



PPP PÓS PROCESSADO E EM TEMPO REAL

Prof. Dr. Haroldo Antonio Marques - UFPE

Prof. Dr. João Francisco Galera Monico - UNESP

Introdução

- Posicionamento GNSS em tempo real (ex.: RTK e DGPS):
 - RTPPP (*Real Time Precise Point Positioning*)
 - Para o usuário, o método requer o uso de um receptor e conexão com a internet
- Para realizar o RTPPP é necessário ter disponível em tempo real:
 - Órbitas precisas
 - Correções dos relógios dos satélites
- Atualmente tem-se as órbitas preditas IGU
 - 5 cm para a posição predita do satélite
 - 3 ns ($\sim 0,90$ m) para o erro do relógio do satélite
 - PPP em tempo real com acurácia decimétrica requer a estimativa do erro do relógio do satélite

Introdução

- Esforços da comunidade científica para aprimorar a estrutura para a realização do PPP em tempo real:
 - Projeto Piloto do IGS (*IGS-RTPP Pilot Project*) (<http://www.rtigs.net>)
 - Projeto GNSS em tempo real da EUREF (*European Reference Frame*) (http://www.epncb.oma.be/euref_IP/)
 - Existem, atualmente, várias localidades ao redor do mundo (*mountpoints*) já transmitindo as correções de órbitas e relógios dos satélites.
- Avanço das pesquisas → RTPPP pode se tornar uma ferramenta importante e auxiliar em várias aplicações:
 - Determinação de órbitas de satélites LEO (*Low Earth Orbit*)
 - Locação de obras
 - Suporte para aplicações científicas, tais como a estimativa do atraso zenital troposférico em tempo real, e outras

CORREÇÕES DISPONÍVEIS PELO IGS/BKG

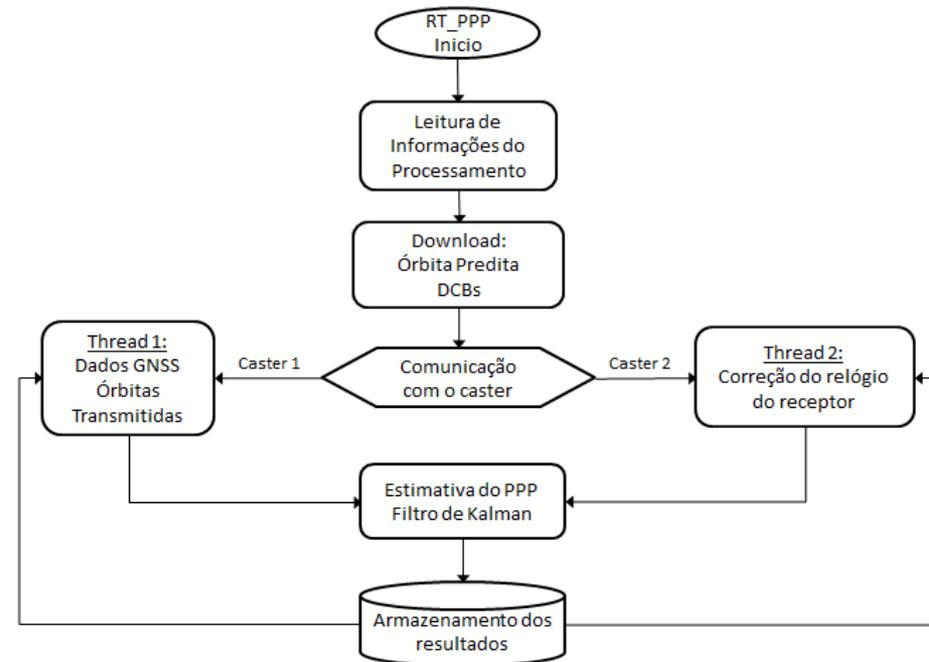
- Correções a serem aplicadas nas as efemérides transmitidas
 - Orbits: radial, along-track e cross-track
 - Relógios: polinômio de 2ª ordem (a_0 , a_1 e a_2)
- As correções são codificadas no formato RTCM 3.x e enviadas via NTRIP

Mensagens adicionadas na versão RTCM 3.x

Message Type	Corrections
1057	GPS orbit corrections to Broadcast Ephemeris
1058	GPS clock corrections to Broadcast Ephemeris
1059	GPS code biases
1060	Combined orbit and clock corrections to GPS Broadcast Ephemeris
1061	GPS User Range Accuracy (URA)
1062	High-rate GPS clock corrections to Broadcast Ephemeris
1063	GLONASS orbit corrections to Broadcast Ephemeris
1064	GLONASS clock corrections to Broadcast Ephemeris
1065	GLONASS code biases
1066	Combined orbit and clock corrections to GLONASS Broadcast Ephemeris
1067	GLONASS User Range Accuracy (URA)
1068	High-rate GLONASS clock corrections to Broadcast Ephemeris

SOFTWARE RT_PPP

- Para realizar o PPP em tempo foi desenvolvido o RTPPP
 - observações GNSS de código e fase de uma determinada estação vinculada a um NTRIPCaster ou porta serial
 - Capaz de receber as correções das órbitas e relógios dos satélites a partir de outro NTRIPCaster diferente
 - Para tanto, é utilizado o recurso de "threads", no qual, as informações transmitidas por cada *mountpoint*



Efeitos Sistemáticos

- Relacionados com o satélite e receptor
 - Órbita
 - Erro do relógio do satélite e efeitos de relatividade
 - Rotação da Terra
 - Atraso de *hardware* do satélite e receptor
 - Variação do centro de fase do satélite e do receptor
 - Fase *windup*
- Relacionados com a propagação do sinal na atmosfera
 - Ionosfera
 - Troposfera
- Relacionados com a estação
 - Marés de corpos Terrestres (*Earth Body Tide*)
 - Carga de Marés Oceânicas (*Ocean Tide Loading*)

Modelo Matemático para o PPP

- Modelo Funcional

$$PD_{IF_r}^s = \rho_r^s + c(dt_r(t_r) - dt^s(t^t)) + M_f Zwd + \varepsilon_{PD_r^s}$$

$$\lambda_{IF} \phi_{IF_r}^s = \rho_r^s + c(dt_r(t_r) - dt^s(t^t)) + \lambda_1 N_{IF} + M_f Zwd + \varepsilon_{\phi_{IF_r}^s}$$

- Modelo Linearizado - Dupla Frequência

$$E \left\{ \begin{bmatrix} \Delta PD_{IF_r}^{s_i} \\ \Delta \lambda_{IF} \phi_{IF_r}^{s_i} \end{bmatrix} \right\} = AX = \begin{bmatrix} -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & 0 \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & \lambda_{IF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_r \\ \Delta Y_r \\ \Delta Z_r \\ cdt_r \\ Z_{wd} \\ N_{IF}^{s_i} \end{bmatrix}$$

Modelo Matemático para o PPP

Estimativa dos resíduos ionosféricos considerando a modernização do GNSS

Projetos em andamento

$$\mathbf{E} \begin{bmatrix} \Delta PD_{L1r}^{s_i} \\ \Delta \phi_{L1r}^{s_i} \\ \Delta PD_{L2r}^{s_i} \\ \Delta \phi_{L2r}^{s_i} \\ \Delta PD_{L5r}^{s_i} \\ \Delta \phi_{L5r}^{s_i} \\ \text{Iono}_{L1}^{p_{s_i+r}^{s_i}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & 1 \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & -1 \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & \beta \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & -\beta \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & \gamma \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & -\gamma \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_r \\ \Delta Y_r \\ \Delta Z_r \\ cdt_r \\ Z_{wd} \\ \text{Iono}_{L1}^{s_i} \end{bmatrix}$$

Adição de uma pseudo-observação para o parâmetro ionosfera

$\beta = (f_1 / f_2)^2$, $\gamma = (f_1 / f_5)^2$ e $\text{Iono}_{L1}^{s_i}$ é a estimativa do atraso ionosférico na L1 para cada satélite.

RT_PPP

- Modelagem matemática dos vários efeitos envolvidos
- Filtro de Kalman / Ajustamento recursivo
- Controle de qualidade DIA (Detecção; Adaptação e Identificação)

Processo estocástico aplicado ao filtro de kalman

- Modelo:

- Dinâmico:

$$\hat{X}_k = \Phi_{k,k-1} \hat{X}_{k-1} + W_k$$

$$W_k \sim N(0, \Sigma_{W_k})$$

- Medida:

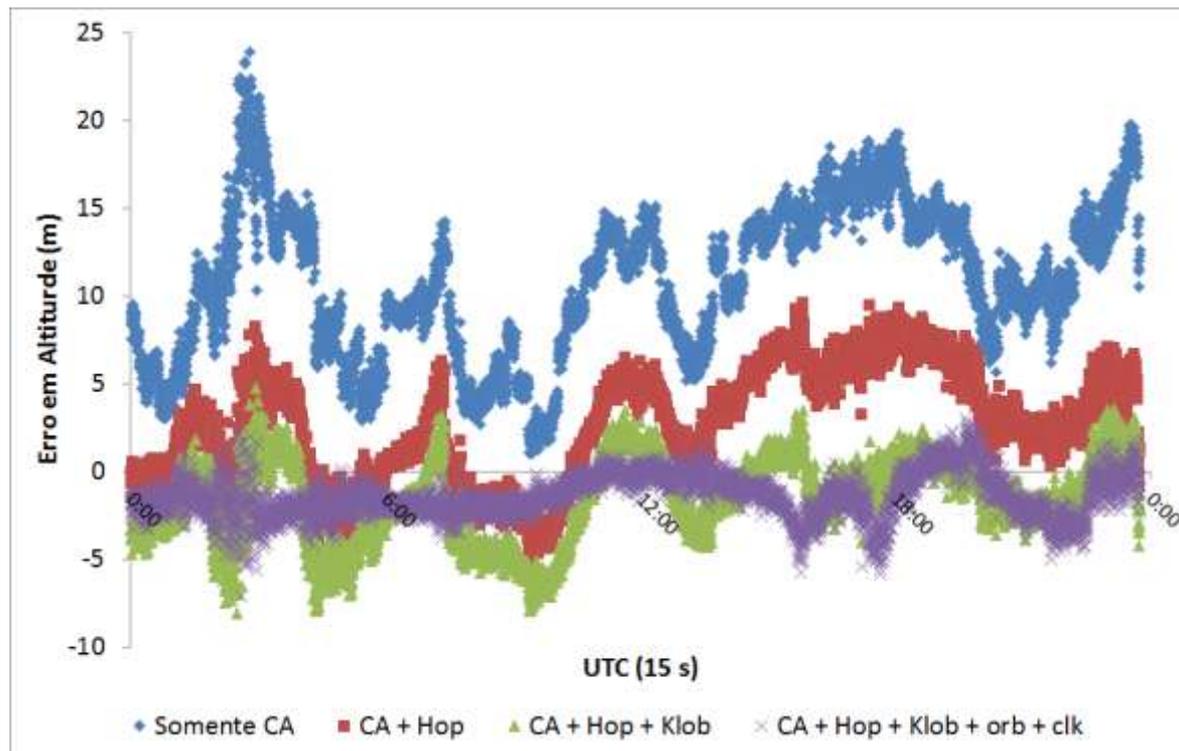
$$L_k = A_k \hat{X}_k + V_k$$

$$V_k \sim N(0, \Sigma_{V_k})$$

- O processo estocástico pode ser levado em consideração na etapa de predição

$$\begin{aligned} \hat{X}_{k/k-1} &= \Phi_{k,k-1} \hat{X}_{k-1/k-1} & t_k > t_{k-1} \\ \Sigma_{\hat{X}_{k/k-1}} &= \Phi_{k,k-1} \Sigma_{\hat{X}_{k-1/k-1}} \Phi_{k/k-1}^t + \Sigma_{W_k} \end{aligned}$$

SIMPLES FREQUÊNCIA - PSEUDODISTÂNCIA

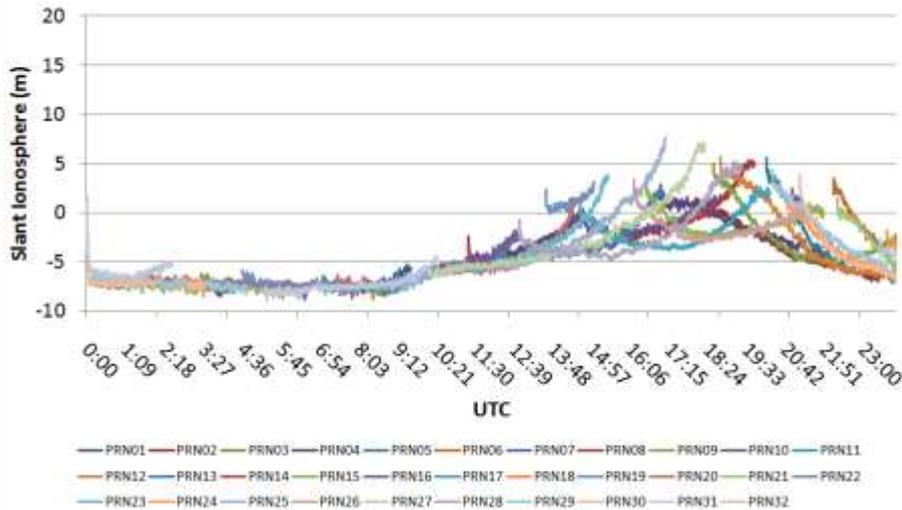


	Somente C/A	C/A + Hop	C/A + Hop + Klob	C/A + Hop + Klob + sp3 + clk
Erro médio	10,890	2,638	-1,484	-1,417
Desvio-padrão	4,232	3,184	2,347	1,248
EMQ	11,683	4,135	2,777	1,888

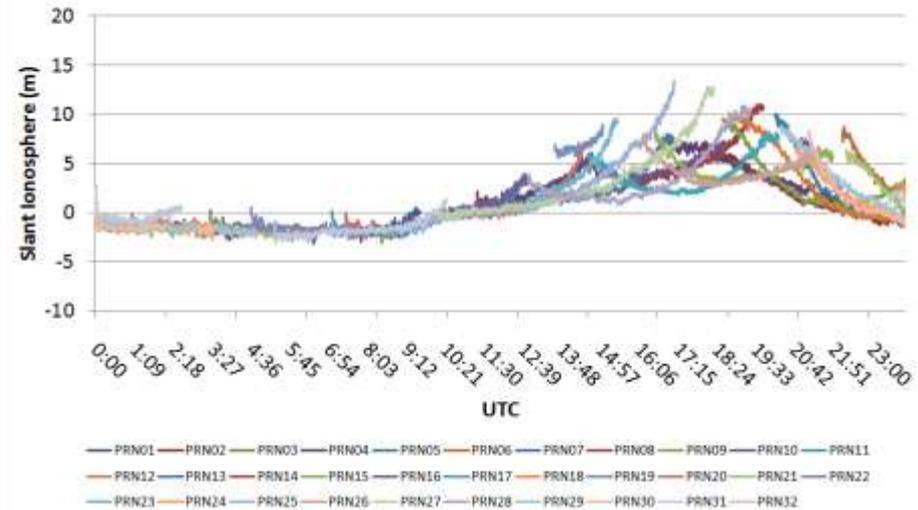
Estimativa da ionosfera - Pseudodistância

- PPP (CA e P2) - Estação IGS BRAZ - 2008
 - Considerando ou não os DCBs receptor do CODE
 - Precisões das observações: 0.6m and 0.8m for CA and P2, respectivamente
 - Sigma Pseudo-Observable Iono: 0.8 m
 - Ionosfera, a principio, tratada como white noise

Estimated ionosphere Without Rec. DCB Correction
BRAZ Station - 2008

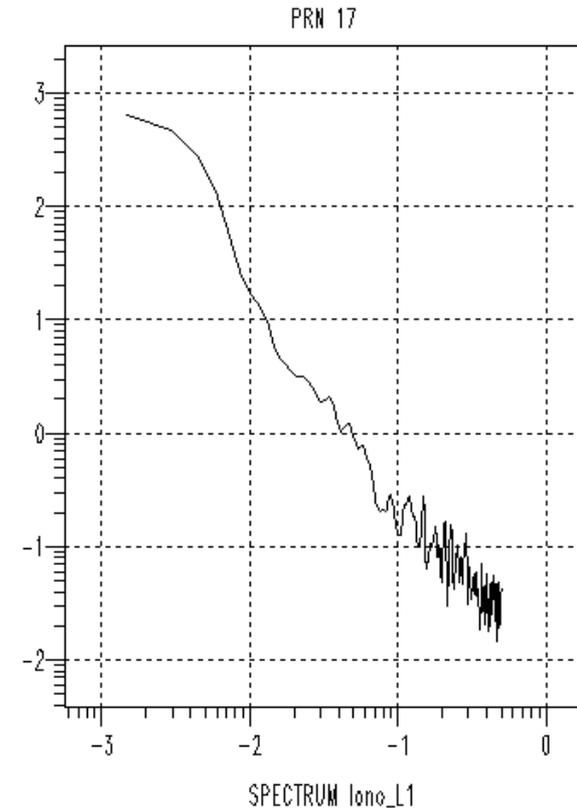
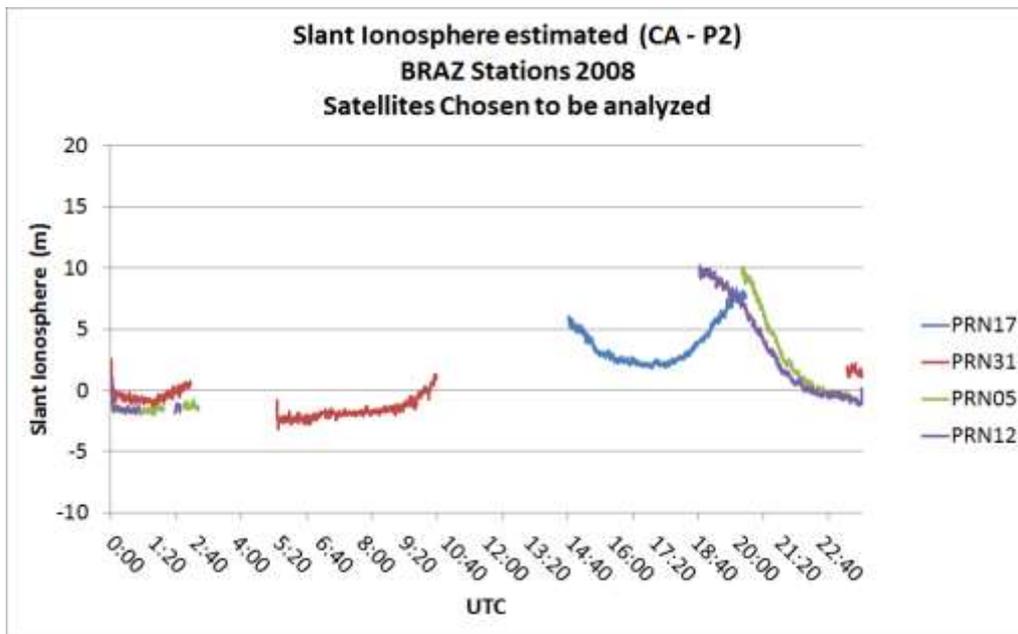


Estimated Iono With Receiver DCB Applied
BRAZ Station - 2008



Analise de Allan Variance

- Cálculo de Allan Variance para caracterização do ruído

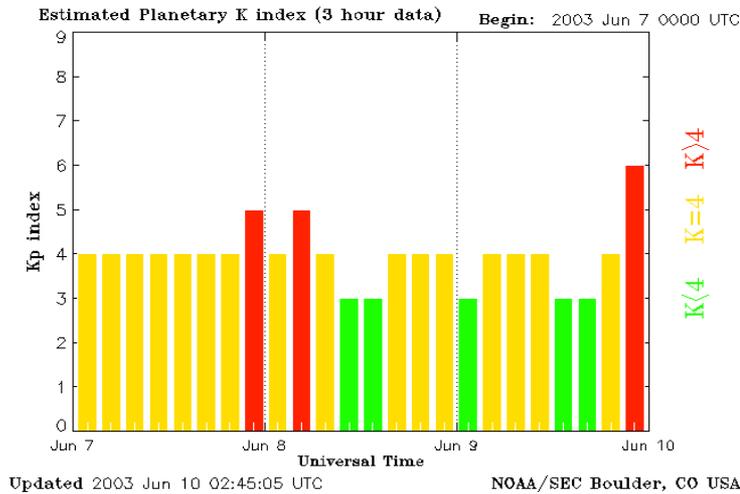


Random Walk

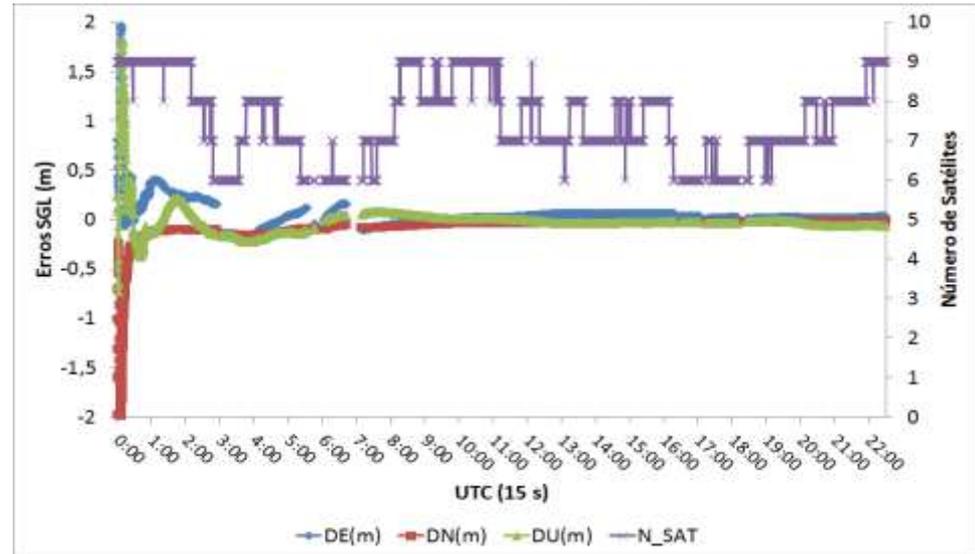
Spectrum slope $\alpha = -2$
Allan Variance slope $(-\alpha-1)/2 = 1/2$

PPP - Dados de simples frequência - PD e FASE

Índice Kp (08/06/2003)

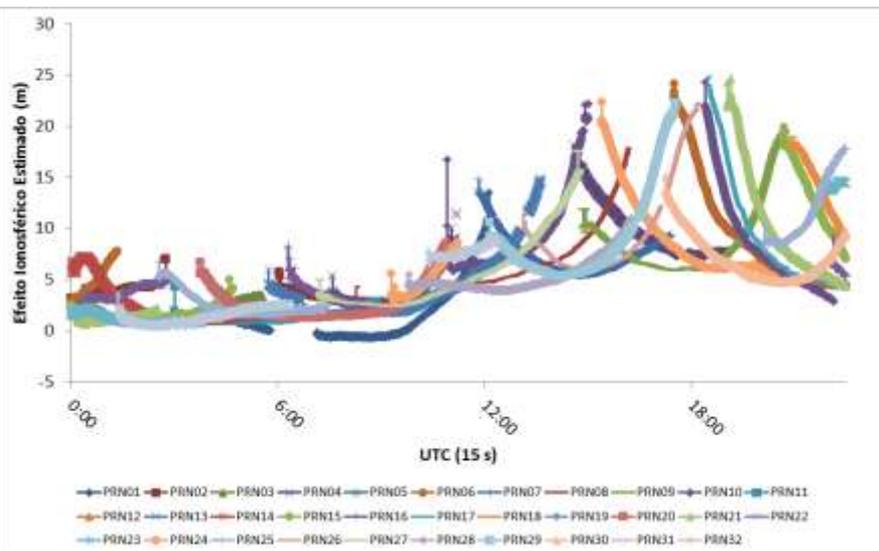


PPP – UEPP (08/06/2003)

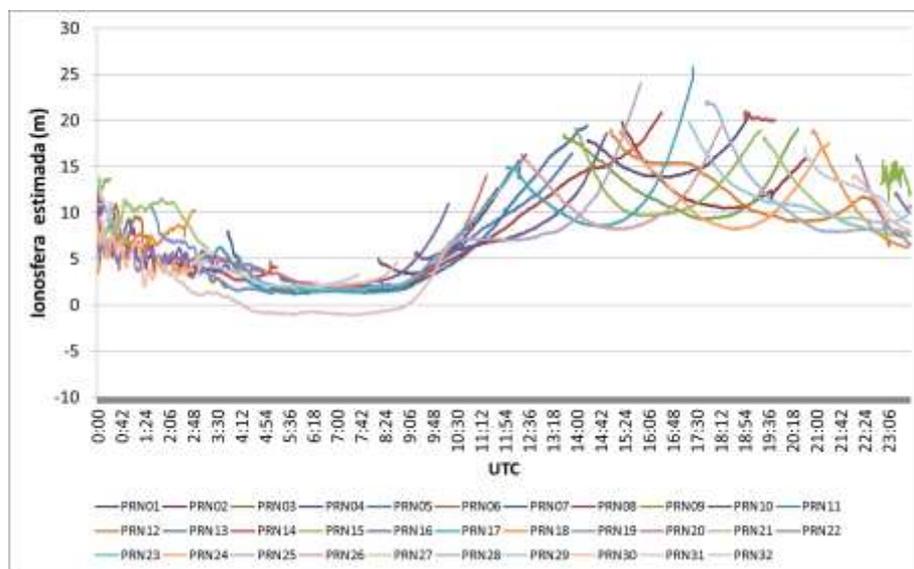
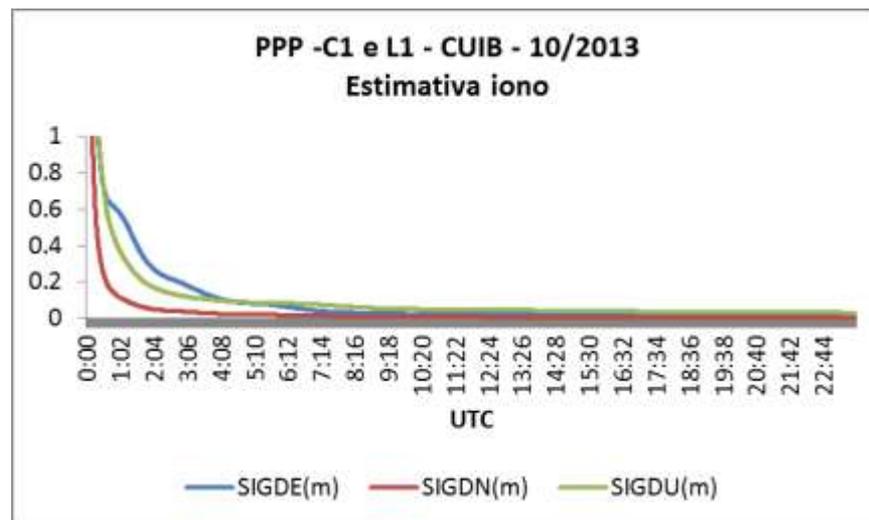
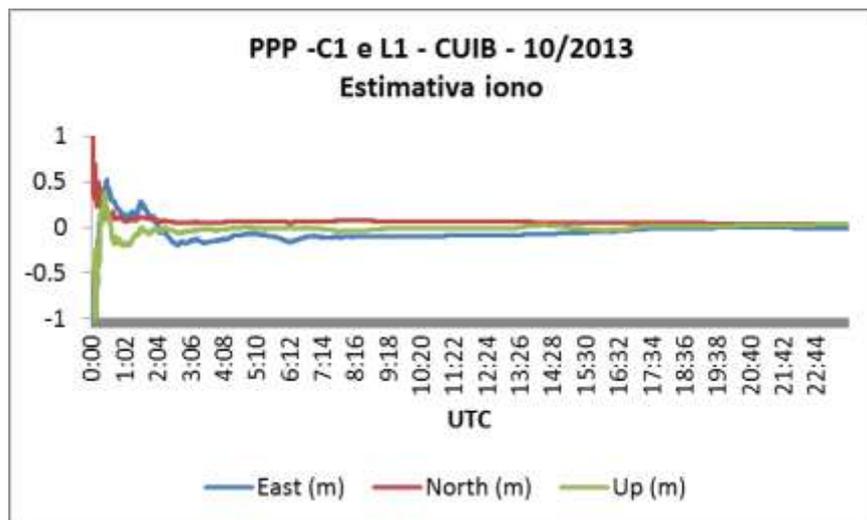


Final do dia

	DE (m)	DN (m)	DU (m)	Erro 2D (m)	Erro 3D (m)
EMQ	0,035	0,032	0,073	0,047	0,086



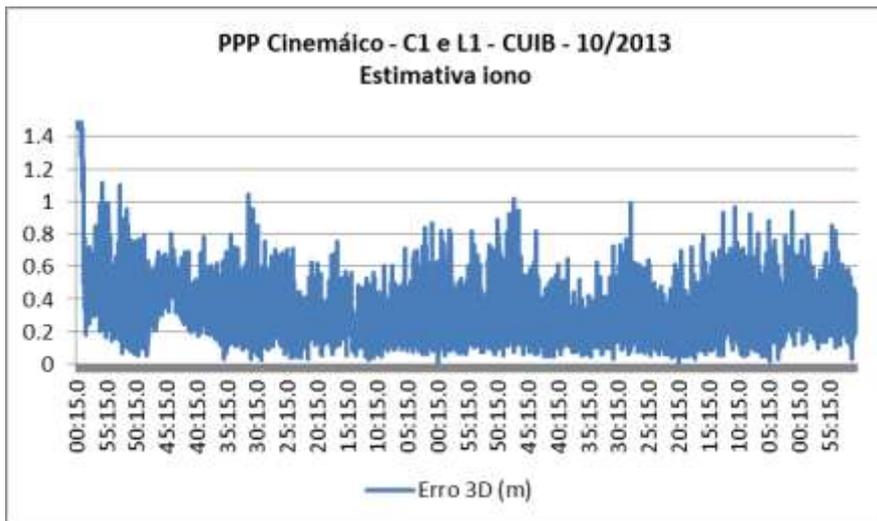
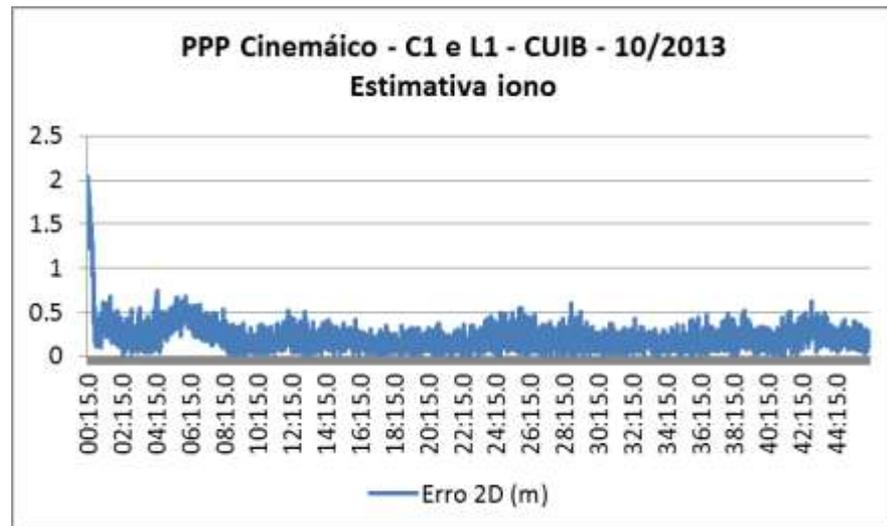
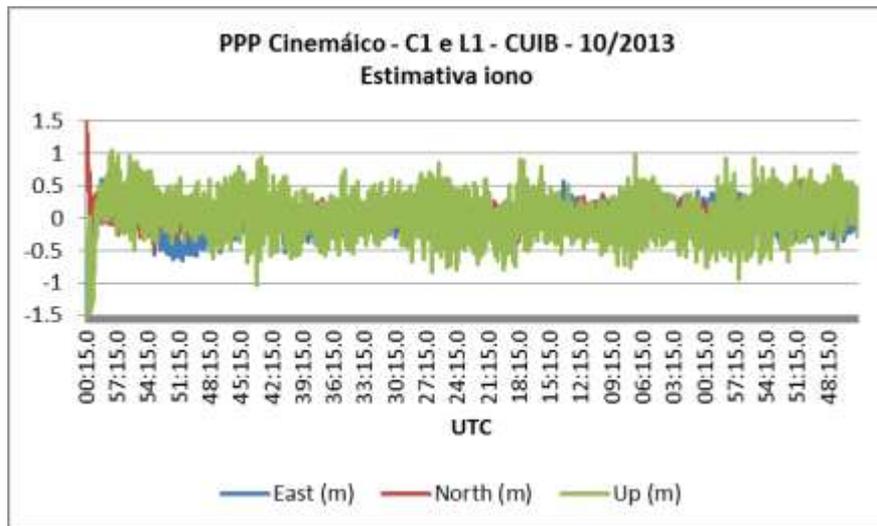
Estimativa IONO - PPP estático



Final do dia

	East (m)	Nort h (m)	Up (m)	2D (m)	3D (m)
EMQ	0,021	0,039	0,047	0,045	0,065

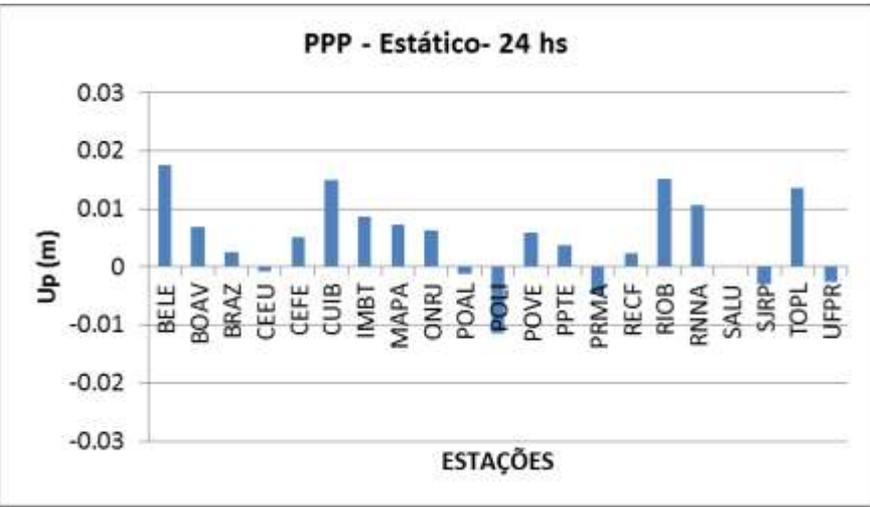
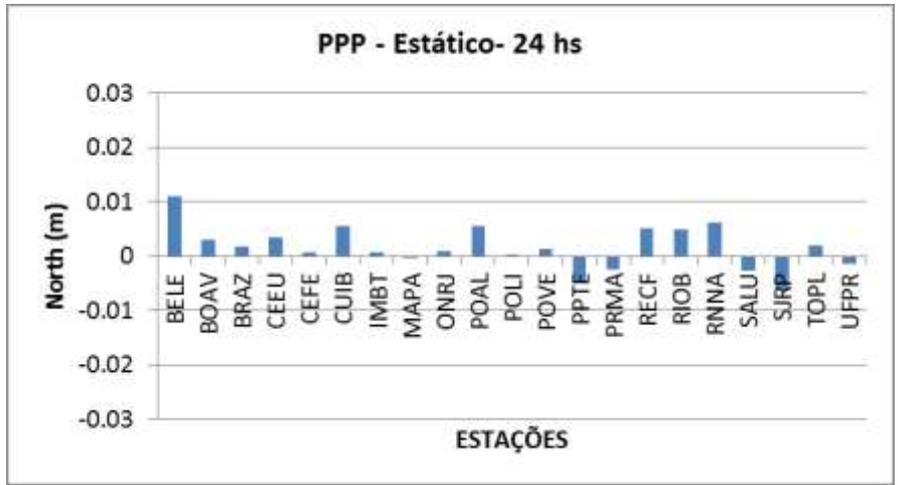
Estimativa IONO - PPP cinemático



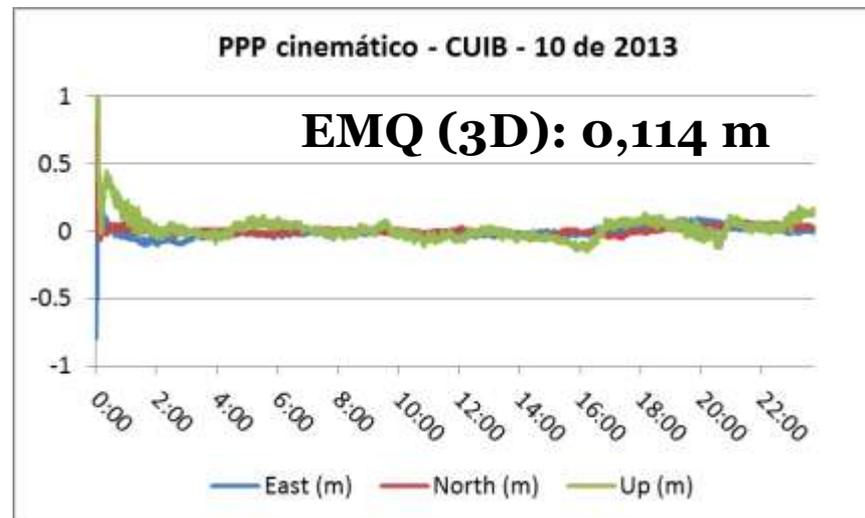
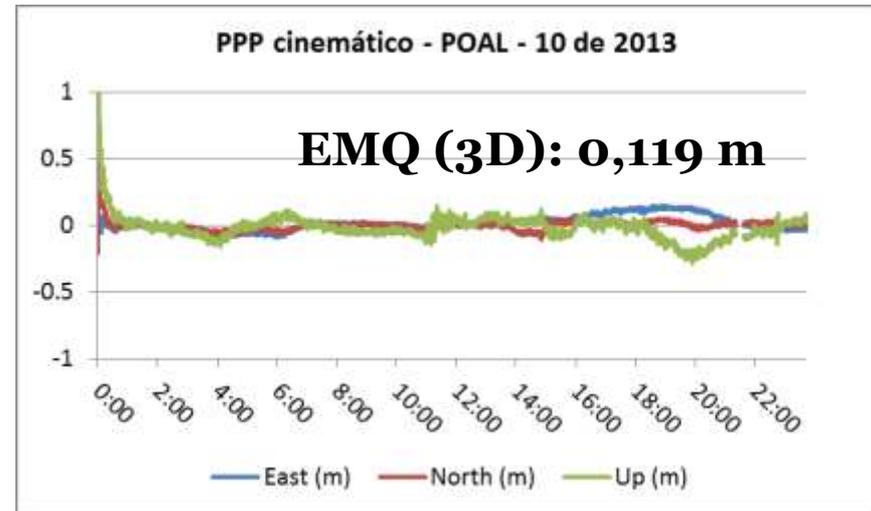
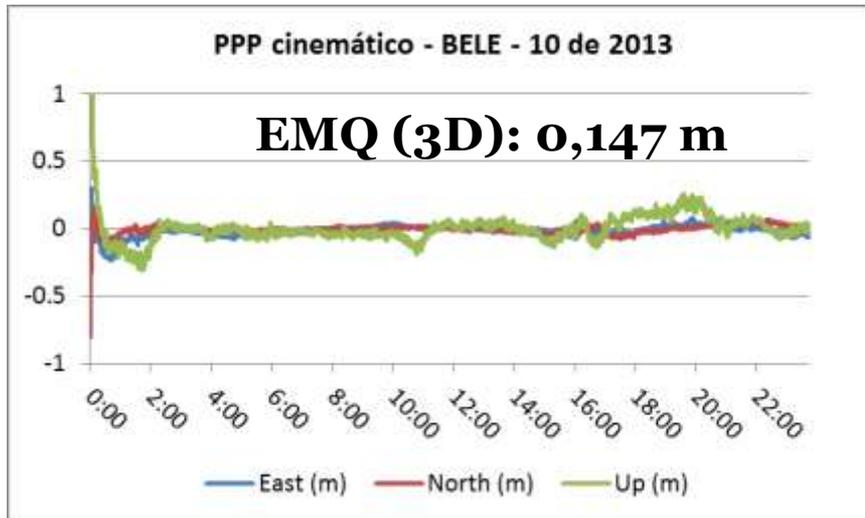
	East (m)	North (m)	Up (m)	2D (m)	3D (m)
EMQ	0,220	0,145	0,317	0,263	0,412

PPP dupla frequência estático - *ion-free*

- Solução ao final do dia

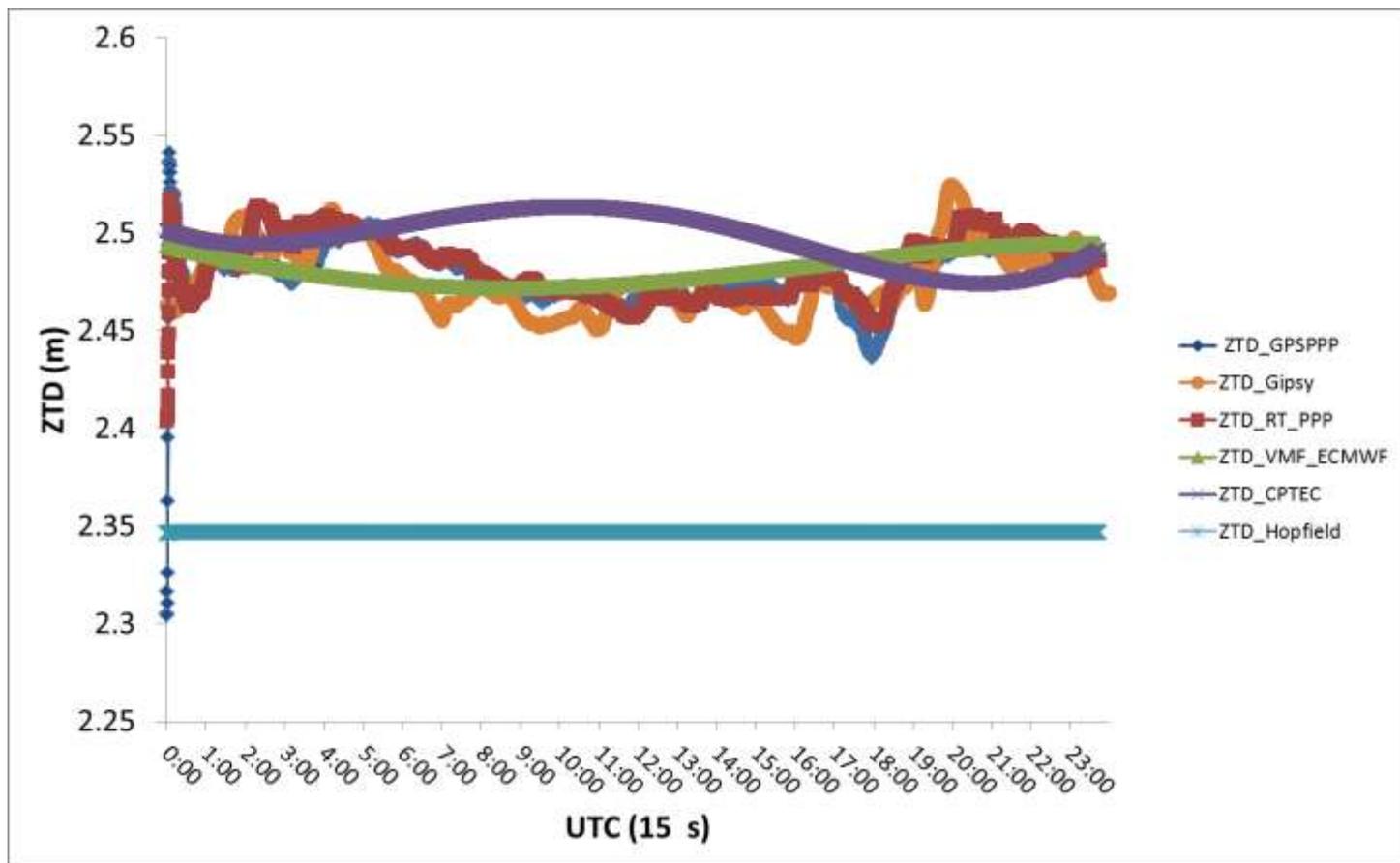


PPP dupla frequência cinemático - *ion-free*



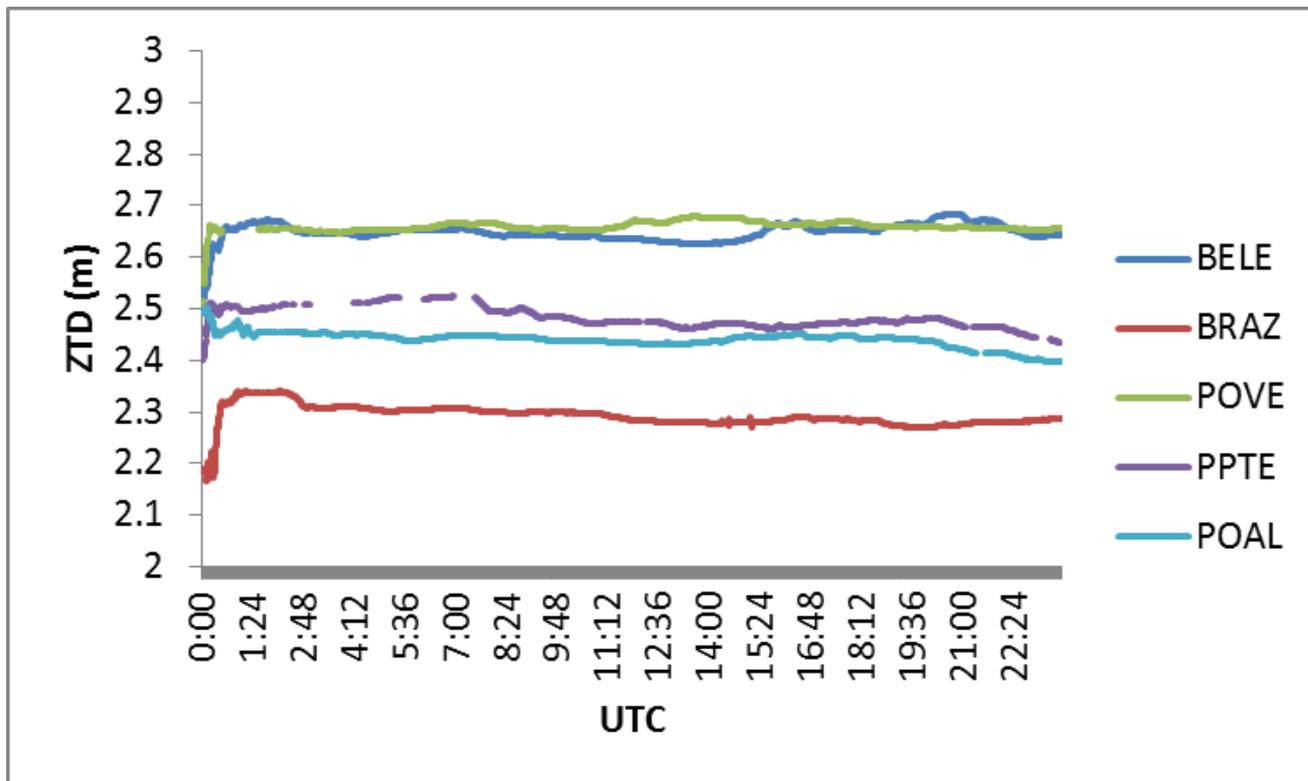
Estimativa da Troposfera

- PPTe - 2008



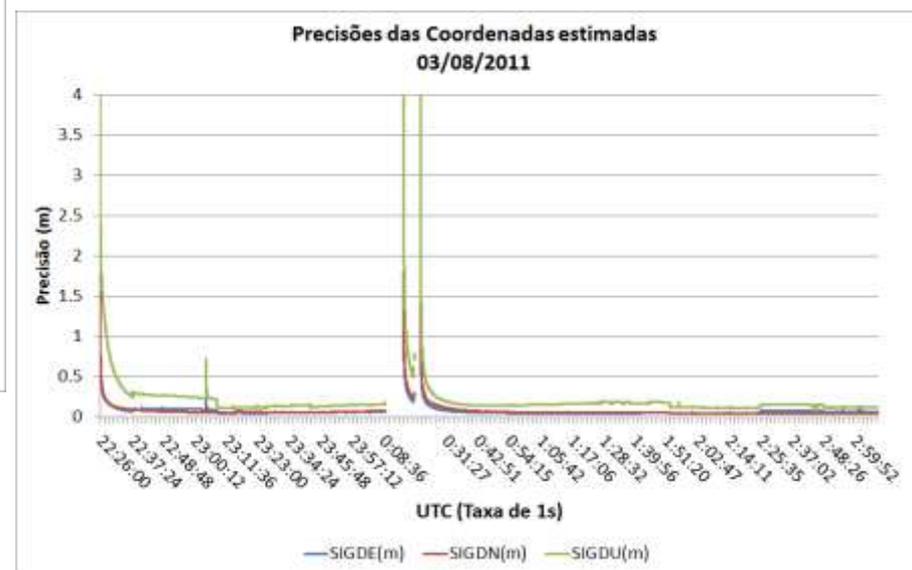
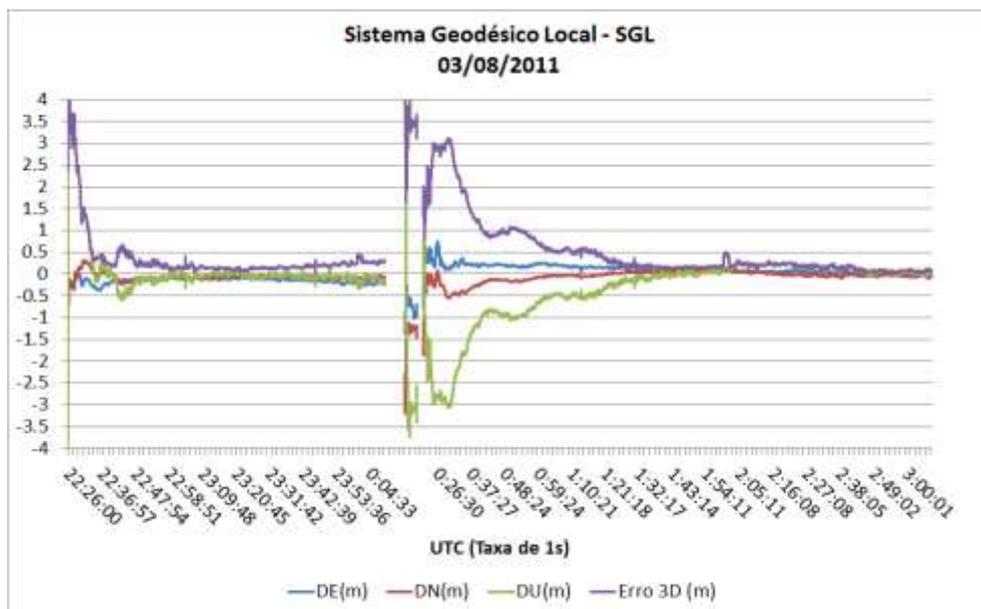
ZTD

- Dia 10 de 2013 - PPP estático dupla frequência



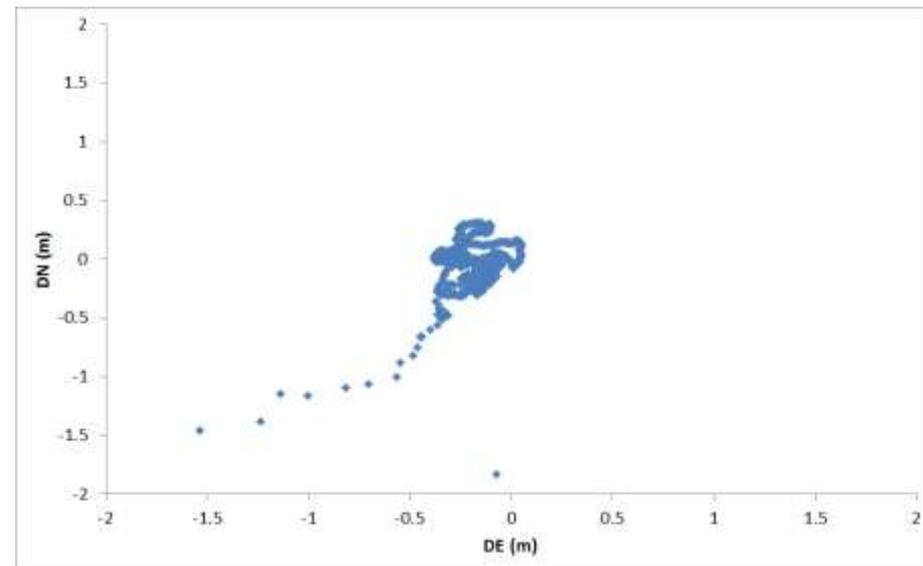
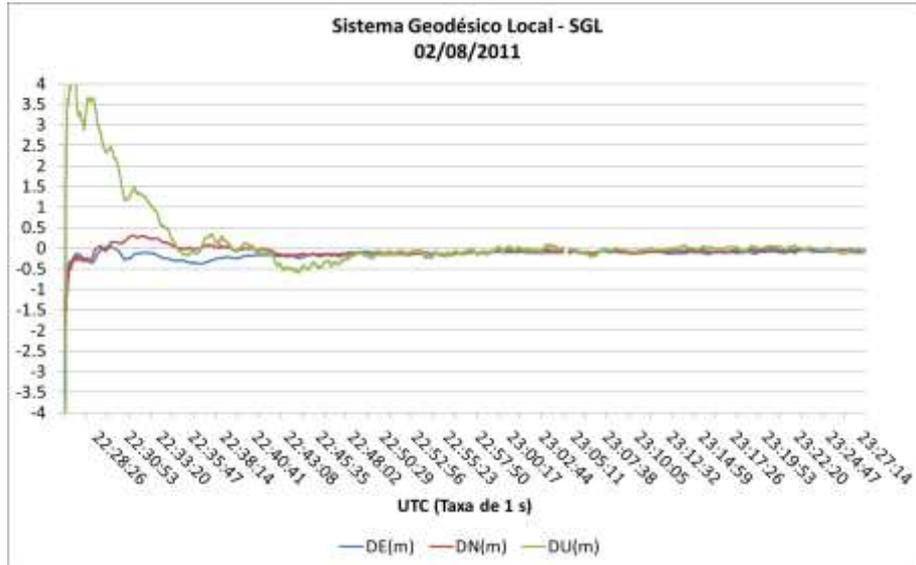
Experimentos - PPP tempo real

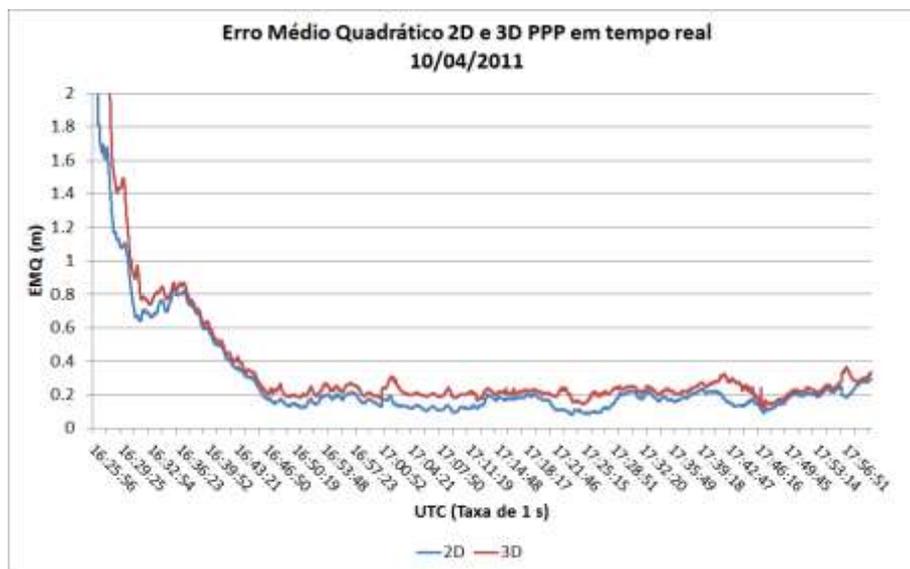
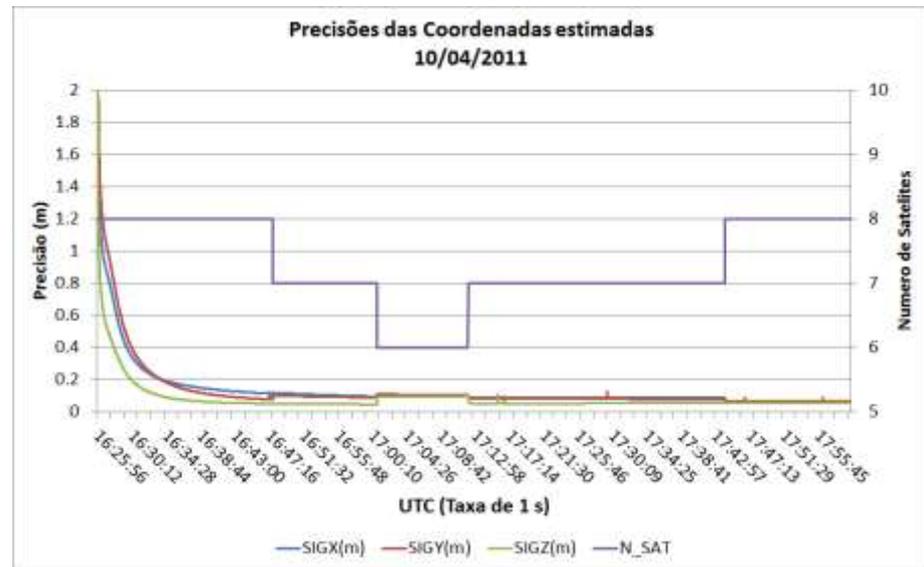
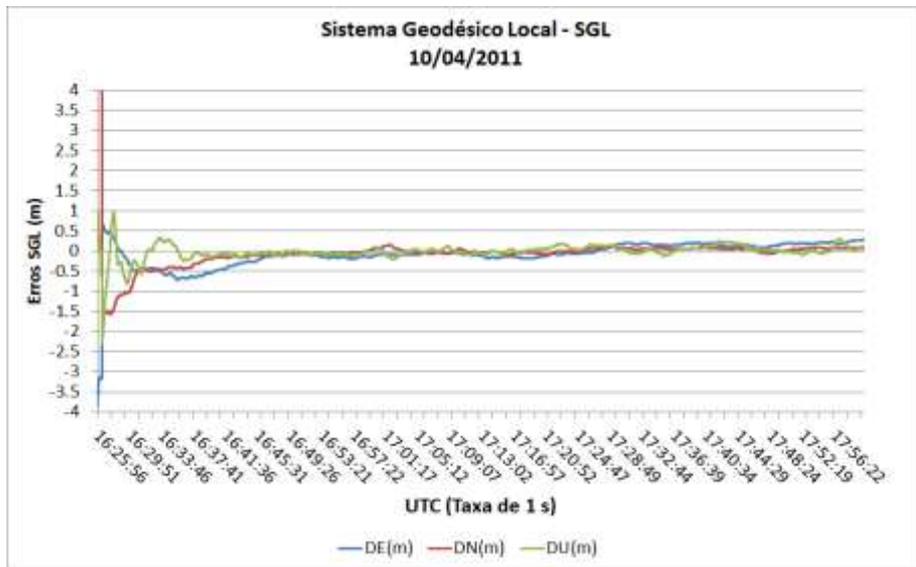
- Estação PTE;
- Cinemático - *Ion-Free* código e fase;



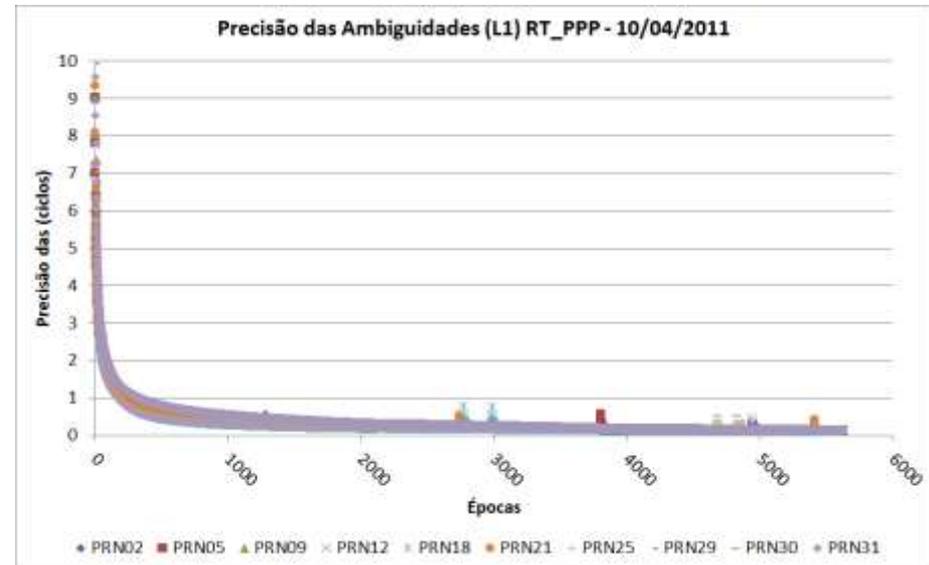
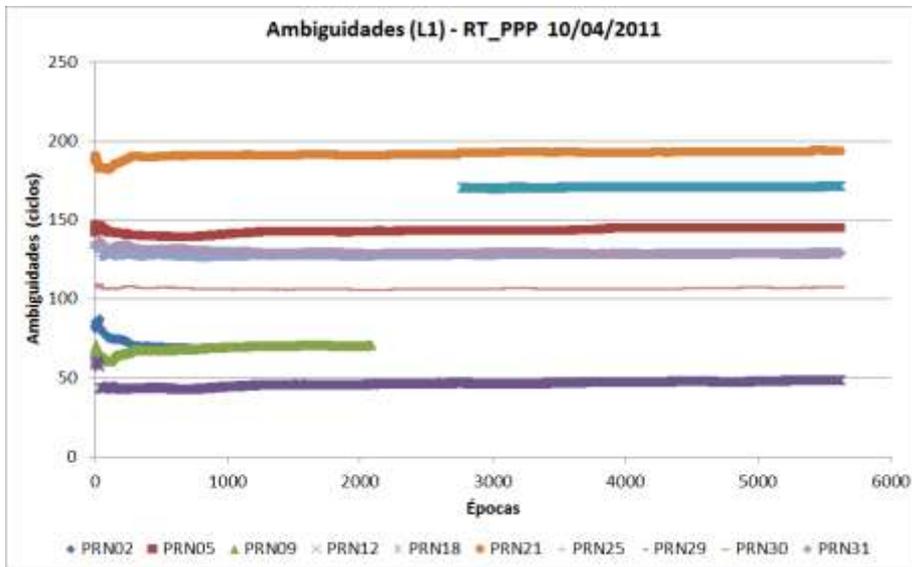
Problemas ocorreram provavelmente devido a perda de conexão com o servidor

PPP Tempo real



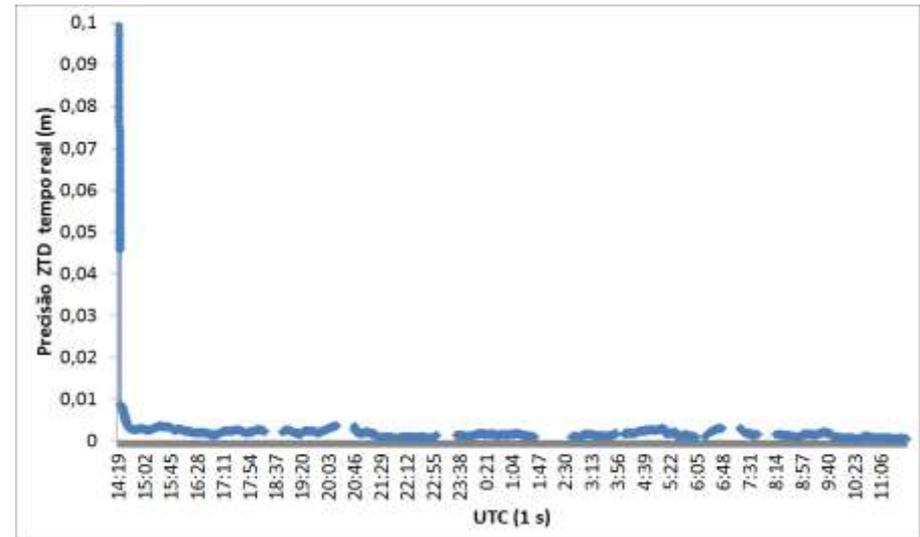
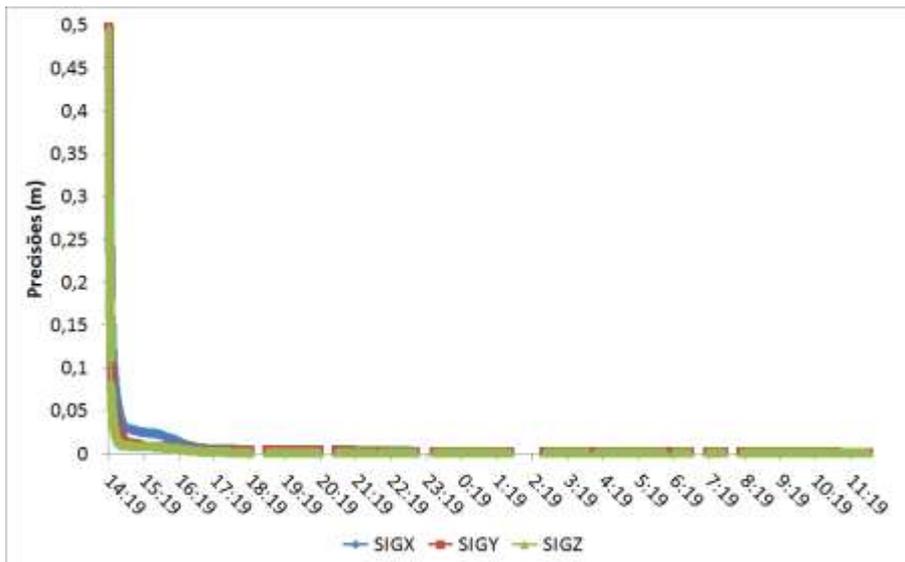
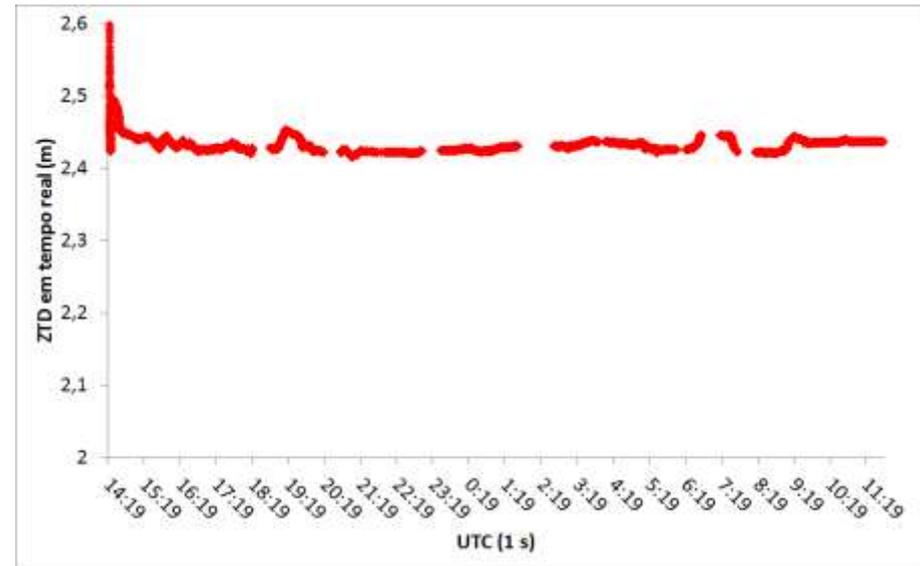


Outros parâmetros de interesse em tempo real



ZTD em tempo real

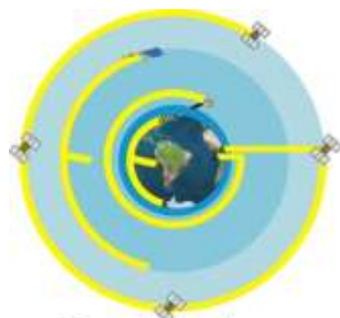
- Estação LGE2 - 2012
- Conexão da *thread* com a porta serial do computador
- Correções dos relógios dos satélite via *thread* conectada num dos *mountpoints* do BKG



Conclusões

- RT_PPP - desenvolvido no projeto de doutorado na FCT/UNESP
- Foram apresentados aspectos técnicos do método PPP
 - Modo pós-processado e tempo real
- No modo pós-processado apresenta diversas possibilidades de processamento
 - C1 ~ 1,8 m
 - C1 e L1 ~ 0,10 cm (estático) e ~ 0,30 m (cinemático)
 - *Ion-free* código e fase: melhor que 5 cm no caso estático e ~15 cm no cinemático
- Em tempo real, o EMQ fica na ordem de 20 cm
 - Comparecem problemas em tempo real
 - Re-convergência é lenta
 - Solução fixa das ambiguidades pode auxiliar
 - Uma vez que o método esteja totalmente operacional os usuários se beneficiarão de um sistema de posicionamento absoluto em tempo real
 - Aplicações práticas e científicas

Agradecimentos



Grupo de Estudos em
Geodésia Espacial

