempo Real

- **IBGE** retransmite fluxos referidos ao **SIRGAS2000** através de servidor *NTRIP Caster*
 - Necessário registro no serviço para acesso aos fluxos:
<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cadastro/>
 - Fluxos são acessados através do IP **186.228.51.52** porta **2101**

Identificação ou Mountpoint	Sistema de Referência	GNSS	Descrição
IGS03	ITRF2014	GPS+GLONASS	Correções às órbitas e relógios
SIRGAS200001	SIRGAS2000	GPS	Correções às órbitas e relógios
SIRGAS200002	SIRGAS2000	GPS+GLONASS	Correções às órbitas e relógios
RTCM3EPH	ITRF2014	GPS+GLONASS	Órbitas transmitidas

Metodologia

- Estação ocupada no experimento
 - Estação Geodésica 93625
 - Situada na laje do edifício da [Coordenação de Geodésia do IBGE](#) em Parada de Lucas, no Rio de Janeiro
 - Distante [5 m](#) da estação da RBMC [RIOD](#)



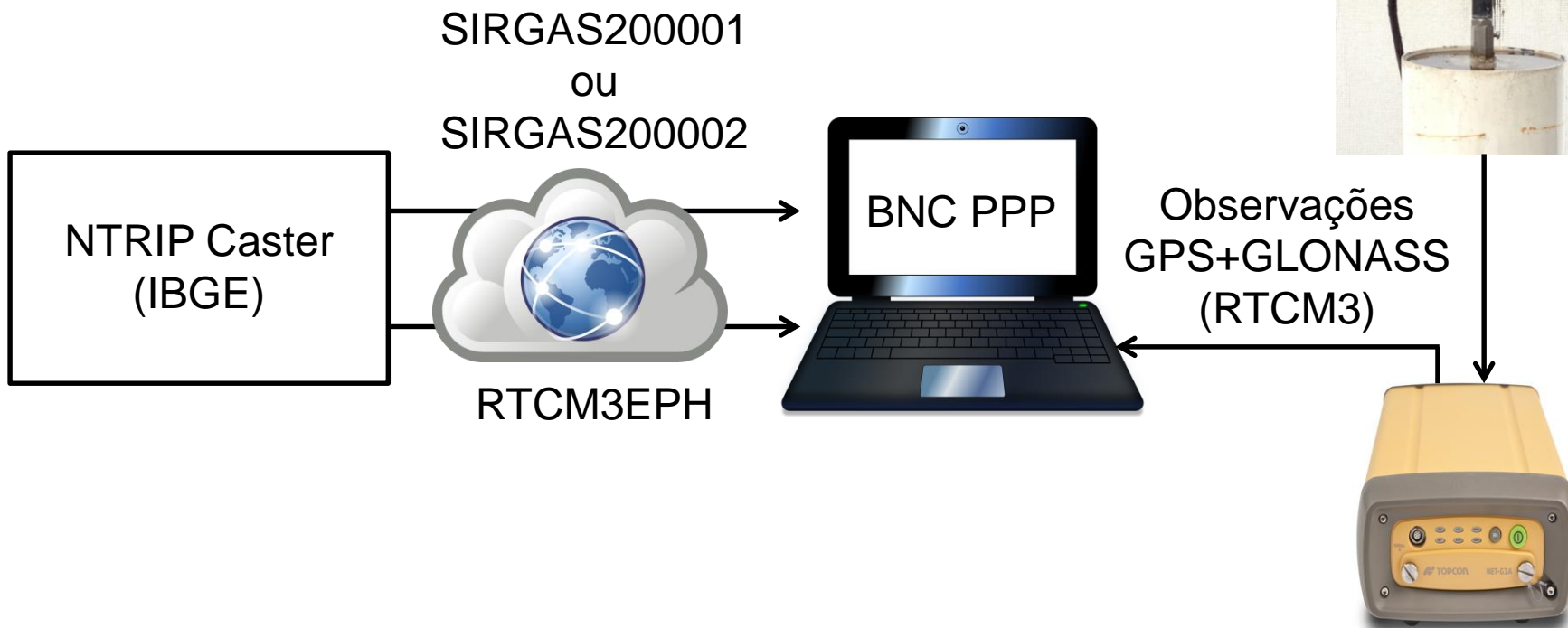
(fonte: Google Earth)



(fonte: Fortes, 2015)

Metodologia

- **Configuração** utilizada para realizar o PPP em Tempo Real
 - Receptor/Antena GNSS geodésicos
 - Computador conectado à Internet rodando software **BKG NTRIP Client (BNC) 2.11.2**





Metodologia

- Configuração dos fluxos de órbitas e relógios dos satélites no BNC para o processamento do PPP em Tempo Real

The screenshot shows the BKG Ntrip Client (BNC) Version 2.11.2 interface. The main window is titled "BKG Ntrip Client (BNC) Version 2.11.2" and has a menu bar with "File" and "Help". Below the menu bar is a tabbed interface with tabs for "RINEX Editing & QC", "Broadcast Corrections", "Feed Engine", "Serial Output", "Outages", "Miscellaneous", "PPP (1)", and "PPP (2)". The "PPP (1)" tab is active, showing the "Precise Point Positioning, Panel 2" configuration screen.

The configuration screen is divided into several sections:

- Antennas:** A text field contains "F:/Projeto/igs08_1888.atx" and a button with three dots. To the right, "ANTEX File" is set to "TPSG3_A1" and "Antenna Name" is set to "NONE".
- Basics:** Four checkboxes are checked: "Use phase obs", "Estimate tropo", and "Use GLONASS". "Use Galileo" is unchecked.
- Basics cont'd:** Four text fields: "Sync Corr (sec)", "Averaging (min)", "Quick-Start (sec)", and "Max Sol. Gap (sec)".
- Basics cont'd:** A text field for "Audio response (m)".
- Sigmas:** Text fields for "10.0", "Code", "0.02", and "Phase".
- Sigmas cont'd:** Text fields for "100.0", "XYZ Init", "100.0", "XYZ White Noise", "0.1", "Tropo Init", and "3e-6", "Tropo White Noise".

Below the configuration fields is a table showing the status of streams:

	Streams: resource loader / mountpoint	decoder	lat	long	nmea	ntrip	bytes
1	<u>186.228.51.52:2101/RTCM3EPH</u>	RTCM_3	50.09	8.66	no	1	0 byte(s)
2	<u>186.228.51.52:2101/SIRGAS200002</u>	RTCM_3.0	50.00	10.00	no	1	0 byte(s)
3	<u>COM1-8-NONE-1-OFF-115200/TOPCON</u>	RTCM_3	-22.8	-43.3	no	S	0 byte(s)

At the bottom of the window, there is a "Log" section with tabs for "Throughput", "Latency", and "PPP Plot". The "Throughput" tab is selected, but the log area is empty. At the very bottom, there are buttons for "Add Stream", "Delete Stream", "Map", "Start", and "Stop", along with a "Help ?=Shift+F1" button.



Metodologia

- Sessões de observação
 - 5 sessões por dia para avaliar a performance do RTPPP, incluindo a convergência dos seus resultados, em períodos do dia sujeitos a diferentes condições atmosféricas

Sessões (hora local)	30/05/2016	01/06/2016
08:00→10:00	GPS+GLONASS	GPS
10:00→12:00	GPS+GLONASS	GPS
12:00→14:00	GPS+GLONASS	GPS
14:00→16:00	GPS+GLONASS	GPS
16:00→18:00	GPS+GLONASS	GPS

- Dupla frequência (L1 e L2)
- Processamento em Modo cinemático
- Arquivos RINEX de observação gravados pelo receptor para comparação do PPP em Tempo Real com solução PPP pós-processada usando o serviço IBGE-PPP

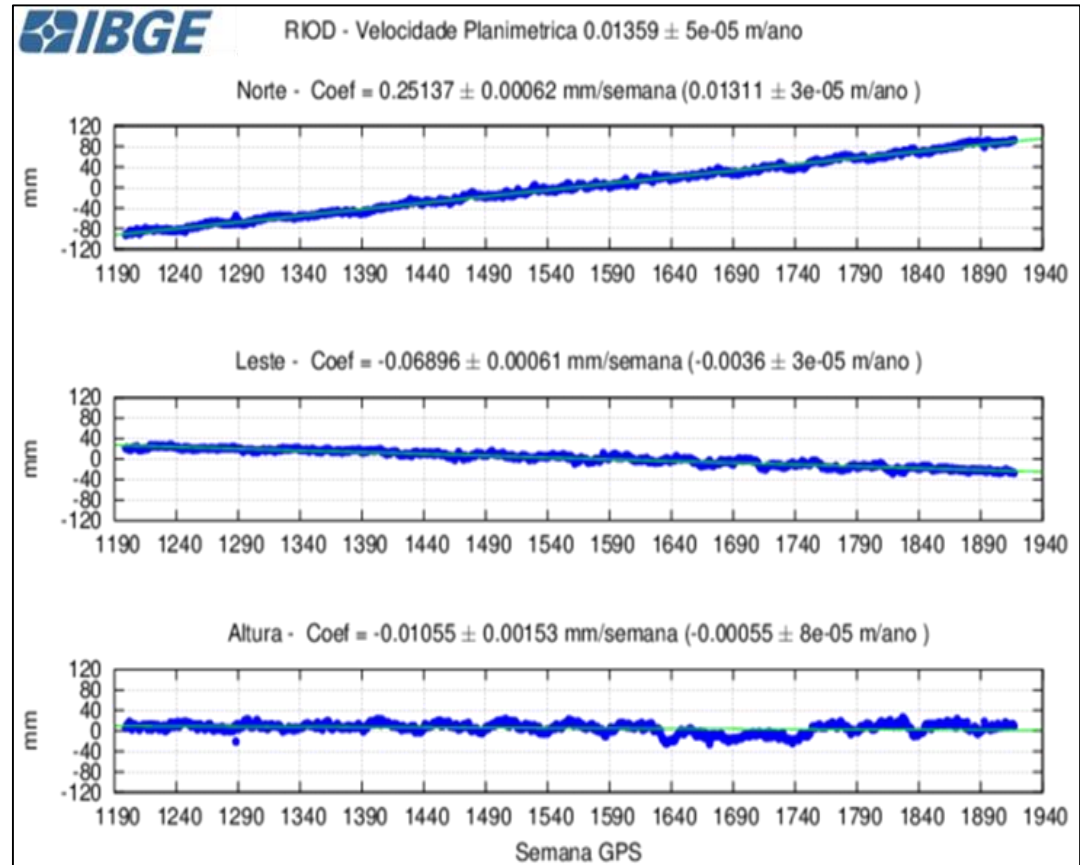
Metodologia

- Coordenadas da Estação Geodésica 93625

- Referidas a SIRGAS2000, época 2000,4; $\sigma_\varphi=1$ mm, $\sigma_\lambda=1$ mm, $\sigma_h=6$ mm
- Necessidade de atualização para a época do levantamento (2016,4)

$$\begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{pmatrix}_{2016,4} = \begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{pmatrix}_{2000,4} + \Delta t \times \begin{pmatrix} v_\varphi \\ v_\lambda \\ v_h \end{pmatrix}$$

- Utilizadas as velocidades v_φ , v_λ , e v_h da estação **RIOD**, situada a 5 m de distância, na mesma laje do edifício



(fonte: [https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas_proc/series temporais_estacoes.php](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas_proc/series_temporais_estacoes.php))



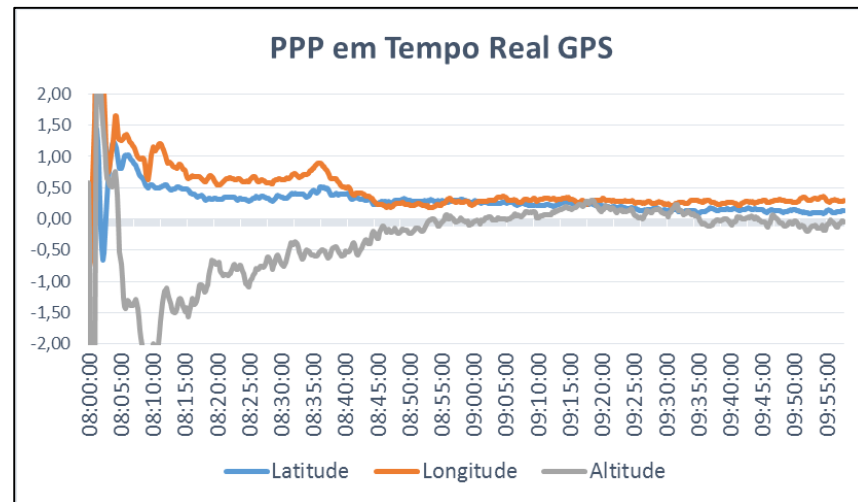
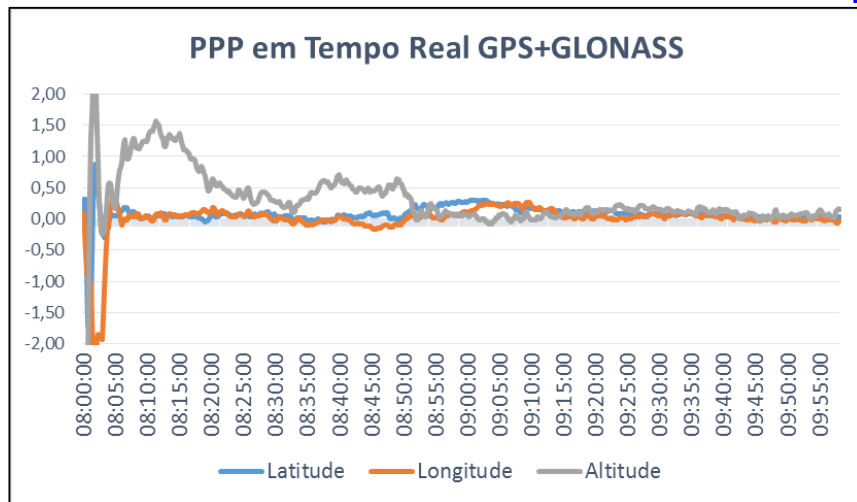
Resultados PPP

Sessões 08:00→10:00

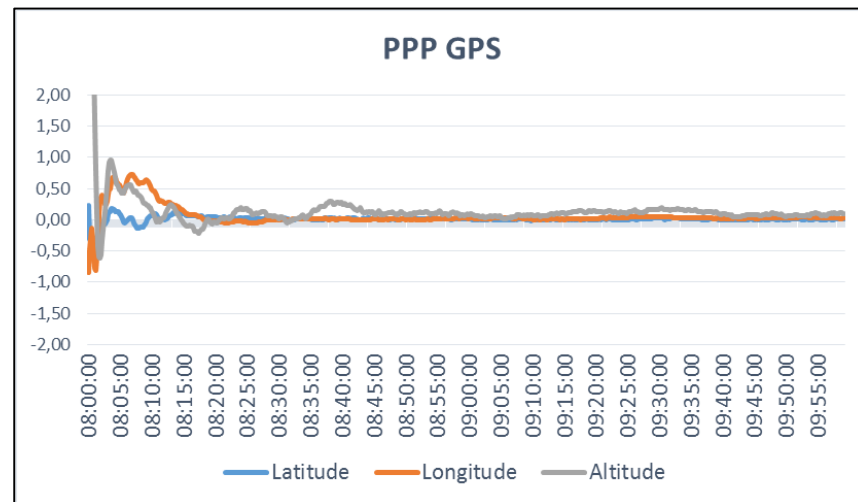
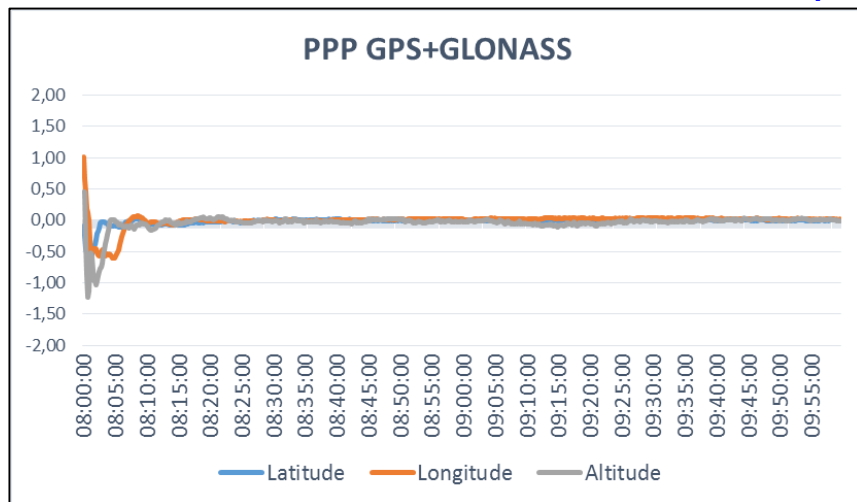
30/05/2016

Tempo Real

01/06/2016



Pós-processado



Diferenças entre soluções PPP e coordenadas de referência em metros



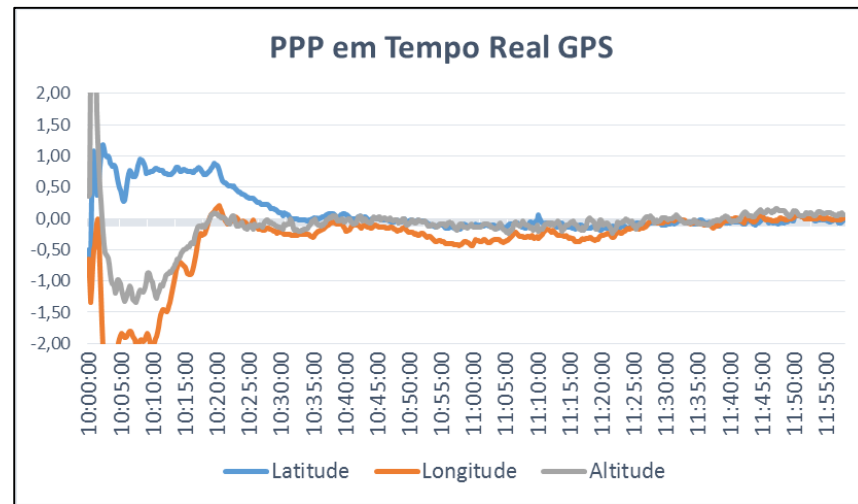
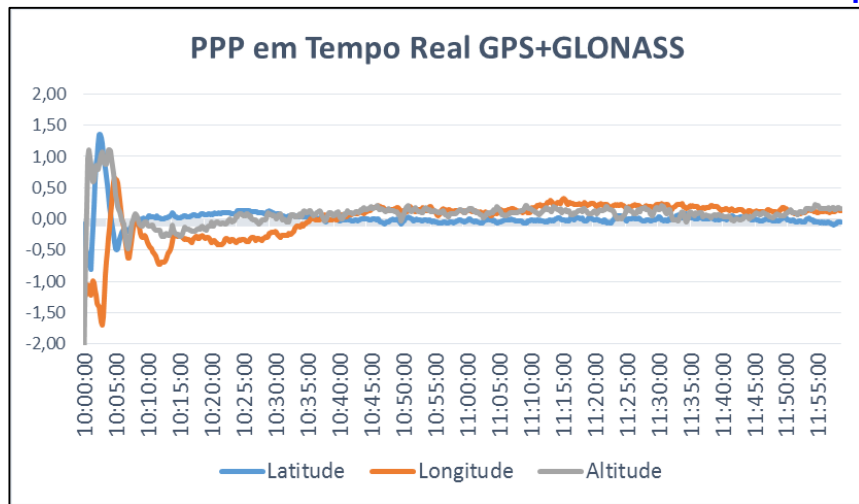
Resultados PPP

Sessões 10:00→12:00

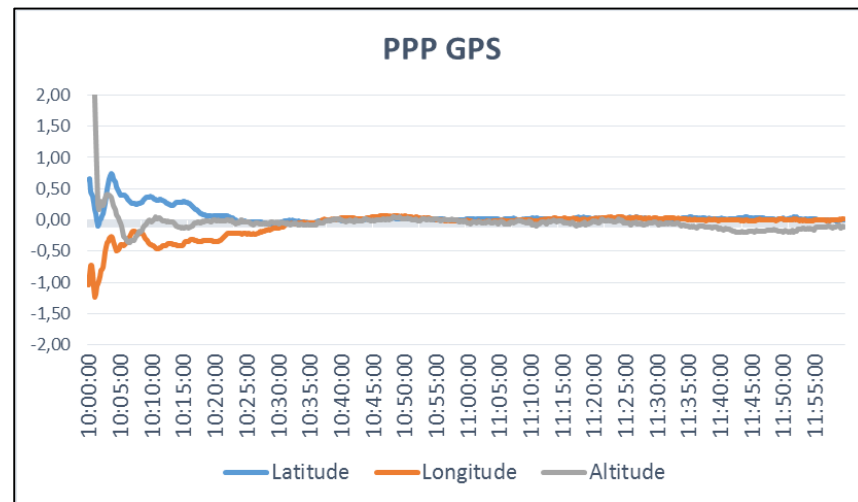
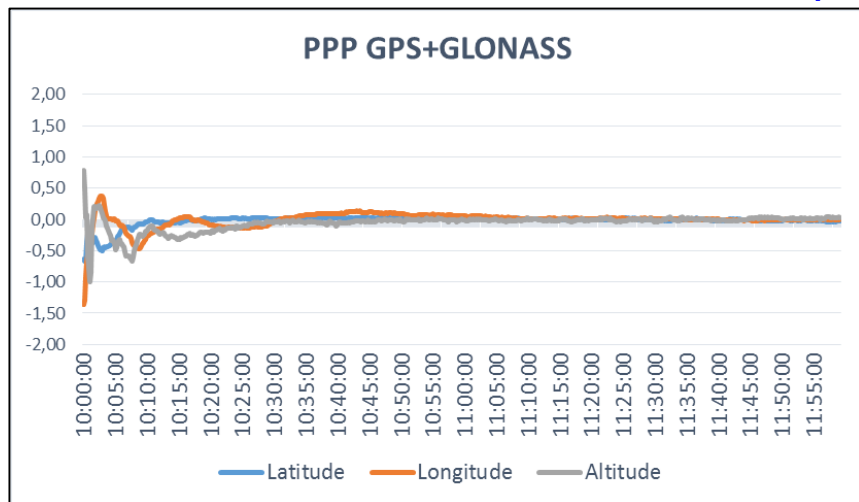
30/05/2016

Tempo Real

01/06/2016



Pós-processado



Diferenças entre soluções PPP e coordenadas de referência em metros



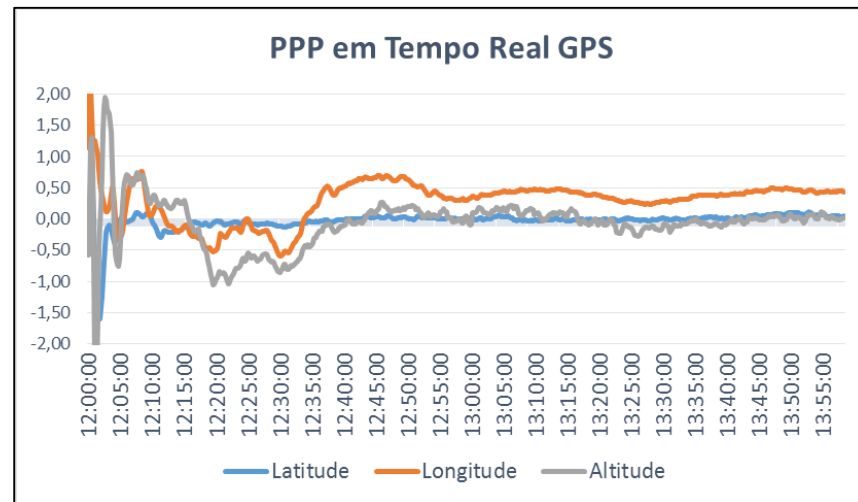
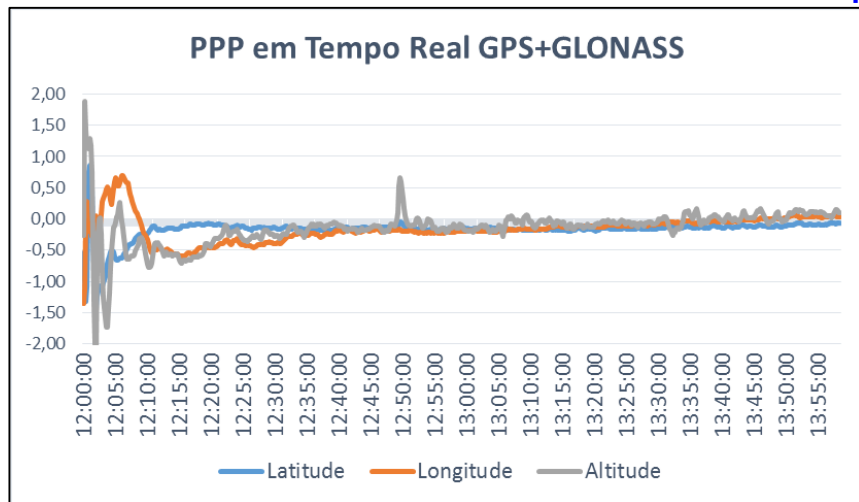
Resultados PPP

Sessões 12:00→14:00

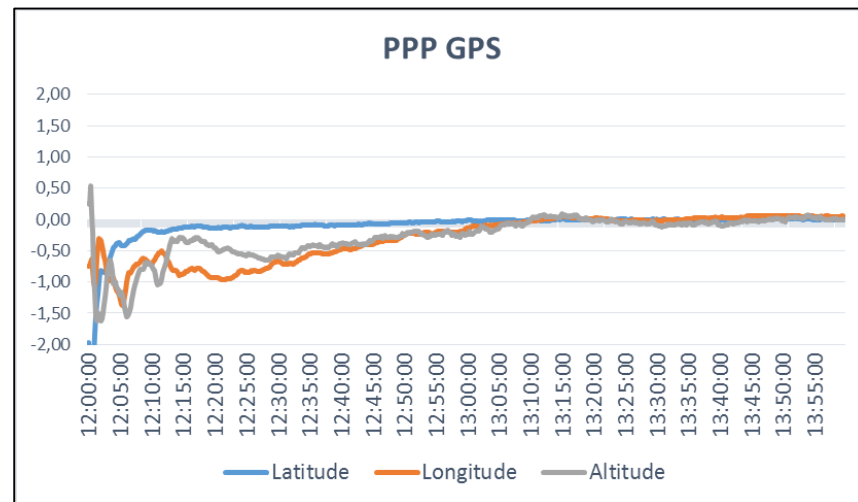
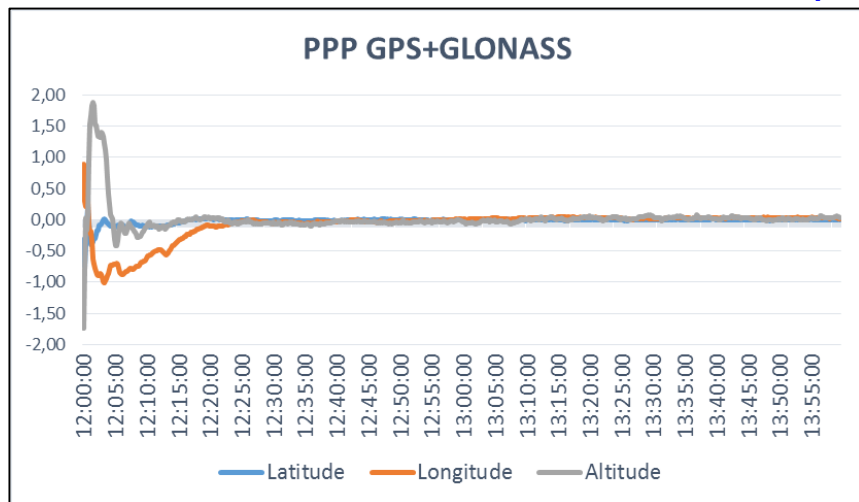
30/05/2016

Tempo Real

01/06/2016



Pós-processado



Diferenças entre soluções PPP e coordenadas de referência em metros



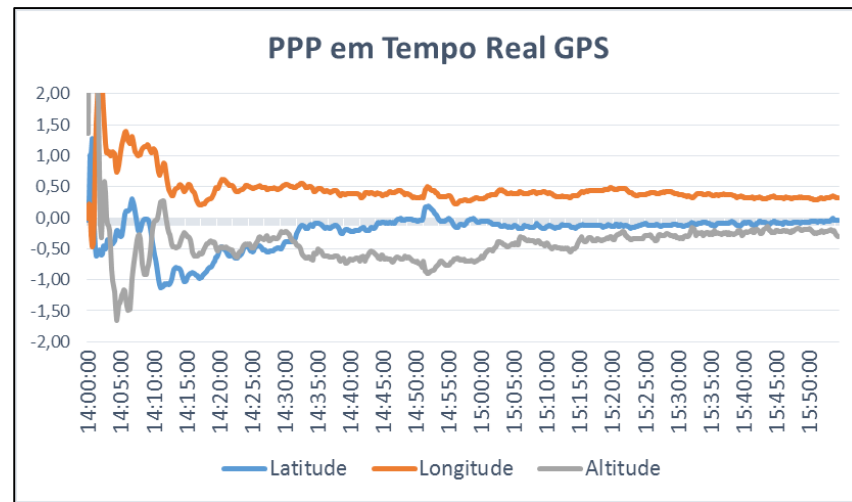
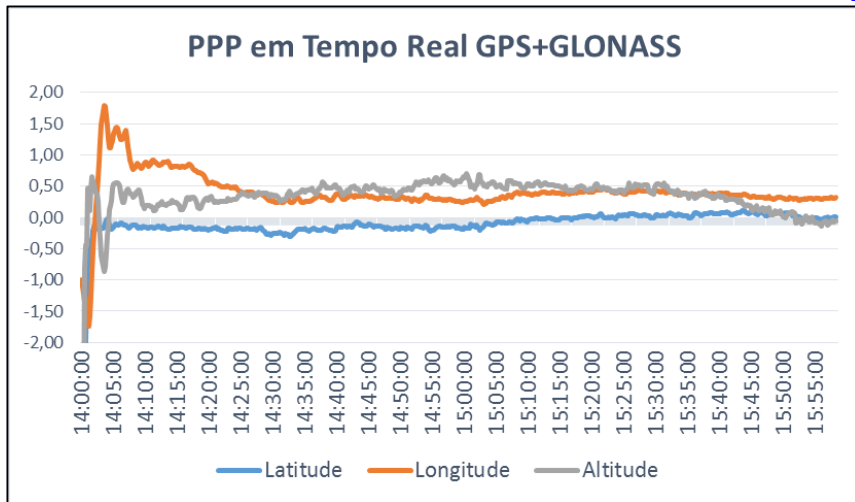
Resultados PPP

Sessões 14:00→16:00

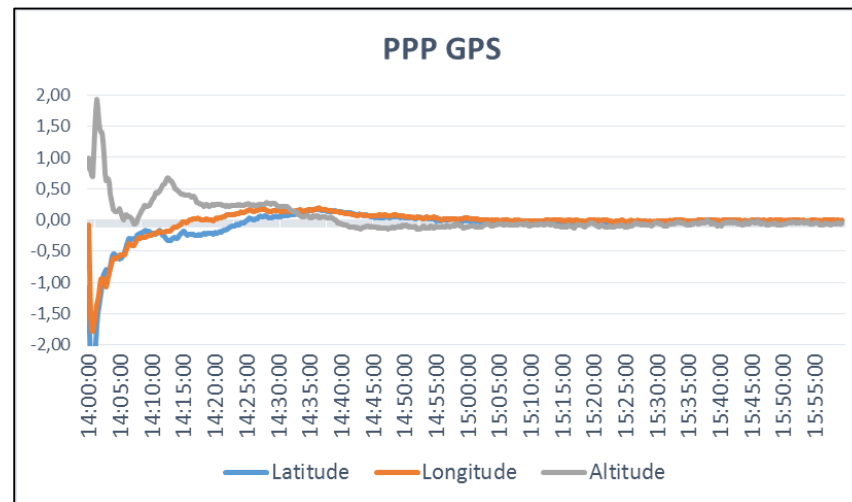
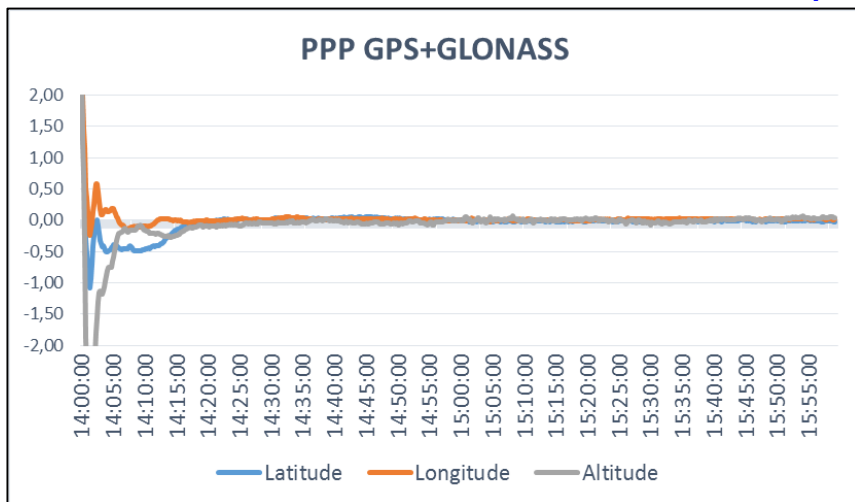
30/05/2016

Tempo Real

01/06/2016



Pós-processado



Diferenças entre soluções PPP e coordenadas de referência em metros



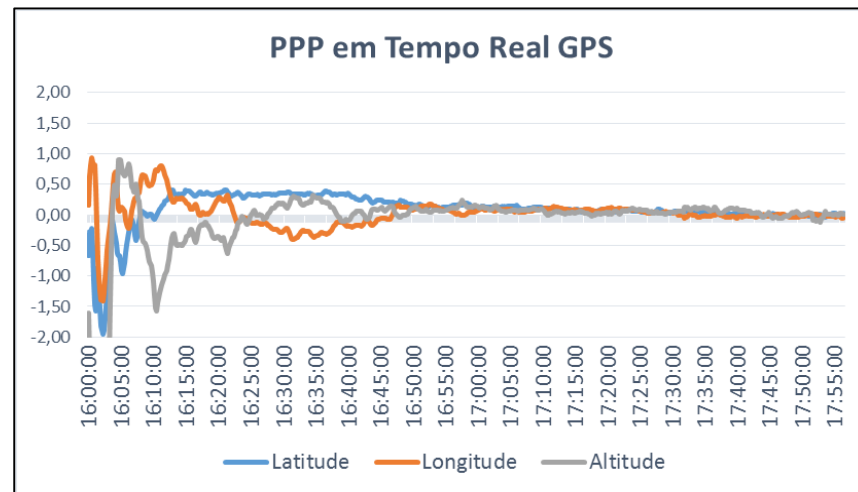
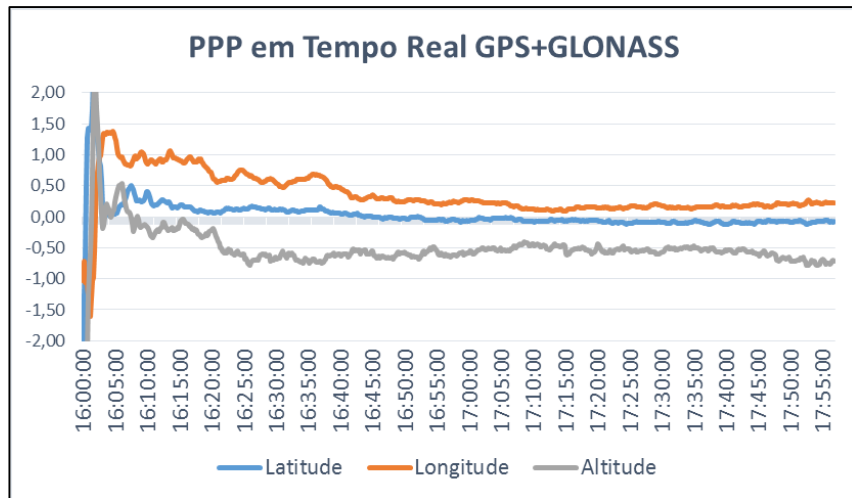
Resultados PPP

Sessões 16:00→18:00

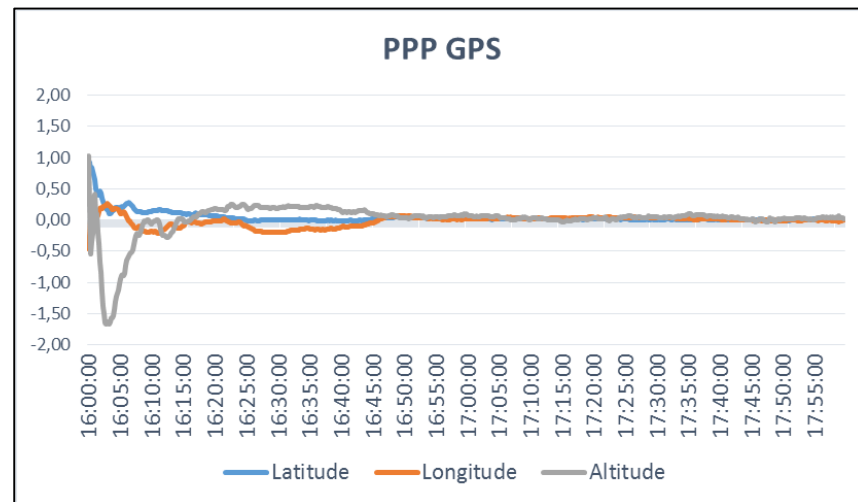
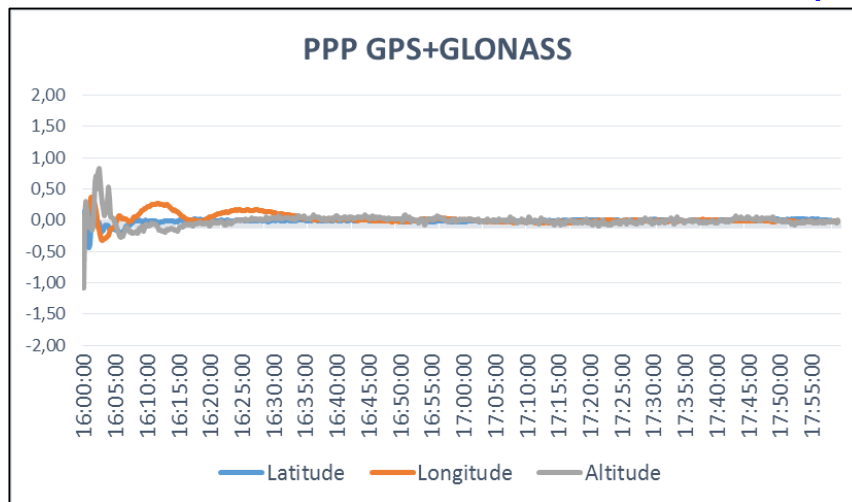
30/05/2016

Tempo Real

01/06/2016



Pós-processado



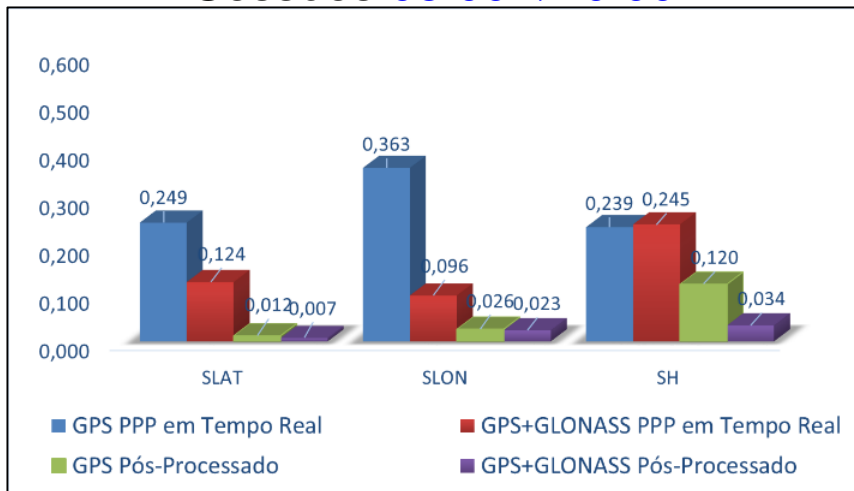
Diferenças entre soluções PPP e coordenadas de referência em metros



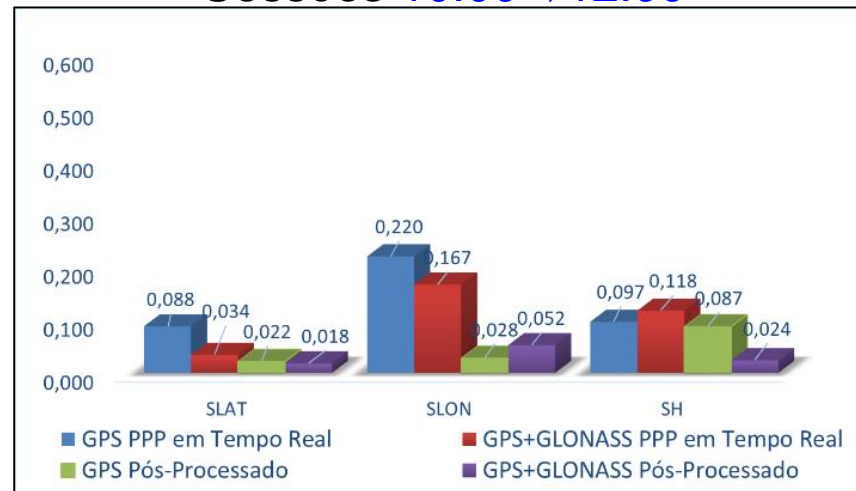
Resultados PPP

- RMS (em metros) após período de convergência (30 min)

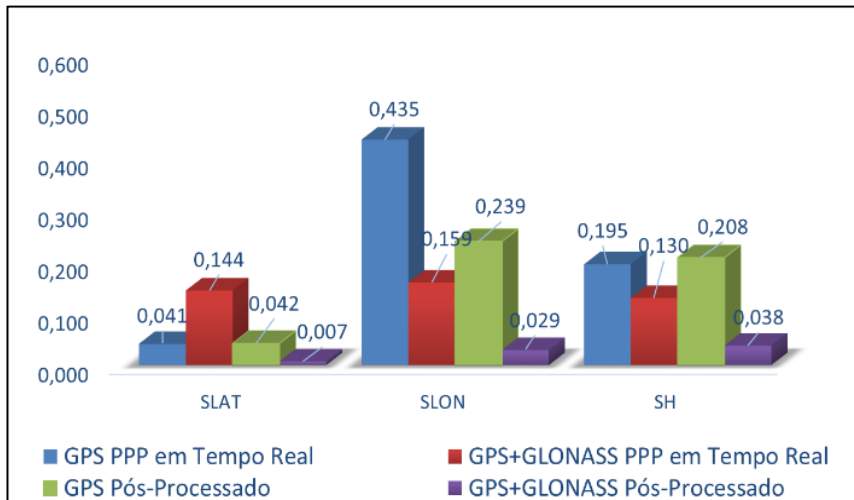
Sessões 08:00→10:00



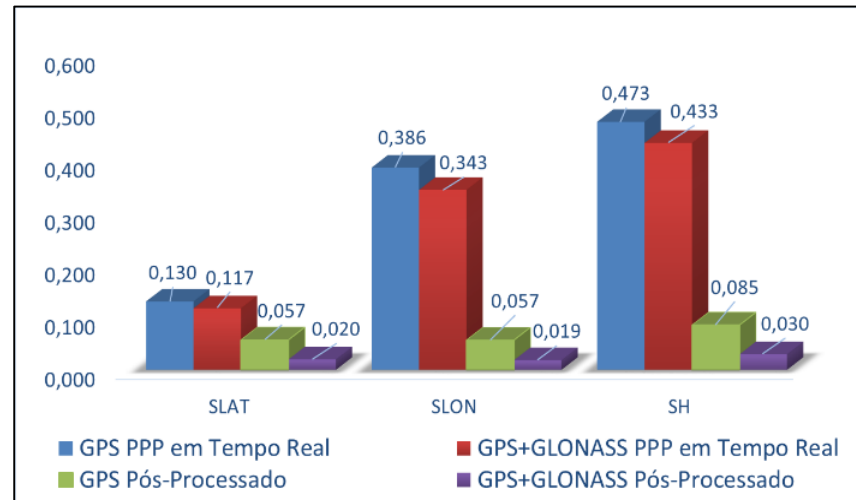
Sessões 10:00→12:00



Sessões 12:00→14:00



Sessões 14:00→16:00

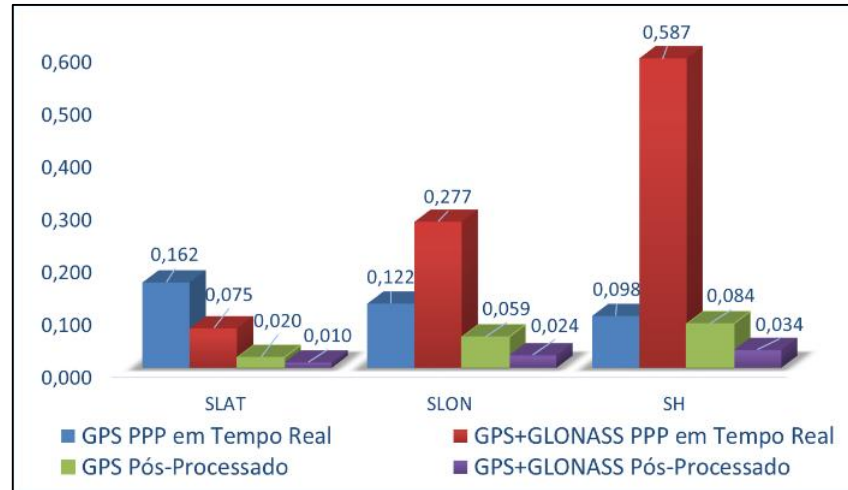




Resultados PPP

RMS (em metros) após período de convergência (30 min)

Sessões 16:00→18:00



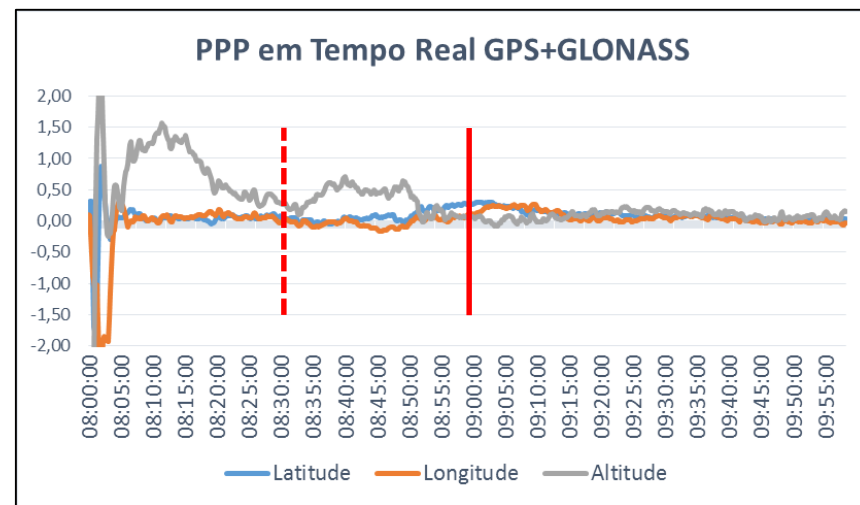
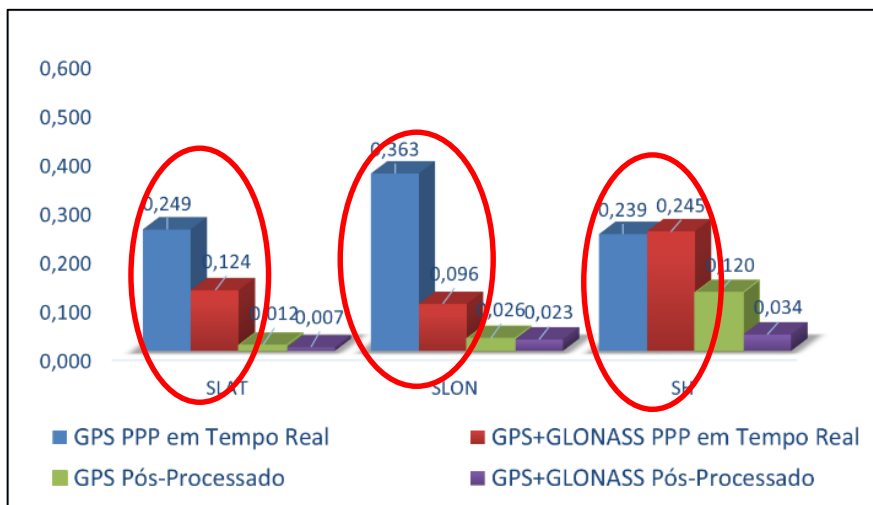
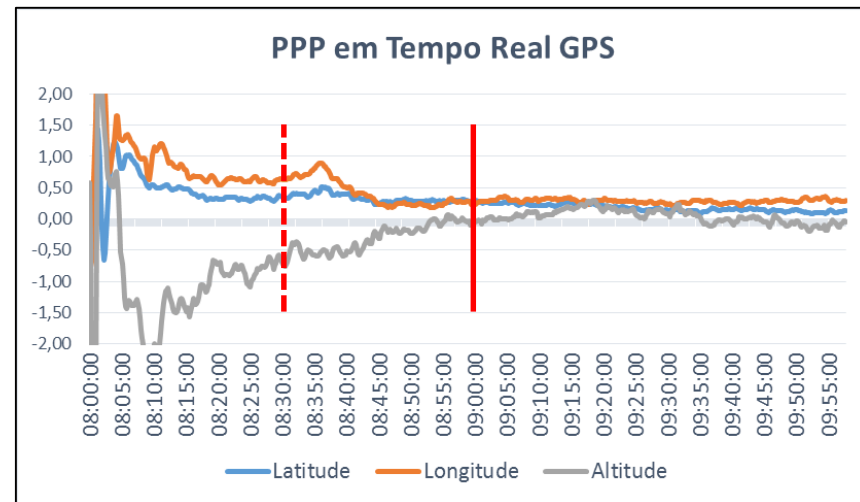


Análise dos Resultados

$$RMS_{IBGE-PPP(GPS+GLO)} < RMS_{IBGE-PPP(GPS)} < RMS_{RTPPP(GPS+GLO)} < RMS_{RTPPP(GPS)} ?$$

Sessões 08:00→10:00

Tempo de convergência do PPP em Tempo Real ~60 min



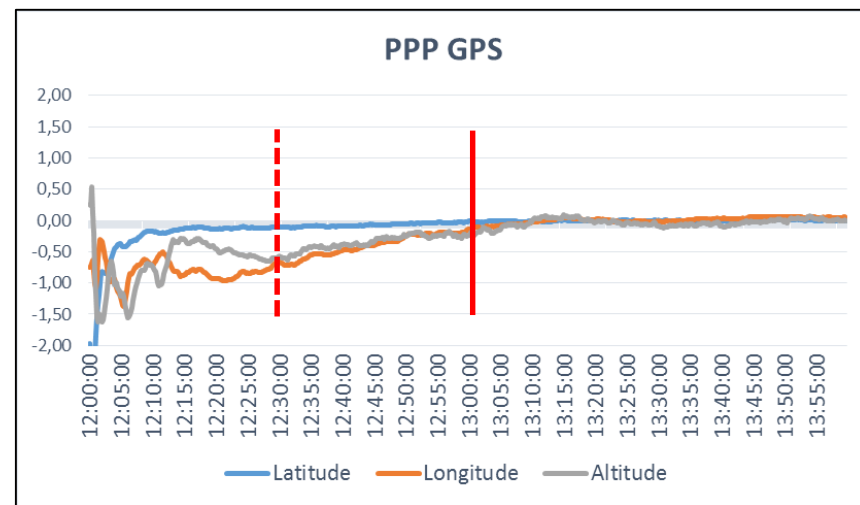
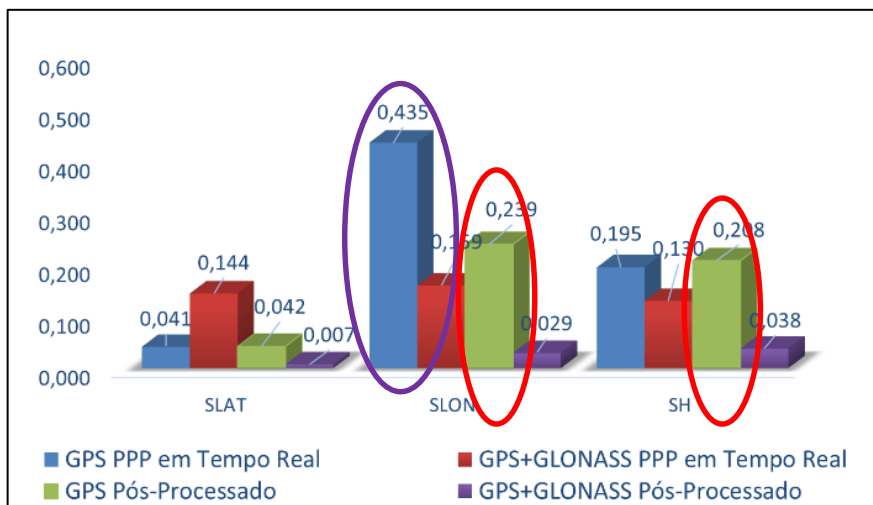
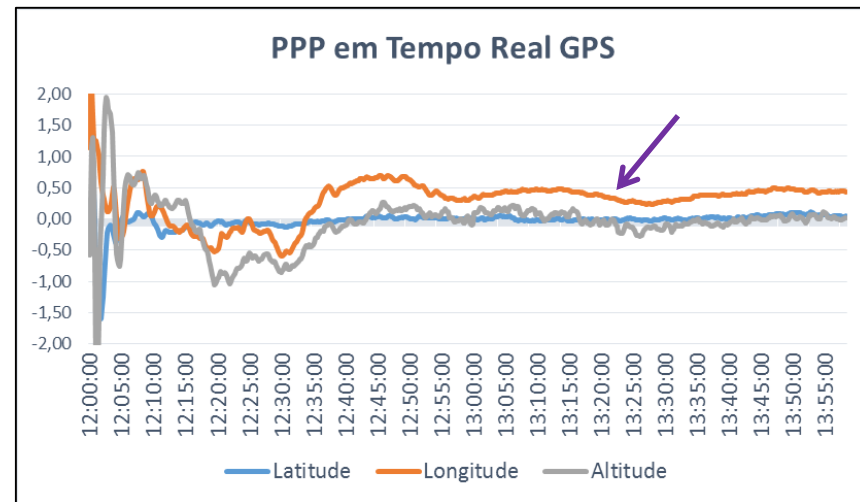


Análise dos Resultados

Sessões 12:00→14:00

Diferenças em longitude com comportamento **sistemático** no PPP em Tempo Real com GPS

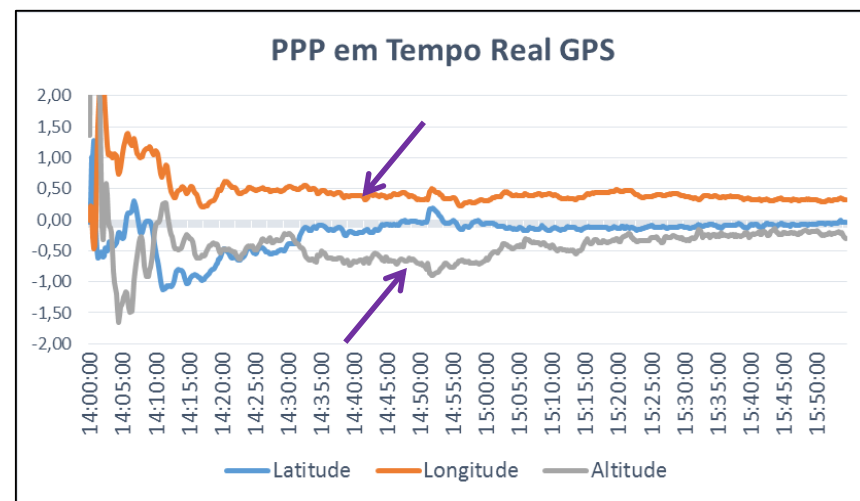
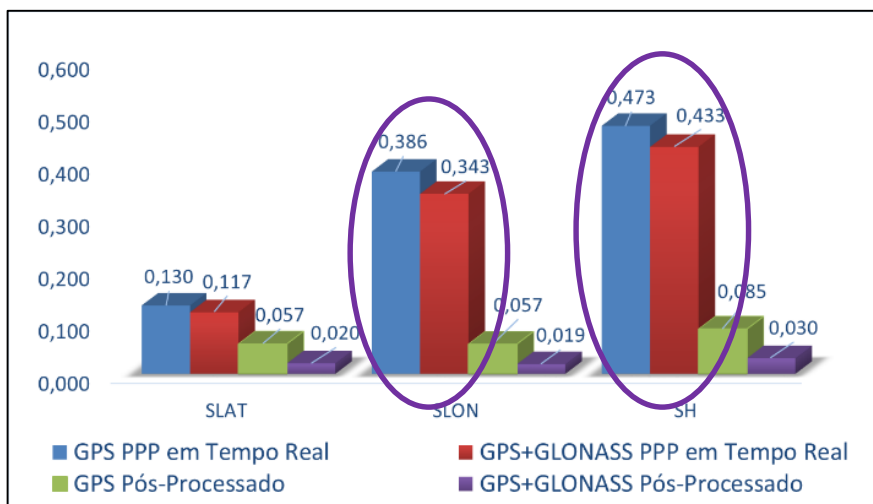
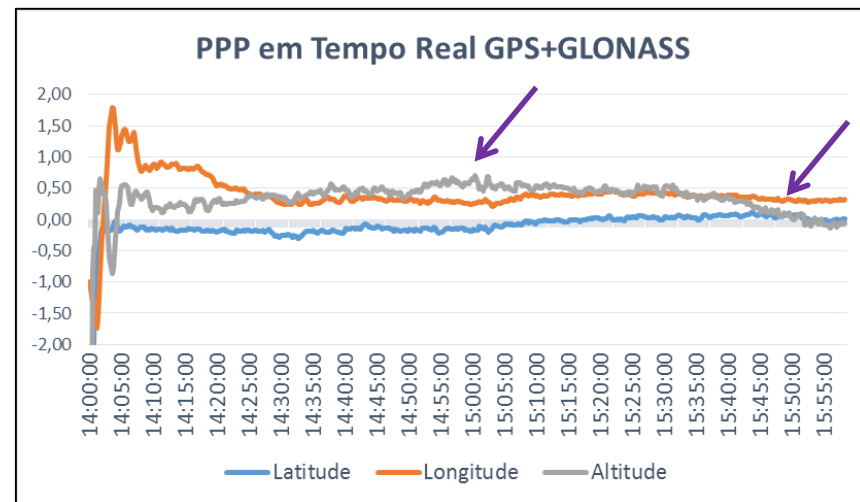
Tempo de convergência do IBGE-PPP com GPS **~60 min**



Análise dos Resultados

Sessões 14:00→16:00

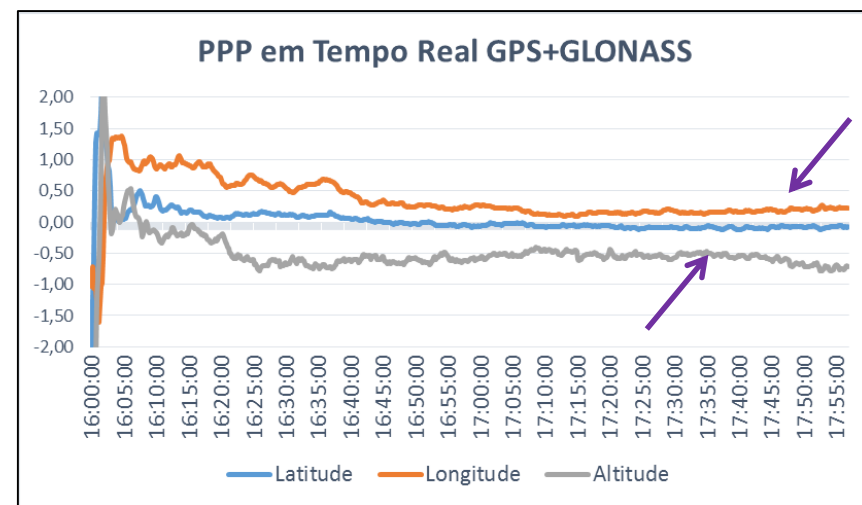
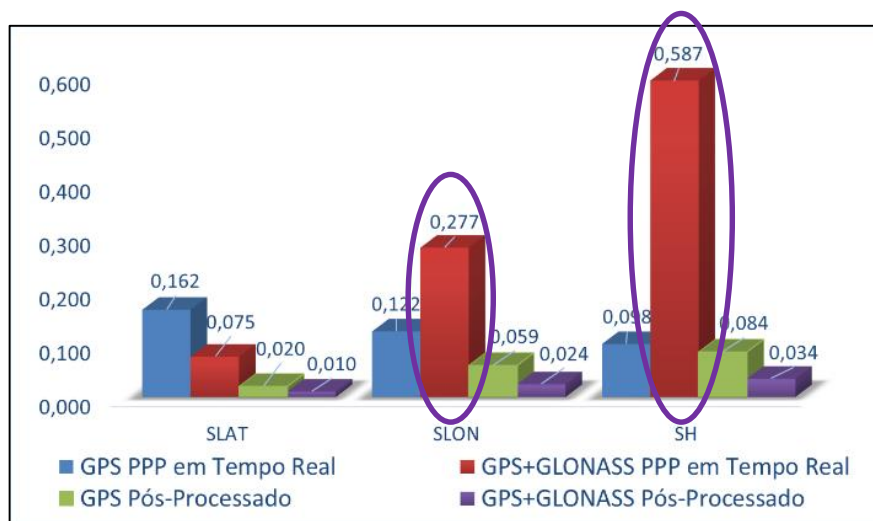
Diferenças em longitude e altitude com comportamento **sistemático** no PPP em Tempo Real



Análise dos Resultados

Sessões 16:00→18:00

Diferenças em longitude e altitude com comportamento **systemático** no PPP em Tempo Real com GPS+GLONASS





Conclusões

- Alcance de resultados com qualidade **decimétrica** usando **PPP em Tempo Real**
 - RMS de **3 a 25 cm** em **latitude**, **10 a 44 cm** em **longitude** e **10 a 59 cm** em **altitude**
 - **Confirma** resultados de outros autores para **PPP em tempo real** em modo **cinemático** (em ITRF) (ex.: El-Diasty e Elsobeiey, 2015; Krzan e Przestrzelski, 2015)

- Em geral:

$$RMS_{\text{IBGE-PPP(GPS+GLO)}} < RMS_{\text{IBGE-PPP(GPS)}} < RMS_{\text{RTPPP(GPS+GLO)}} < RMS_{\text{RTPPP(GPS)}}$$

exceto, neste experimento, quando:

- Período de convergência **> 30 min**
 - Diferenças de coordenadas com comportamento **sistemático** (perdas de ciclo?, efemérides experimentais GLONASS?, latência das efemérides em tempo real?)
- Tempo de convergência de **30 a 60 min**



Conclusões

- RMS mais elevados com o PPP em Tempo Real para as sessões de 12:00→14:00 e de 14:00→16:00, no entorno do pico diário da refração ionosférica (às 14:00hs)
 - Mesmo com soluções de dupla frequência, a detecção/correção de perdas de ciclos no modo cinemático pode ser afetada pela ionosfera dependendo do algoritmo utilizado
- Em geral, uso de dados GPS+GLONASS reduz o tempo de convergência das coordenadas comparado com uso de dados GPS apenas, tanto em tempo real quanto em modo pós-processado
- Excelente alternativa para usuários interessados em realizar posicionamentos cinemáticos em tempo real com acurácia decimétrica sem a necessidade de estações base na região de trabalho



Agradecimentos

- À Coordenação de Geodésia (CGED) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo apoio na realização desta pesquisa



Artigo em fase de publicação na edição de novembro de 2017 da Revista Brasileira de Cartografia, disponível em <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/issue/archive>