

# **Evolução na capacidade de monitoramento do conteúdo total de elétrons a partir de dados GNSS da RBMC**

Wagner Carrupt Machado  
Claudinei Rodrigues de Aguiar

I workshop RBMC, MundoGeo#connect LatinAmerica 2013, 19 de junho

# Conteúdo

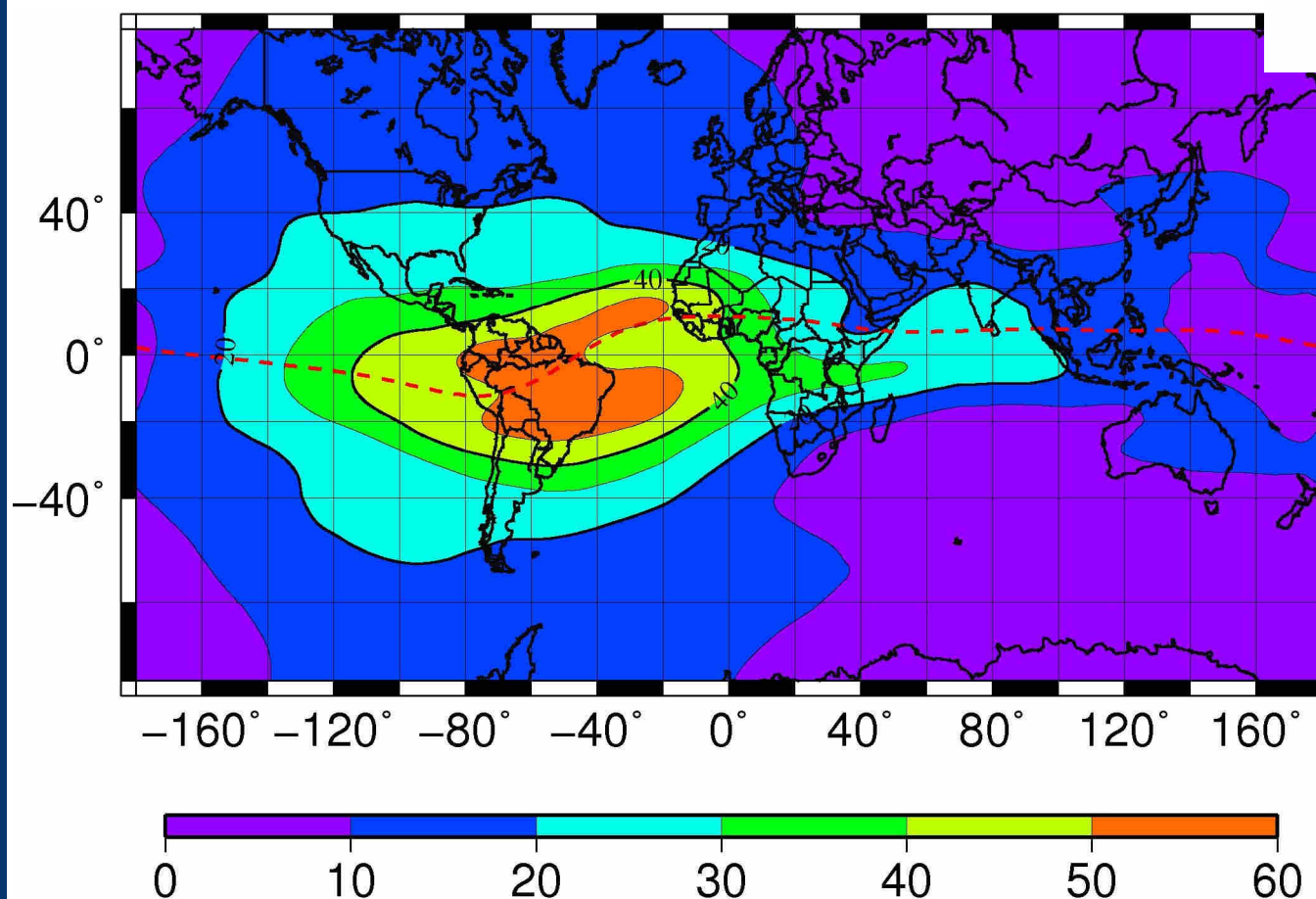
- Introdução
- RBMC:
  - Evolução da densidade de estações;
- GPS e GLONASS:
  - Evolução da quantidade de satélites.
- Modelo do ponto ionosférico:
  - Ponto ionosférico (IPP).
- Análise da capacidade de monitoramento do TEC:
  - Mapas de densidade de ponto ionosférico;
  - Mapas da cobertura temporal dos pontos ionosféricos.
- Conclusão

# Introdução

GNSS e ionosfera: - posicionamento e + monitoramento.

- A ionosfera sobre o Brasil.

$$Ion_{PR,i} = \frac{40.3TEC}{f_i^2}$$



18 h TU de  
21/03/2011

# Introdução

- Modelo do ponto ionosférico:
  - Combinação livre da geometria;
  - Parâmetros: TEC e erro interfrequência;
  - Requer dados de uma rede GNSS.
- RBMC:
  - Objetivo: acesso ao Sistema Geodésico Brasileiro;
  - **Convênio com INCRA**: expansão e modernização.
- Esta pesquisa:
  - Evolução da capacidade de monitoramento do TEC através da RBMC: quantidade e cobertura temporal de pontos ionosféricos (IPP) em 31 de dezembro de 1996, 2006, 2007 e 2012.

# Evolução da densidade de estações

# Dez 1996

- 4 estações;
- Nenhuma estação na região norte.



## Dez 2006

- 29 estações;
- estação em todas as regiões do Brasil;
- Aumento de 625% (dez 96-dez 06);
- Receptores GPS apenas



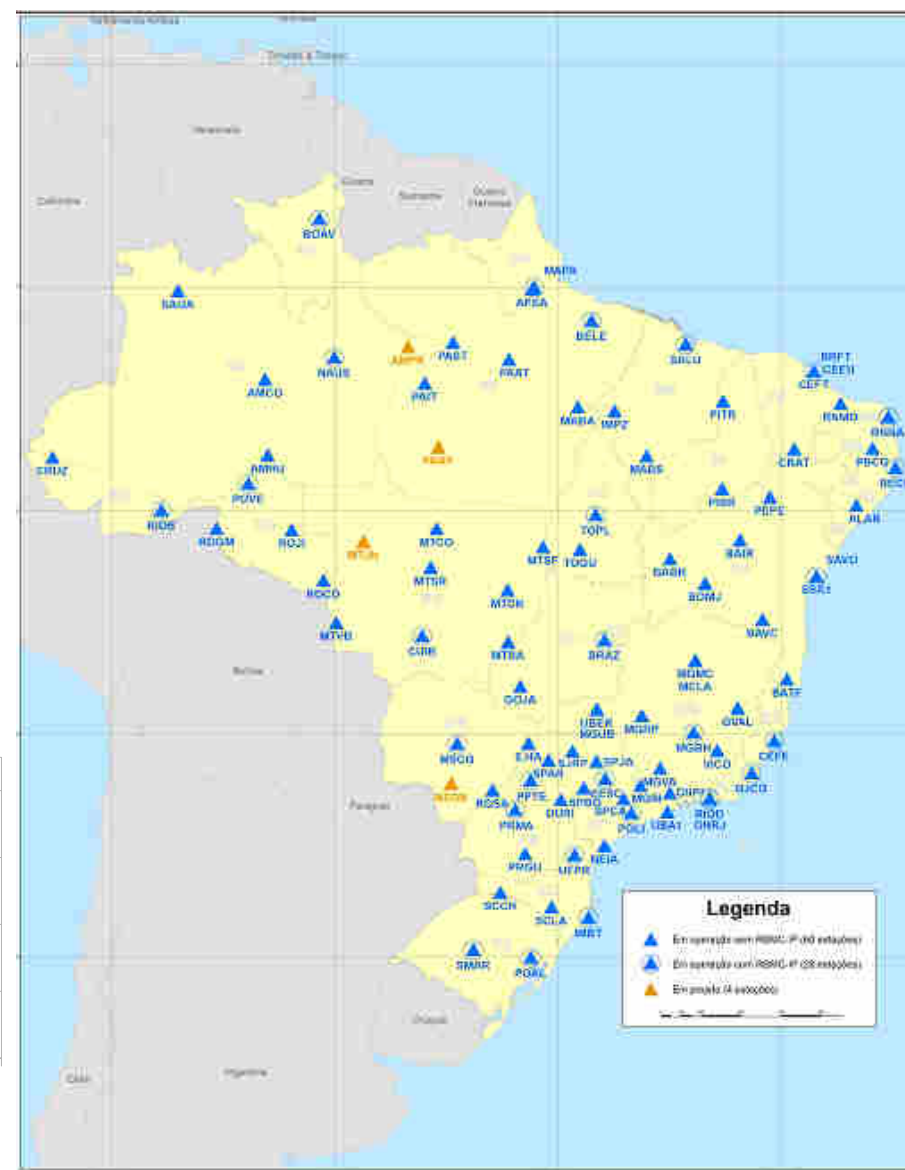
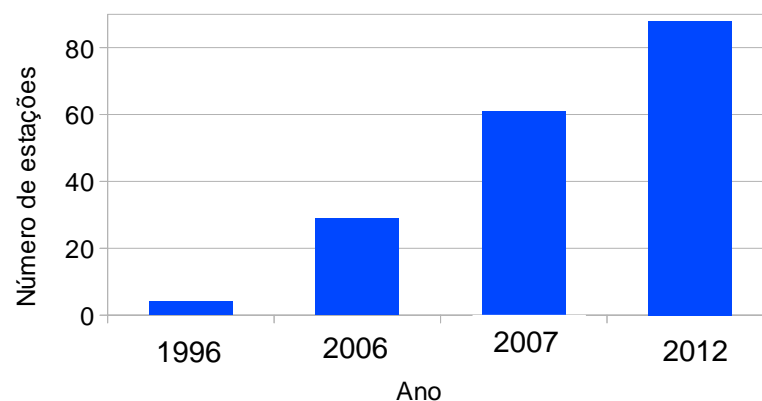
## Dez 2007

- 61 estações;
- Aumento de 110 % com o início do convênio com o INCRA;
- Receptores GPS e GLONASS.



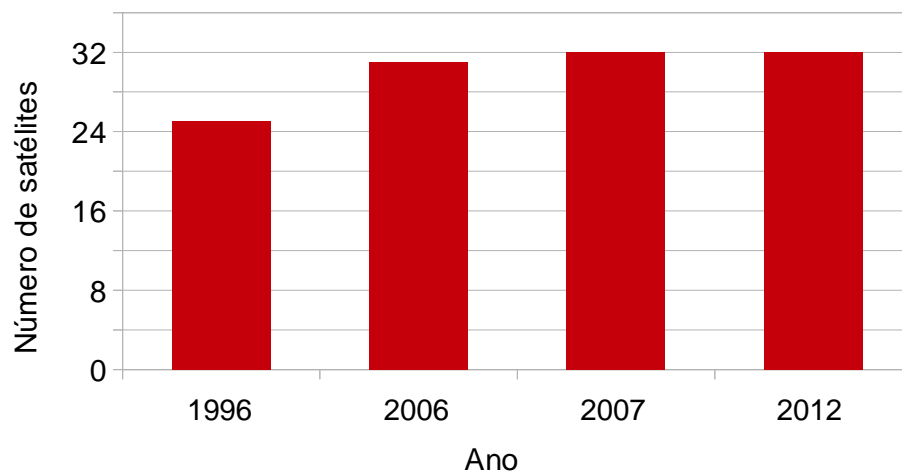
# Dez 2012

- 88 estações;
- Aumento de 44 % (dez 07 – dez 2012) e mais de 2000% de dez 96 a dez 2012.

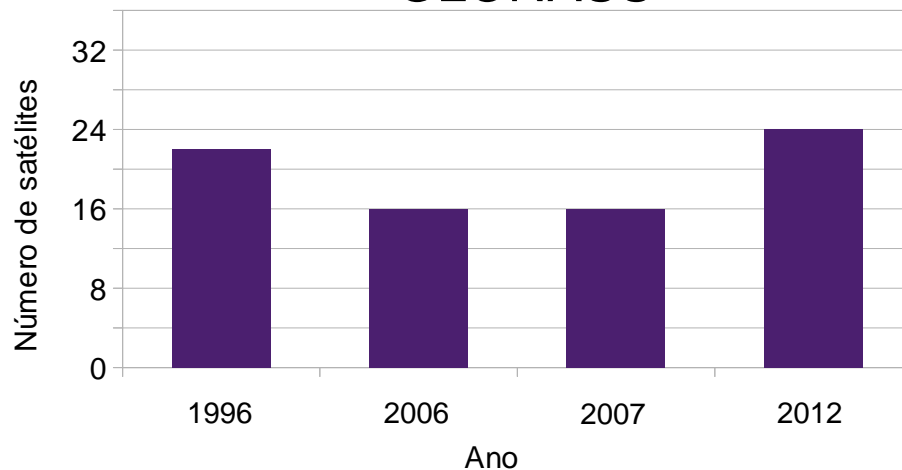


# Evolução da constelação de satélites

GPS



GLONASS

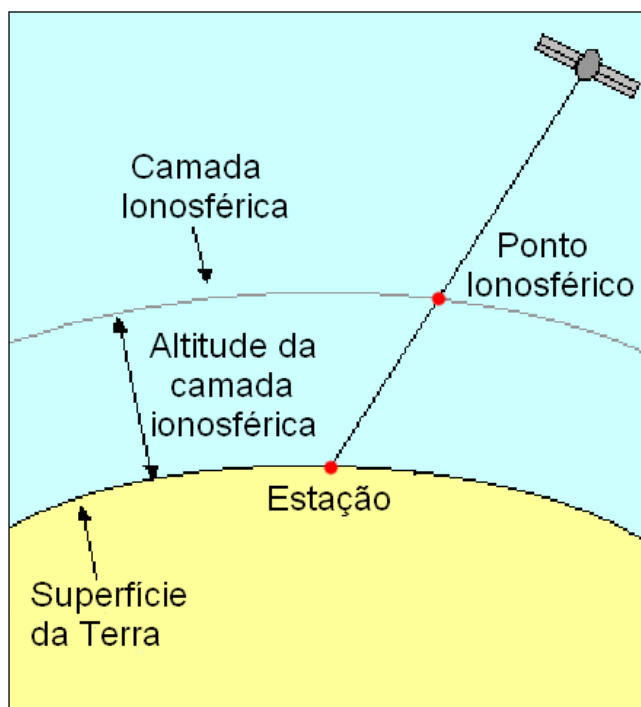


Dez 2012



GPS+GLONASS = 56 satélites

# Modelo do Ponto Ionosférico



- Camada ionosférica:
  - 350 km a 450 km de altitude;
- Ponto Ionosférico:
  - intersecção do vetor satélite-receptor com a camada ionosférica;
- Utilizado para se calcular o TEC.
- Posição do IPP: função da **posição do satélite** e da **posição da estação**.

# Software Grid Simulator (GS)

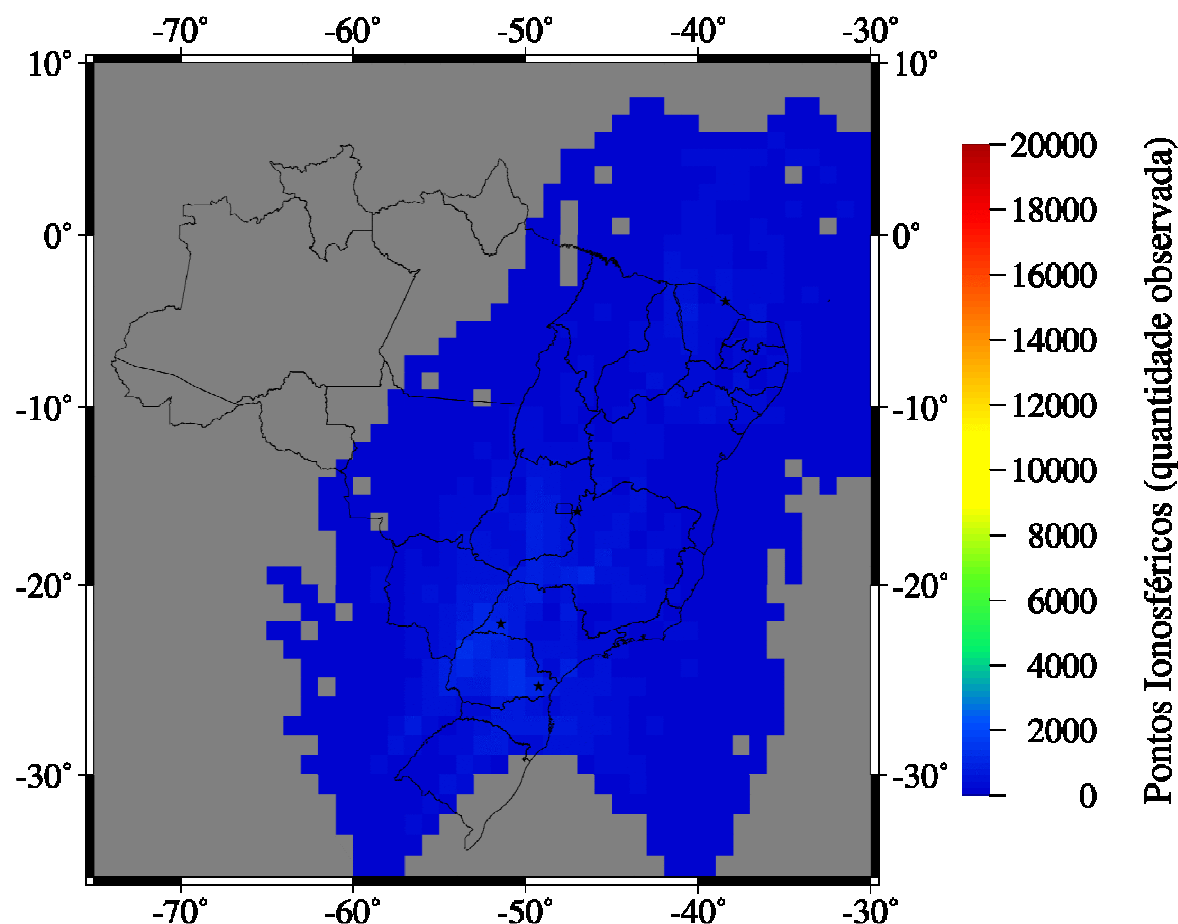
- Aguiar (2006 - atual):
  - aplicativo para análise da distribuição das estações de referência e da constelação de satélites sobre a Grade Ionosférica e seu erro vertical;
  - pacote de softwares que possuem bibliotecas próprias e também utilizam bibliotecas do GMT e ImageMagick (livres);
  - efemérides precisas para calcular a posição dos satélites.

# Metodologia

- Análise da quantidade e cobertura temporal dos pontos ionosféricos:
  - Malha de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ;
  - Duração: 24 h;
  - Intervalo de tempo: 15 s;
  - Função da evolução da densidade de estações;
    - 31 de dez de 1996, 2006, 2007 e 2012.
  - Função da inclusão do GLONASS;
    - 31 dez 2012.

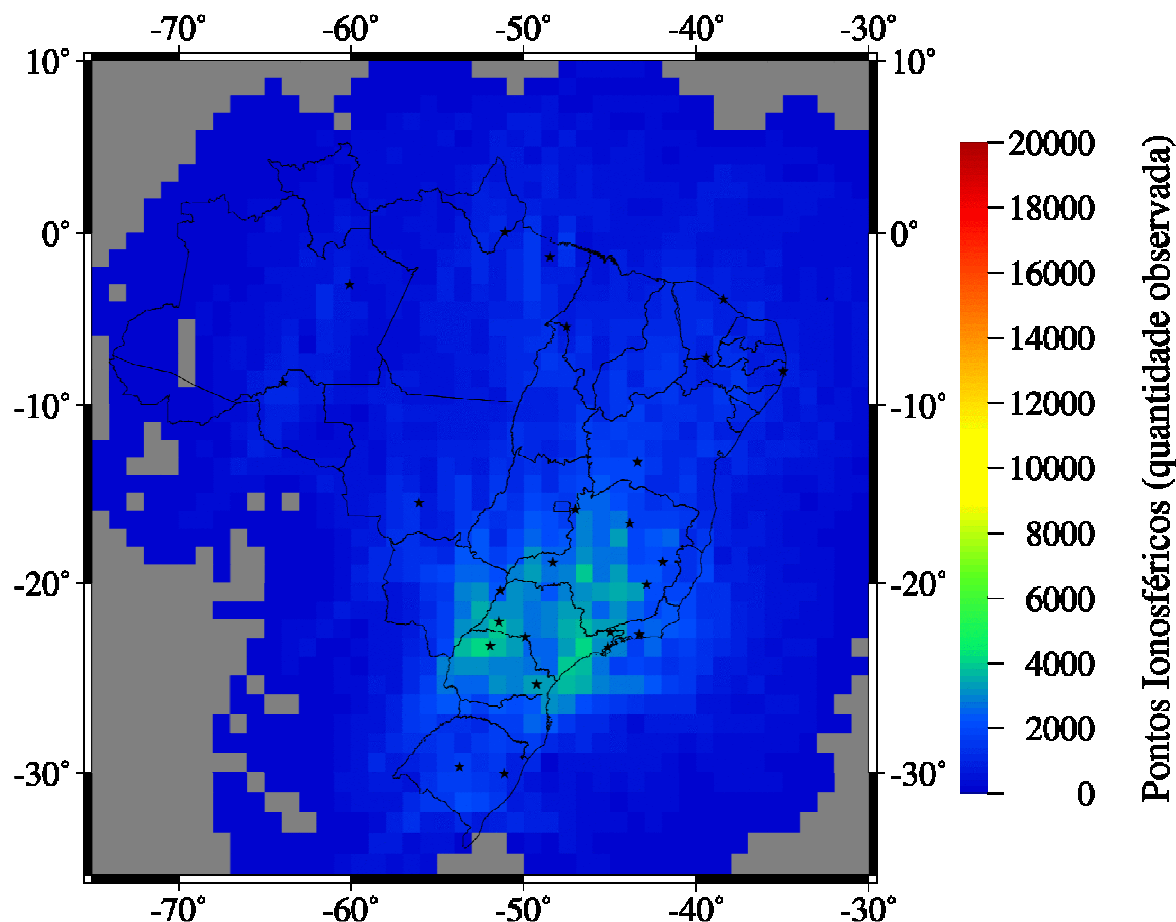
# Quantidade de pontos ionosféricos: Densidade de estações 1996

- Total:  
195.904
- Pixel sem  
informação:  
52%



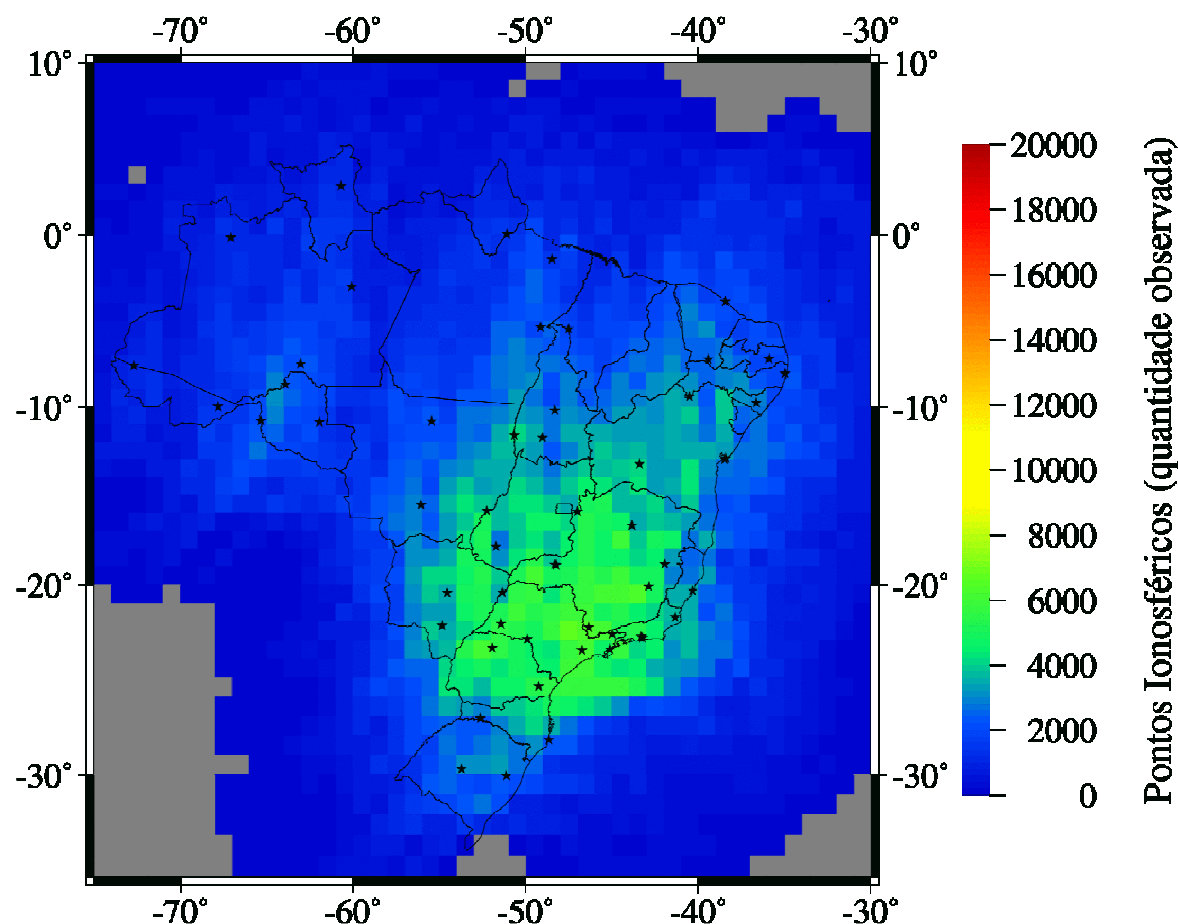
# Quantidade de pontos ionosféricos: Densidade de estações 2006

- Total:  
1.218.271
- Pixel sem  
informação:  
16%



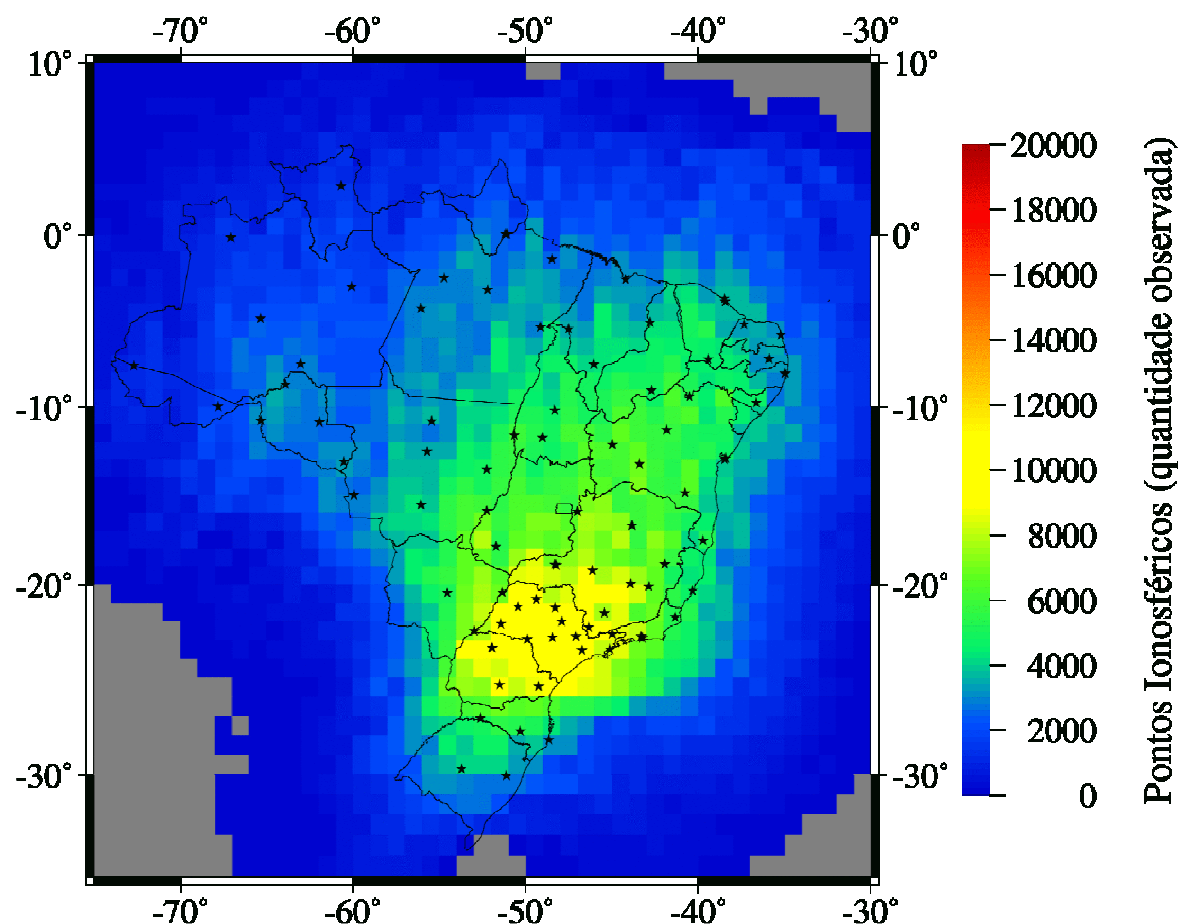
# Quantidade de pontos ionosféricos: Densidade de estações 2007

- Total:  
2.718.951
- Pixel sem  
informação:  
8%



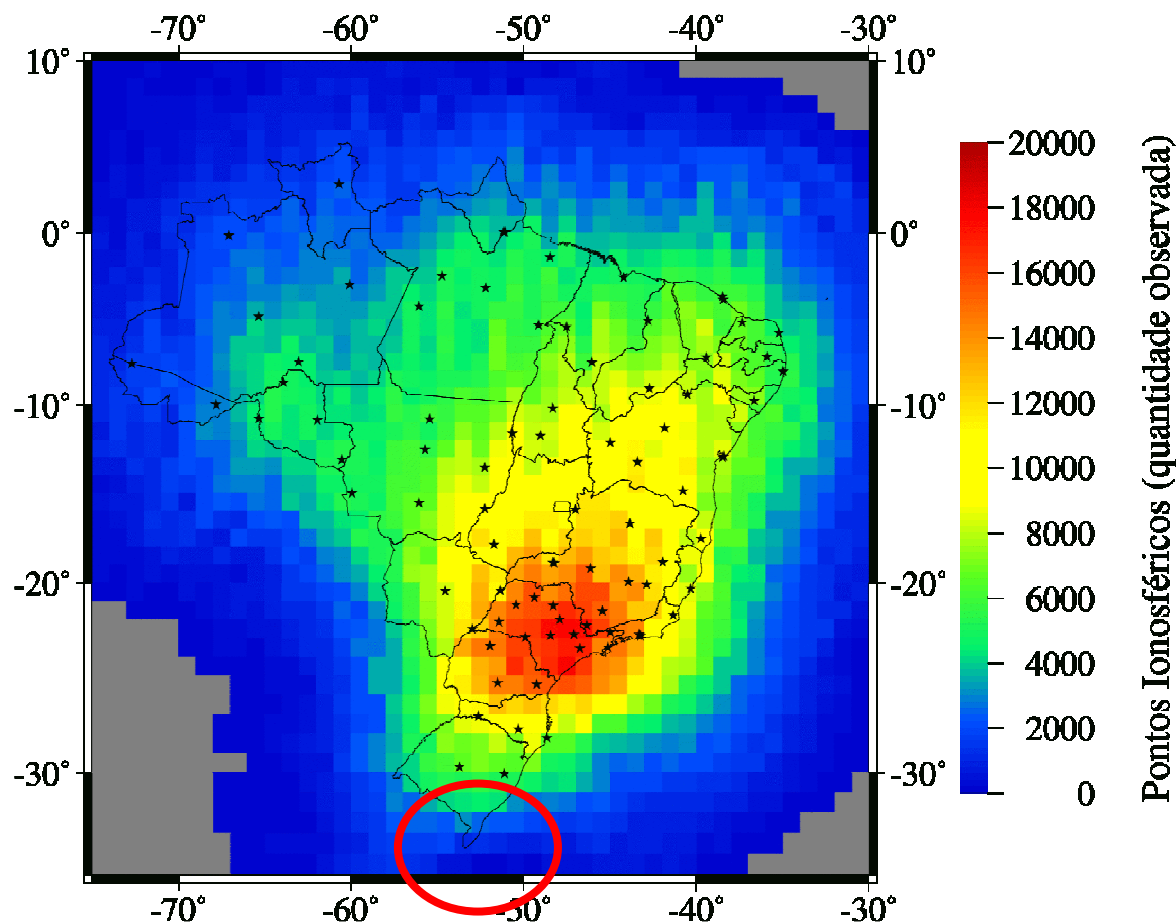
# Quantidade de pontos ionosféricos: Densidade de estações 2012

- Total:  
4.308.352
- Pixel sem  
informação:  
7%



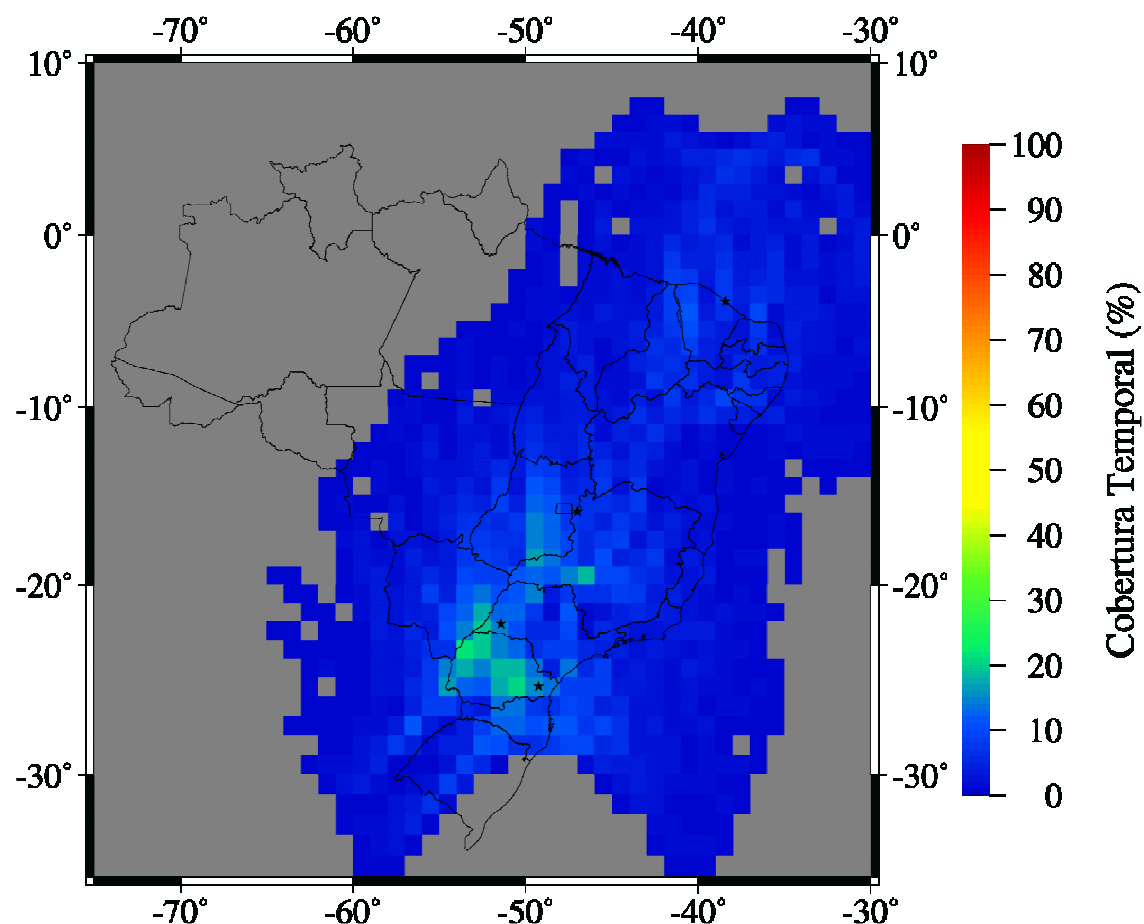
# Quantidade de pontos ionosféricos: Inclusão do GLONASS 2012

- Total:  
7.244.655
- Pixel sem  
informação:  
6%



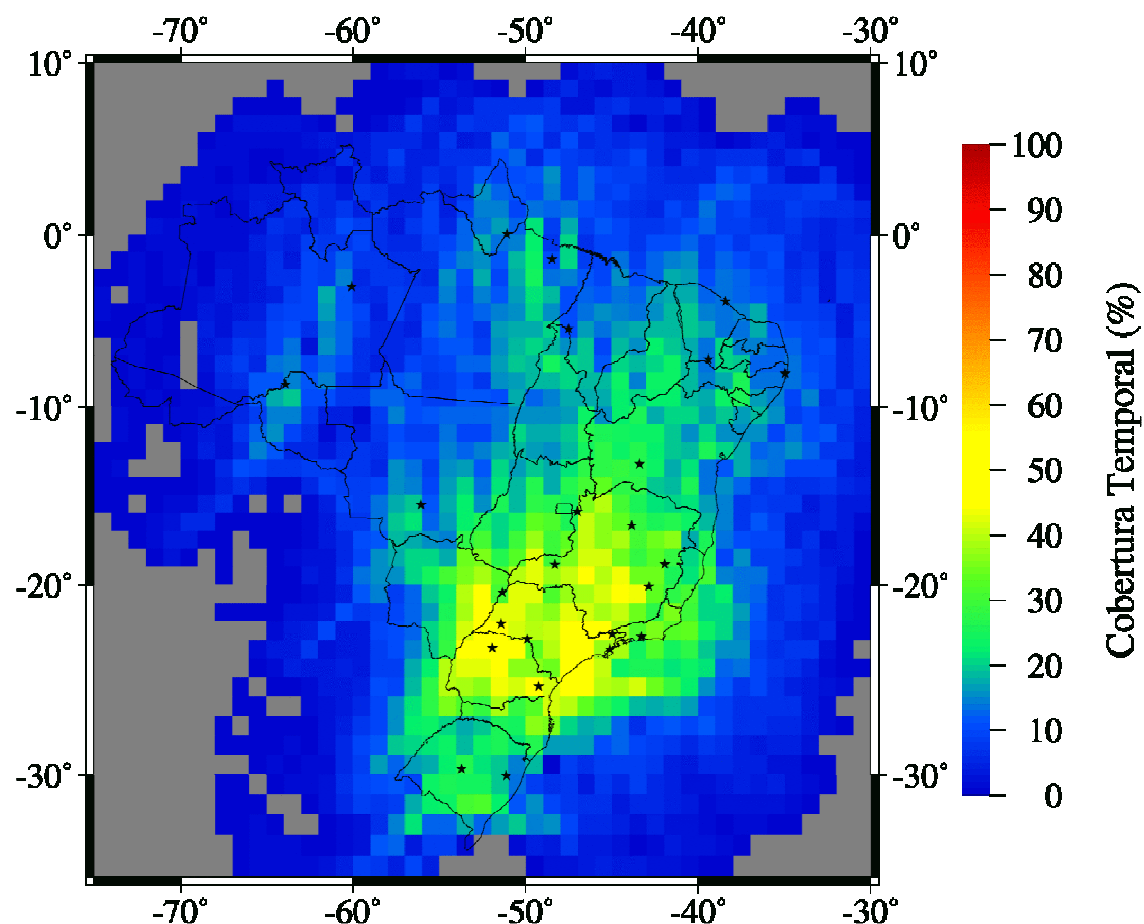
# Cobertura temporal dos pontos ionosféricos: 1996

- Média: 1,7%
- 30% sobre parte do Paraná



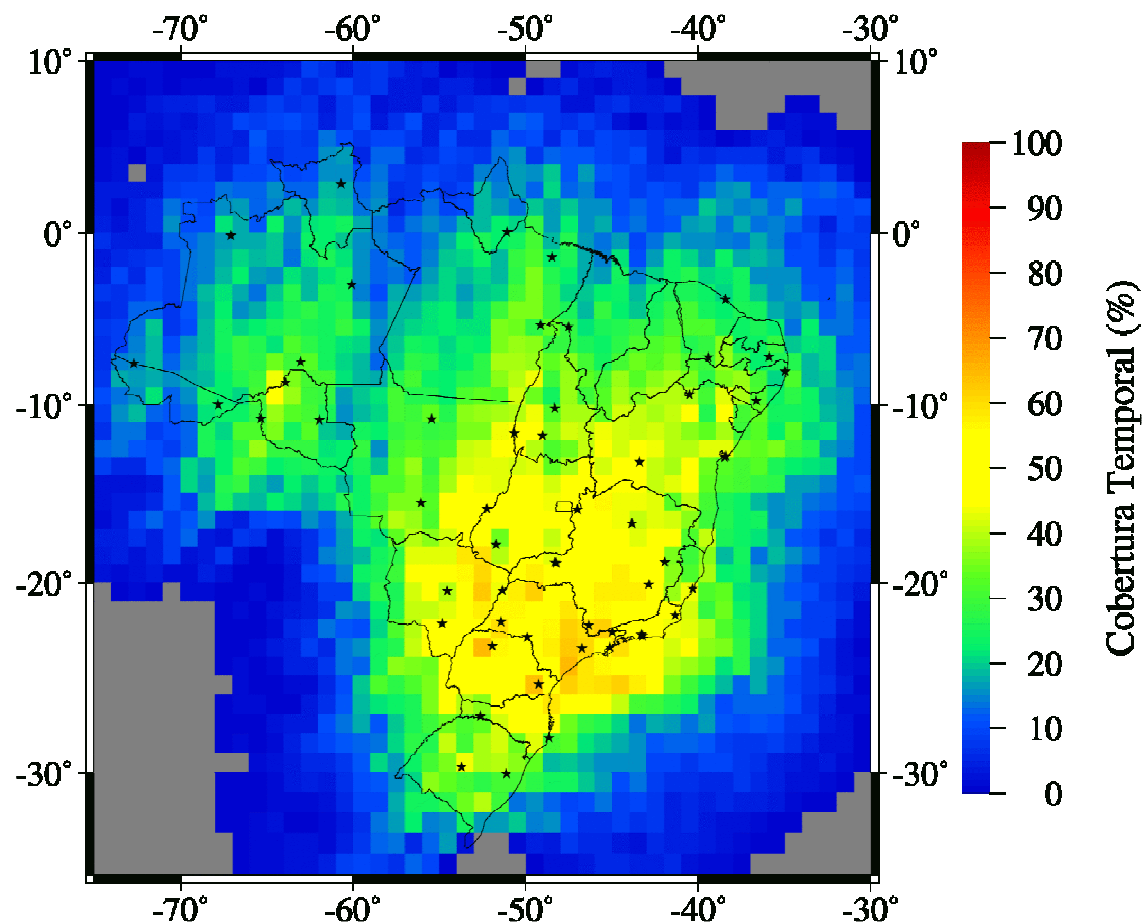
# Cobertura temporal dos pontos ionosféricos: 2006

- Média: 9%
- 50% sobre parte do Paraná e São Paulo



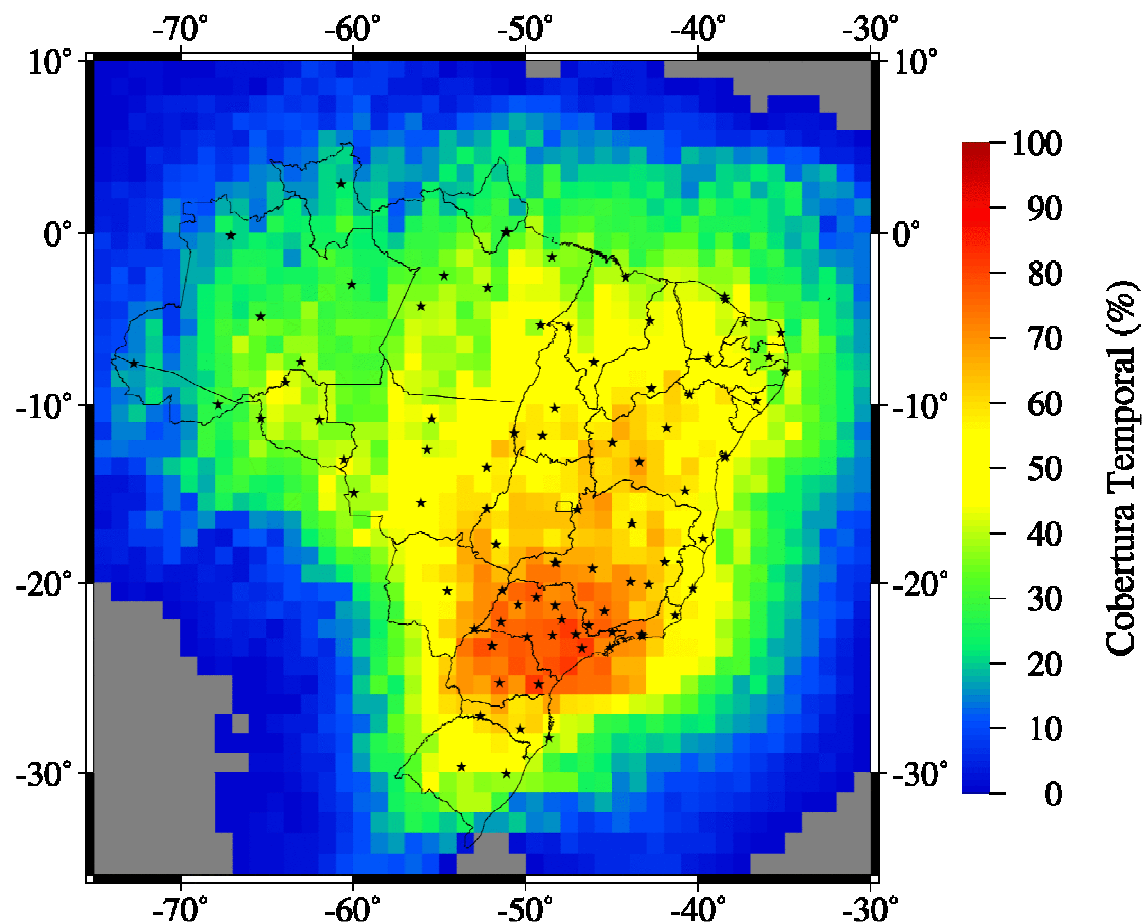
# Cobertura temporal dos pontos ionosféricos: 2007

- Média: 18%
- 65% em pequenas áreas do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul



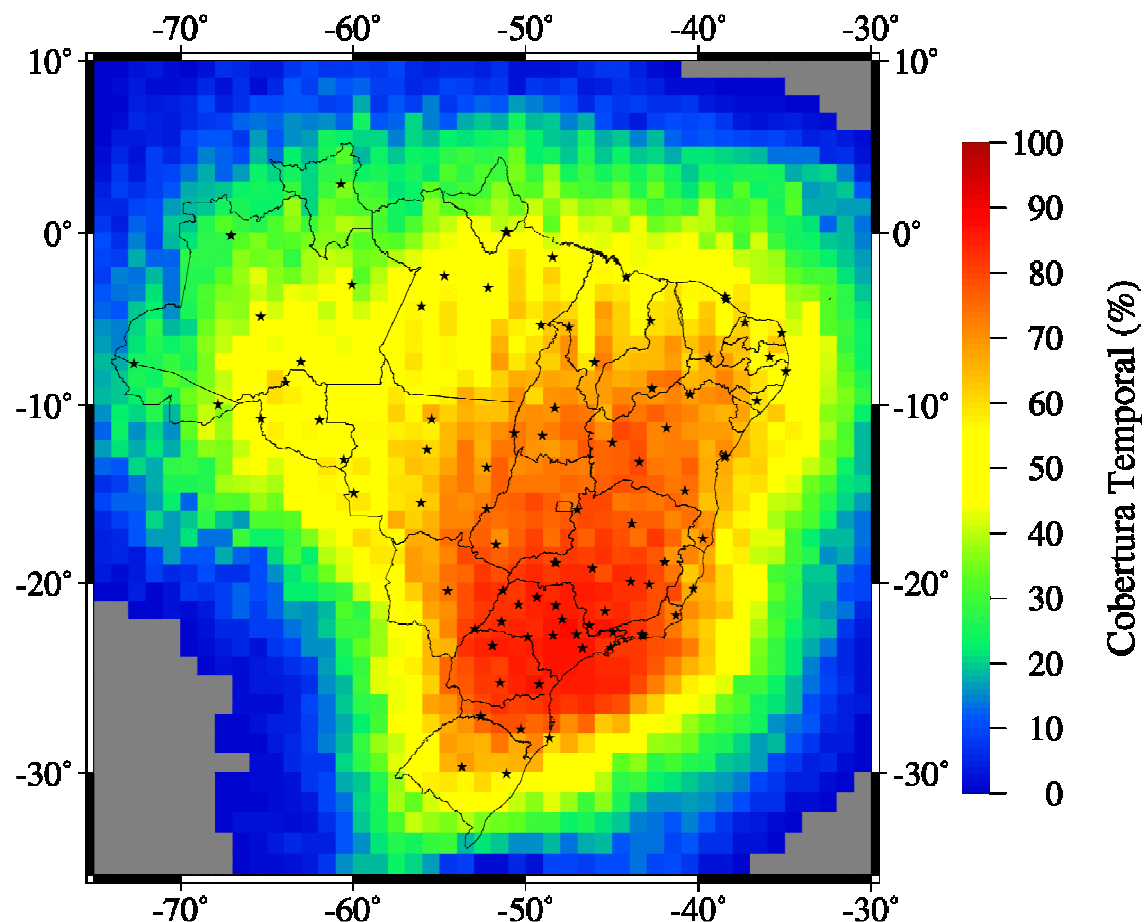
# Cobertura temporal dos pontos ionosféricos: 2012

- Média: 25%
- 90% sobre regiões de São Paulo e Paraná



# Cobertura temporal dos pontos ionosféricos: Inclusão do GLONASS

- Média: 34%
- 100% sobre São Paulo e grande parte do Paraná



# Resultados

- Evolução da densidade de estações da RBMC, bem como da quantidade de satélites:
  - aumento de 3600% na quantidade de IPPs;
  - aumento de 1900% da cobertura temporal (média).
- A inclusão dos satélites GLONASS:
  - aumento de 68% na quantidade de IPP;
  - aumento de 41% da cobertura temporal (média).

# Conclusão

- A RBMC é uma **fonte de informação contínua** sobre a atmosfera e sua capacidade de monitorar o TEC foi avaliada;
- Verificação do impacto do aumento da densidade de estações e de satélites sobre a quantidade e cobertura temporal dos IPPs produzidos pela RBMC;
- Em dez 2012 a RBMC e os satélites GPS e GLONASS eram capazes de produzir mais de 7 milhões de IPPs, durante 24 h e com intervalo de 15 s, sobre a região de estudo.

# Conclusão

- A inclusão dos satélites GLONASS mostrou que é importante considerar satélites de múltiplas constelações.
- O Estado de São Paulo possui a melhor situação (FCT/Unesp) enquanto que a região norte, noroeste do Mato Grosso e o extremo sul do Brasil apresentam a pior capacidade de monitoramento.
- É importante destacar que além de permitir sondar a ionosfera, a RBMC possibilita a produção de insumos que podem ser utilizados para melhorar o posicionamento com GNSS no Brasil.

Obrigado!!!