

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N<sup>o</sup> 65/3: 529-539  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **COMPARAÇÃO DA COBERTURA E ACURÁCIA ENTRE OS SISTEMAS GLONASS E GPS OBTIDAS DOS DADOS DE OBSERVAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO**

*Comparison of Coverage and Accuracy between GLONASS and GPS Systems  
Obtained from Observation Data of a Brazilian Network for Continuous  
Monitoring Station*

**Jhones Alberto Vaz, Rodrigo de Sousa Pissardini  
& Edvaldo Simões da Fonseca Junior**

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP**  
**Departamento de Engenharia de Transportes – PTR / LTG - Laboratório de Topografia e Geodésia**  
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, n<sup>o</sup> 83- Cidade Universitária- São Paulo /SP, Brasil – CEP 05508-900  
{jhones.vaz, pissardini, edvaldoj}@usp.br

*Recebido em 08 de novembro, 2012/ Aceito em 23 de janeiro, 2013*  
*Received on november 08, 2012/ Accepted on january 23, 2013*

### **RESUMO**

O presente artigo descreve o sistema GLONASS e seus conceitos fundamentais, explorando suas características em comparação com o sistema GPS. É realizada uma análise de dados de observação GLONASS e GPS para os 200 primeiros dias de 2012, de modo a avaliar a acurácia e qualidade de cobertura de ambos os sistemas em território brasileiro. Para isto, foram obtidos os dados de posicionamento absoluto de uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) para ambos os sistemas, os quais foram processados em um serviço online de PPP - Posicionamento por Ponto Preciso. Sobre os resultados dos processamentos avaliam-se a acurácia e a cobertura dos sistemas analisados para soluções de navegação e posicionamento, de forma independente e combinada. Mediante análise realizada foram obtidas recomendações sobre as condições em que, inicialmente, cada sistema é mais conveniente.

**Palavras-chave:** Sistemas de Navegação Global por Satélite, GLONASS, GPS.

### **ABSTRACT**

This paper describes the fundamental concepts of GLONASS system, exploring its features in comparison with the GPS system. An analysis of GLONASS and GPS observations data is presented for the first 200 days of 2012, intending assess the accuracy and quality of coverage of both systems in Brazilian territory. For this, was obtained positioning data of a station of the Brazilian Network for Continuous Monitoring (RBMC) for both systems, which were processed in an online service of Precise Point Positioning. On the results of the processing we evaluate the accuracy and coverage of the analyzed systems for navigation and positioning solutions, independently and combined. Through analysis were obtained recommendations on the conditions in which, initially, each system is more convenient.

**Keywords:** Global Navigation Satellite Systems, GLONASS, GPS.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de Navegação Global por Satélites (em inglês Global Navigation Satellite Systems - GNSS) designam os sistemas de satélites que proveem posicionamento geoespacial com cobertura terrestre global (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007). Entre os principais sistemas GNSS estão inclusos o sistema estadunidense Global Positioning System (GPS) e o sistema russo GLONASS. A utilização de dados GNSS, em especial aqueles obtidos pelo sistema GPS, têm adquirido especial importância no Brasil para diversas aplicações, entre as quais estão incluídas: geodinâmica, navegação precisa em águas costeiras, estabelecimento de redes geodésicas, determinação altimétrica, agricultura de precisão, demarcação de terrenos e estudos relacionados com a atmosfera (MONICO, 2008).

No Brasil, a maior parte das aplicações de posicionamento, navegação e mapeamento estão apoiadas no sistema GPS. Isto é consequência do fato de ser o sistema mais antigo, tendo se tornado completamente operacional em Março de 1994 e permanecendo como único sistema com esta característica até a completude do sistema GLONASS que só ocorreu em Dezembro de 2011. Ainda que outros sistemas estejam sendo desenvolvidos, até Agosto de 2012 apenas o GPS e o GLONASS estavam completamente operacionais, porém a qualidade da cobertura e da acurácia do sistema GLONASS ainda não foram devidamente mensuradas para uso em território brasileiro (para uma discussão da definição de acurácia em sistemas GNSS e dos conceitos relacionados recomenda-se a leitura de Monico et al (2009)).

É conveniente a comparação da precisão e acurácia obtidas pelos dois sistemas e os casos em que um ou outro sistema tenha o uso mais recomendável considerando o território brasileiro. Esta análise se faz necessária pelas necessidades de melhor acurácia em situações que o GPS não possa oferecê-las, além do aumento de disponibilidade de satélites, melhoria da cobertura de sinal e não dependência exclusiva de um único sistema GNSS. Este artigo faz uma análise preliminar sobre um conjunto de dados de observação dos sistemas GPS e GLONASS, gerados a partir de uma estação de monitoramento da Rede Brasileira de

Monitoramento Contínuo (RBMC), de forma a consolidar uma série histórica de dados. Sobre esta série de dados foram aplicadas técnicas de análise estatística descritiva, de forma a mensurar-se a acurácia e possíveis lacunas (com seus motivos) na obtenção de sinal dos sistemas GPS e GLONASS, oferecendo assim o cenário de como os sistemas GNSS estão em operação.

Este artigo também descreve de forma consolidada os fundamentos teóricos do sistema GLONASS, obtidos mediante revisão bibliográfica na literatura científica nas línguas inglesa e portuguesa, utilizando como descritores GLONASS e GPS, no período entre 1981 e 2012. Os fundamentos são apresentados de forma a contextualizar as informações disponibilizadas na análise e fornecer uma introdução técnica adequada ao tema, o que é raro em língua portuguesa. Para o sistema GPS, há uma extensa literatura técnica específica em diversos idiomas, entre os quais se recomenda a leitura de Kaplan e Hergarty (2006); Wellenhof, Lichtenegger e Wasle (2007) e Monico (2008).

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO SISTEMA GLONASS

### 2.1. Conceito de sistema GNSS

O termo GNSS foi utilizado pela primeira vez em 1991 pela Associação Internacional de Aviação Civil (International Civil Aviation Organization - ICAO) durante a X Conferência de Navegação Aérea para designar os sistemas de posicionamento por satélites artificiais com cobertura mundial (SEEBER, 2003). Até Agosto de 2012 dois sistemas estavam operacionais: o sistema estadunidense NAVSTAR-GPS e o sistema russo GLONASS, ambos considerados como GNSS de primeira geração. GPS e o GLONASS foram desenvolvidos para fins militares, mas suas funcionalidades foram parcialmente estendidas também para uso civil. Outros sistemas em desenvolvimento incluem o sistema da Comunidade Europeia denominado GALILEO (desenvolvido pela comunidade civil) e o sistema chinês BEIDOU/COMPASS (de uso civil e militar), ambos previstos para estarem completamente operacionais até o ano de 2020 (ECONOMIST, 2012; EUROPEAN REPORT, 2012). Países como Índia (sistema IRNSS) e Japão (sistema QZSS) também têm desenvolvido

seus próprios sistemas regionais de navegação (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; RAO, 2010).

Associados aos sistemas GNSS estão os sistemas de expansão chamados de SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*). O SBAS utiliza estações terrestres que rastreiam os satélites GNSS. A referida estação tem as suas coordenadas conhecidas com acurácia. Para cada estação integrante da rede são geradas mensagens com correções para o posicionamento que, em seguida, são enviadas para satélites próprios que as retransmitem aos usuários finais (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007).

## 2.2. GLONASS

### 2.2.1. Definição e Resumo Histórico

GLONASS (acrônimo para o termo Sistema de Navegação Global por Satélites em russo) designa o sistema de navegação criado na extinta União Soviética (URSS - atual Rússia). Assim como seu congêneres estadunidense, o sistema GLONASS foi criado para fins militares de posicionamento e navegação. O desenvolvimento do sistema iniciou-se em 1976 e tornou-se plenamente operacional em Dezembro de 2011, ao completar a constelação com um número de satélites suficientes para

obter cobertura global (IAC, 2012). Na Figura 1, obtida de Urlichich et al (2011) é possível visualizar o histórico de variação do número de satélites do sistema. O primeiro satélite do sistema foi lançado em Outubro de 1982, ocorrendo o primeiro teste com uso de quatro satélites para posicionamento em 1984. No ano de 1988, a URSS ofereceu à comunidade internacional o uso livre dos sinais GLONASS, que foi o primeiro passo para utilização do sistema por usuários que não estavam vinculados aos militares soviéticos (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007). Em 1990 / 1991, à época da extinção da URSS, uma constelação de 10-12 satélites estava em operação, cujos testes permitiram considerar, em 1993, o sistema como plenamente operacional (ainda que não com alcance global). A partir de 1994, iniciou-se o processo para completar a constelação para obter alcance global, que esteve completamente operacional no início do ano de 1996 (MONICO, 2008), porém a crise econômica que se seguiu à extinção da URSS, fez com que, entre os anos de 1996 / 2001, houvesse uma redução dos investimentos e na manutenção do sistema, diminuindo drasticamente o número de satélites operacionais. Em 1999, o sistema GLONASS foi declarado como um sistema de uso duplo (militar e civil) e aberto para

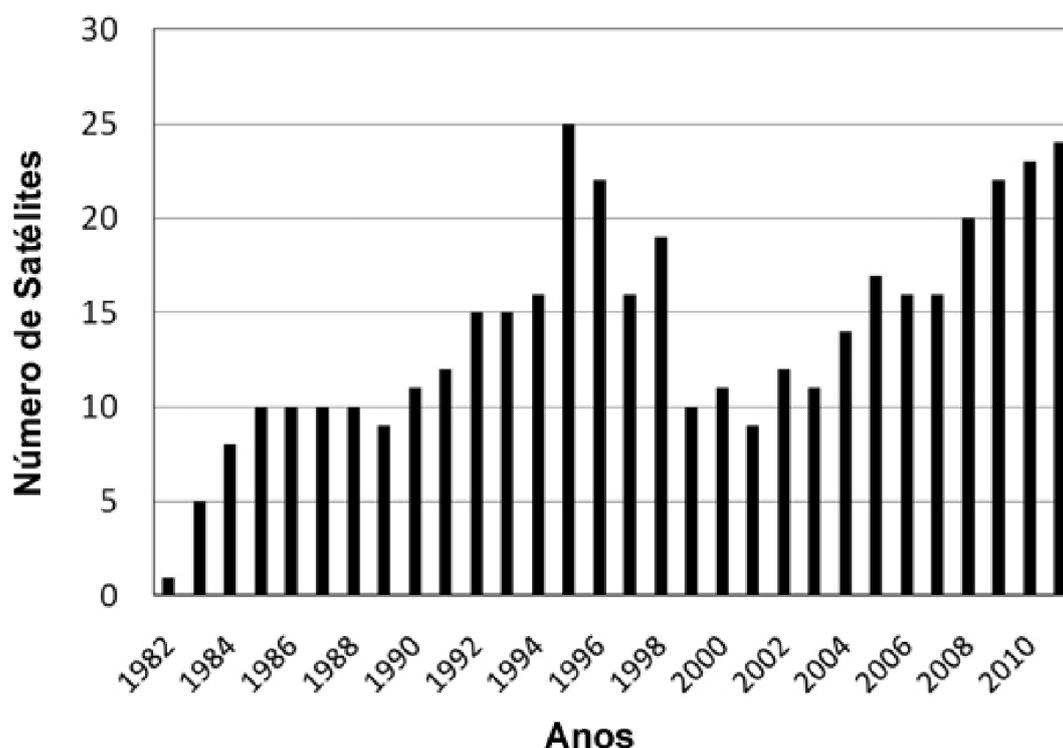


Fig.1 - Evolução do número de satélites GLONASS por ano (URLICHICH et al, 2011)

cooperação internacional. Isto possibilitou o início de negociações para a integração do sistema GLONASS ao sistema GALILEO (KAPLAN; HERGARTY, 2006; RAO, 2010).

Com a recuperação econômica russa na primeira década do século XXI, a modernização do sistema GLONASS foi considerada prioritária. Em 2003, foi lançada a segunda geração de satélites chamada de GLONASS-M com modernizações no sistema que incluíam alterações na estrutura dos satélites (como a redução do peso), aumento da vida operacional para sete anos, a adição de uma segunda modulação civil na banda de frequência L2, melhoria e maior estabilidade nos sinais de navegação (URLICHICH et al, 2011). No ano de 2007, todas as restrições do sistema foram eliminadas e o sinal de uso militar ficou disponível também para uso civil (KAPLAN; HERGARTY, 2006). Em 2011 foi lançado o primeiro satélite da terceira geração de satélites, chamada de GLONASS-K, que deve atualizar completamente o sistema até o ano de 2021. Entre as inovações propostas para esta geração de satélites está o aumento da vida operacional útil dos satélites para 10 anos, transmissão de cinco sinais de navegação (ao invés de dois) e adição de sinais utilizando *Code Division Multiple Access* (CDMA), compatíveis com sinais GPS/GALILEO (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; URLICHICH et al, 2011).

### 2.2.2. Estrutura do sistema GLONASS

De forma semelhante ao GPS, o sistema GLONASS é composto por três segmentos: espacial, usuário e controle (GLONASS ICD, 2008; MONICO, 2008).

O segmento espacial é composto por uma constelação de 24 satélites em Média Órbita Terrestre (*medium Earth orbit* - MEO), distribuídos em três planos orbitais distintos, situados aproximadamente a 19.100 km de altitude, separados em 120 graus, com uma inclinação de 64,8 graus em relação ao plano do Equador. Cada satélite do sistema tem um período de revolução de 11 horas, 15 minutos e 40 segundos. Em cada plano orbital há um conjunto de 8 satélites, igualmente espaçados, onde 7 satélites estão operacionais e um satélite é sobressalente (GLONASS ICD, 2008 ; RAO, 2010). O segmento espacial tornou-se completamente operacional no dia 23 de

dezembro de 2011, permitindo que sejam vistos em qualquer lugar da Terra entre seis e onze satélites simultaneamente (MONICO, 2008). O status da constelação GLONASS pode ser acompanhado de forma atualizada em IAC (2012).

O segmento de usuário é composto pelos receptores GLONASS que calculam sua posição, tempo e velocidade na superfície terrestre através do rastreamento de satélites GLONASS. Para calcular a posição de um determinado receptor é necessário o rastreamento de, no mínimo, quatro satélites: três para determinar as coordenadas X, Y e Z, e o quarto para sincronizar o tempo (ROSSBACH, 2001; GLONASS ICD, 2008) (ROSSBACH, 2001). Até o ano de 1993, a maior parte dos receptores GLONASS era construída exclusivamente na Rússia, porém desde aquela data têm se tornado mais comum o desenvolvimento de receptores GPS/GLONASS combinados (RAO, 2010).

O segmento de controle e monitoramento do sistema GLONASS localiza-se em território russo e é composto por um Sistema de Controle Central (SCC), uma Central de Sincronização (CS) que é responsável pelo sistema de tempo GLONASS e as estações de comando e rastreamento (ECR). O SCC sob o comando da Força Espacial Russa está localizado em um complexo militar no Centro Espacial de Krasnoznamensk a 70 km de Moscou e é responsável por prever as órbitas, controlar os satélites, sincronizar os relógios, entre outras atribuições (MONICO, 2008). A CS localiza-se em Shchyolkovo na região de Moscou e as ECRs estão distribuídas em diversas cidades no território russo (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007). De forma resumida, as ECRs obtêm os dados de distância e telemetria de cada satélite GLONASS. Estes dados são processados no SCC para determinar o estado do relógio dos satélites e suas órbitas e o resultado do processamento obtido é retornado para as ECRs, que retransmitem atualizações para os satélites. Cada satélite é equipado com refletores lasers que recebem e calibram, de forma periódica, os dados entre as estações e os satélites (SEEBER, 2003). O sistema é sincronizado pelo SCC através de um sistema central composto por um relógio atômico de hidrogênio com alta precisão que, integrado aos relógios atômicos de césio dos satélites, dá origem ao sistema

de tempo GLONASS (ROSSBACH, 2001; WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; MONICO, 2008).

### 2.2.3. Características dos Sinais GLONASS

O GLONASS transmite três tipos de informação: código pseudoaleatório (PRN), dados de almanaque e dados das efemérides. O GLONASS, de forma semelhante ao GPS, transmite dois códigos PRN: *Coarse/Acquisition (C/A)* e *Precision Code (P-Code ou P)*, também chamados de Precisão Padrão (*Standard Precision- SP*) e alta precisão (*High Precision- HP*), respectivamente. Estes códigos são transmitidos em duas frequências portadoras chamadas de L1 e L2. A frequência L1 transmite o sinal de C/A e P e a L2 transmite o sinal P, que é transmitido em quadratura de fase com o sinal de C/A com uma largura de banda dez vezes maior. Assim, o código C/A possui frequência de 0.511 MHz e o código P possui frequência de 5.11 MHz, o que pode tornar as pseudodistâncias GLONASS menos acuradas do que as do GPS (ROSSBACH, 2001; WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; MONICO, 2008).

Cada satélite transmite seus sinais em uma frequência própria gerada a partir de um intervalo distinto de uma frequência central de canais: L1 está situada na banda entre 1597-1617 MHz e a L2 entre 1240-1260 MHz, onde o espaçamento entre os canais em L1 é de 0,5625 MHz e entre os canais de L2 é de 0,4375 MHz (ROSSBACH, 2001). Desta forma, as frequências de cada satélite podem ser representadas pelas expressões (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007):

$$L1 = 1602 + 0,5625 * n \text{ (MHz)}$$

$$L2: 1246 + 0,4375 * n \text{ (MHz)}$$

onde  $n$  representa o número do satélite. Todos os satélites transmitem o mesmo código PRN, o que faz com que os satélites sejam diferenciados pela frequência do sinal enviado, além de um número sequencial e um número baseado na série Cosmos (MONICO, 2008). O sistema GLONASS não ativou uma política de técnicas de segurança com o objetivo de degradar a acurácia dos sinais. Apenas é mantida a distinção

entre os sinais de alta precisão e os de precisão padrão, destinados aos usuários autorizados e não autorizados, respectivamente (ROSSBACH, 2001; MONICO, 2008). Isto significa que ainda que o sinal de alta precisão não seja encriptado ou degradado, ele não é oficialmente avalizado pelo Ministério de Defesa da Rússia para uso não autorizado (WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007).

O processo de divisão da frequência em diferentes bandas é feito utilizando a técnica de *Frequency-Division Multiple Access (FDMA)*, o que demanda receptores de maior custo pela necessidade de processamento de múltiplas frequências (KAPLAN; HERGARTY, 2006). No entanto, a geração GLONASS-K têm a proposta de também utilizar a técnica CDMA sem deixar de utilizar a técnica FDMA.

### 2.2.4. Tempo e sistema de coordenadas GLONASS

O sistema de tempo no GLONASS é baseado em uma escala atômica, não contínua, orientada ao horário padrão da cidade de Moscou, Rússia (UTC(SU)) e que considera os saltos de segundo. O sistema de tempo GLONASS é gerado com base em relógios de hidrogênio na CS. Há uma comparação periódica entre o tempo da CS e o tempo de cada satélite da constelação, sendo enviadas correções temporais duas vezes ao dia pelo segmento de controle de modo que a diferença entre os relógios dos satélites e do UTC (SU) não seja maior do que 100 nanossegundos (ROSSBACH, 2001; WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; GLONASS ICD, 2008; MONICO, 2008; RAO, 2010).

Inicialmente o sistema de coordenadas do GLONASS utilizava o Sistema Geodésico Soviético - 1985 (SGS-1985). O nome foi modificado após o colapso da URSS e, desde Agosto de 1993, GLONASS transmite os dados de suas efemérides no, agora, Earth Parameters System 1990 (em russo, *Parametry Zemli 1990 - PZ-90*). Desde 20 de setembro de 2007 é utilizada uma versão mais refinada denominada PZ-90.02.

De acordo com o documento GLONASS ICD (2008), o PZ-90 foi desenvolvido na Rússia, é geocêntrico, possuindo uma origem localizada no centro de massa da Terra e três

eixos ortogonais sendo:

- **Eixo Z:** direcionado ao polo convencional de acordo com as recomendações do International Earth Rotation Service (IERS);

- **Eixo Y:** direcionado ao ponto de interseção do plano equatorial e do meridiano de origem definido pelo International Time Bureau (ITB);

- **Eixo X:** completa um sistema ortogonal dextrógiro.

O sistema é realizado pelo posicionamento de um conjunto de estações terrestres com coordenadas bem definidas, estabelecidas pelas observações de satélites geodésicos Geo-IK (BOUCHER; ALTAMIMI, 2001). Os parâmetros geodésicos do sistema PZ-90 são descritos de forma mais detalhada no documento GLONASS ICD (2008), sendo sua versão refinada alinhada com os parâmetros do *International Terrestrial Reference Frame 2000* (ITRF2000) e do *World Geodetic System* (WGS84) do sistema GPS ao nível de poucos centímetros (MONICO, 2008), porém demanda o estabelecimento de parâmetros de transformação que estabeleçam o relacionamento entre os referenciais. Algumas metodologias para a realização da transformação foram propostas, mas nenhuma determinou um padrão de forma satisfatória (SANTOS et al, 2000; BOUCHER; ALTAMIMI, 2001). Entre as metodologias propostas, uma das mais aplicadas utiliza os parâmetros gerados pela campanha *International GLONASS Pilot Experiment 1988*

(IGEX-88) (BOUCHER; ALTAMIMI, 2001; MONICO, 2008). Monico (2008) apresenta os parâmetros de transformação utilizados no Brasil e descreve as transformações de PZ-90 para WGS84 (época 1997,0), além dos parâmetros de transformação entre as realizações do International Terrestrial Reference System (ITRS), que combinados permitem solucionar a maior parte das necessidades de transformação entre os sistemas.

### 2.3. Estudos comparativos entre os sistemas GLONASS e GPS

Diversos estudos científicos foram efetuados pela comunidade internacional comparando a precisão e cobertura do sistema GLONASS com o sistema GPS e realizando a proposta de integração dos sistemas para aumentar a cobertura e acurácia, mesmo antes de ambos os sistemas tornarem-se totalmente operacionais. No entanto, até Agosto de 2012 são escassas as publicações que analisam o sistema GLONASS com enfoque e aplicação no território brasileiro, sendo as citações sobre o sistema, em geral, orientadas para a descrição dos fundamentos operacionais e dos modelos envolvidos para integração com o sistema GPS.

Uma comparação inicial entre as características básicas entre os sistemas GLONASS e GPS é apresentada no Quadro 1.

Atualmente, o maior número de órbitas

**Quadro 1** - Características GLONASS e GPS, atualizadas para Agosto de 2012, adaptado de Monico (2008)

	GLONASS	GPS
<b>Número de Satélites</b>	24	31
<b>Número de Planos Orbitais</b>	3	6
<b>Inclinação da Órbita</b>	64,8°	55°
<b>Altitude da Órbita</b>	19.100 Km	20.200 Km
<b>Período de Revolução</b>	11h15m40s	11h50m00s
<b>Sistema de Referência</b>	PZ-90	WGS84
<b>Sistema de Tempo</b>	TUC (SU)	TUC (USNO)
<b>Frequência das Portadoras</b>	L1:1602 + 0,5625 * n (MHz) L2:1246 + 0,4375 * n (MHz) onde n é o número do satélite	L1: 1575,42 MHz L2: 1227,60 Mhz
<b>Frequências de Código</b>	C/A:0,511 Mhz P: 5,11 Mhz	C/A:1,023 Mhz P: 10,23 Mhz
<b>Técnica de Separação de Sinal</b>	FDMA CDMA (em testes)	CDMA

e satélites permite afirmar, em teoria, que o GPS possui melhor cobertura global do que GLONASS, apresentando PDOP reduzido na maior parte do planeta. No entanto, desde o surgimento do GLONASS, diversas pesquisas têm levantado que a combinação entre os sistemas, isto é, a recepção de ambos os sinais com integração entre os resultados dos processamentos permitam promover o aumento da acurácia graças à obtenção de diversas vantagens que os sistemas, isoladamente, não conseguem obter. Estas vantagens, de acordo com Urlichich et al (2011) incluem:

- maior probabilidade de receber sinais com melhor geometria (PDOP) devido a um maior número de satélites disponíveis para observação;
- obtenção de um maior número de sinais na maior parte dos cenários;
- minimização do bloqueio de sinais devido a obstáculos diversos.

### **3. ANÁLISE DOS DADOS DE OBSERVAÇÃO GLONASS E GPS**

#### **3.1. Descrição da Estação de Observação de Observação e dos Dados Obtidos**

A seguir é apresenta-se um conjunto de análises estatísticas sobre uma série temporal de dados de observação GLONASS e GPS. Estes dados foram extraídos de arquivos de observação, em formato RINEX, de uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A RBMC é uma rede de estações de monitoramento de alto desempenho dos sistemas GNSS, onde cada estação possui coordenadas conhecidas e, por isto, pode ser utilizada como um ponto de referência, eliminando a necessidade de imobilização de um receptor para ocupação de um ponto de interesse para obter coordenadas através do método relativo (IBGE, 2012c). Desta forma, também se torna possível a análise da acurácia e qualidade de um sistema GNSS utilizando um ponto de referência com coordenadas precisas.

Em Agosto de 2012 a RBMC contava com 93 estações, porém nem todas as estações monitoravam satélites GLONASS. Para iniciar

o processo de análise, a escolha da estação cujos dados foram obtidos para este trabalho teve como pré-requisito possuir dados concomitantes de observação de satélites GLONASS e GPS desde que o sistema GLONASS tornou-se completamente operacional. A estação mais próxima dos pesquisadores com dados completos foi a de Presidente Prudente (PPTE), pertencente à RBMC, com o código internacional 93900. A estação consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada, localizado no Campus da Universidade Estadual Paulista (UNESP) em Presidente Prudente - SP (IBGE, 2012a). Suas coordenadas oficiais em SIRGAS2000 (Época 2000,4), além das características dos receptores e antena estão no Quadro 2. Inicialmente esta pesquisa foi feita e testada para uma única estação, sendo que a proposta é, posteriormente, estender esta análise para outras estações.

Os dados de observação obtidos compreendem o período entre 01 de Janeiro de 2012 e 18 de Julho de 2012, totalizando 200 dias de análise. Estes dados foram segmentados em dois grupos: os satélites em observação separados por posição e época e as características dos sinais obtidos em cada sistema. Além destes dois grupos, foi criado um terceiro resultado do processamento dos dados de observação em um produto de Posicionamento Preciso por Ponto (PPP) utilizando dados do sistema GLONASS, do sistema GPS e da integração GLONASS/GPS para avaliar a precisão obtida pelos sistemas de forma independente (GPS e GLONASS) e de forma combinada (GPS/GLONASS). A escolha da técnica PPP deu-se pelo interesse em analisar as discrepâncias na obtenção de posicionamento utilizando sistemas GLONASS, GPS e GLONASS/GPS utilizando uma técnica precisa de posicionamento absoluto, não sendo, nesta pesquisa, utilizadas técnicas de posicionamento relativo.

A solução PPP proposta inicialmente foi a utilização do produto de PPP do IBGE (IBGE, 2012b), porém o sistema processa apenas dados GPS. Desta forma, todo o processamento PPP foi realizado no produto denominado MagicGNSS da GMV Aerospace and Defence, na Espanha (GMV, 2012).

**Quadro 2** - Dados da estação PPTE da RBMC para a época 2000,4 (IBGE, 2012a)

<b>Coordenadas Geodésicas</b>	
<b>Latitude</b>	22° 07' 11,6571" S -Sigma:0,001 m
<b>Longitude</b>	51° 51' 30,7225" W - Sigma:0,001 m
<b>Altitude Elipsoidal</b>	431,05 m - Sigma: 0,003 m
<b>Altitude Ortométrica</b>	435,97 m Fonte:GPS/MAPGEO2010
<b>Coordenadas Cartezianas</b>	
<b>x</b>	3.687.624,367 m - Sigma:0,002 m
<b>y</b>	4.620.818,683 m - Sigma:0,002 m
<b>z</b>	2.386.880,382 m - Sigma:0,001 m
<b>Dados do receptor</b>	
<b>Tipo de Receptor</b>	TRIMBRE NetR8 TIMBRE NetRS
<b>Tipo de Antena</b>	Timbre GNSS CHOKE RING Altura:0,0020 m (Distância Vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)

Os dados resultantes destes processamentos foram importados para um Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados (MySQL 5.5) para extração e consolidação dos dados, cujas análises e geração dos gráficos foram realizadas utilizando o software Microsoft Excel 2010.

### 3.2. Descrição do Processamento e Resultados Obtidos

A análise dos dados GLONASS e GPS abrange o período entre 01/01/2012 e 18/07/2012, o que totaliza 200 dias de análise. Porém, 199 dias foram processados, já que a estação não possuía os dados GPS e GLONASS para a data de 19/01/2012. Considerando-se que a estação obtém dados dos satélites GPS e GLONASS a cada 15 segundos, caracterizando uma época, o processamento realizou a análise de 1.146.240 épocas. Destas épocas, 3.641 (0,32 %) não possuíam dados para os sistemas GLONASS e GPS, simultaneamente. Considerando de forma individual, a quantidade de épocas sem dados GLONASS foram de apenas 26, enquanto nenhuma época ficou sem dados GPS individualmente. Considerando-se que estas épocas sem dados são, estatisticamente, desprezíveis, pode-se deduzir que ambos os sistemas possuem uma disponibilidade de dados

semelhante.

Comparando a quantidade de épocas em que um sistema possuiu maior quantidade de satélites observáveis pela estação do que o outro, o GPS em 1.089.329 épocas (95,03 %) possuía maior número de satélites do que o sistema GLONASS (56.911 ou 4,97%), o que também pode ser visualizado no Figura 2, que demonstra a média de satélites de cada sistema em cada conjunto de épocas. A maior quantidade de satélites GPS na maior parte do tempo, não minimiza, no entanto, o fato de que GLONASS possui uma cobertura eficiente na maior parte das épocas, possuindo o mínimo de quatro satélites ou mais em mais de 99% das épocas processadas. Desta forma, é possível concluir que; ainda que o sistema GLONASS apresente menor número de satélites do que o GPS em todas as épocas, ele pode ser utilizado para posicionamento de forma eficiente no que diz respeito à cobertura do sistema. Se os sistemas são utilizados de forma combinada, a quantidade de satélites disponíveis aumenta e permite uma cobertura mais eficaz do que um sistema utilizado isoladamente.

Baseado na confirmação que a cobertura GLONASS é eficiente para posicionamento absoluto, deve-se agora estimar sua acurácia em comparação com o sistema GPS. A Tabela 1 traz a

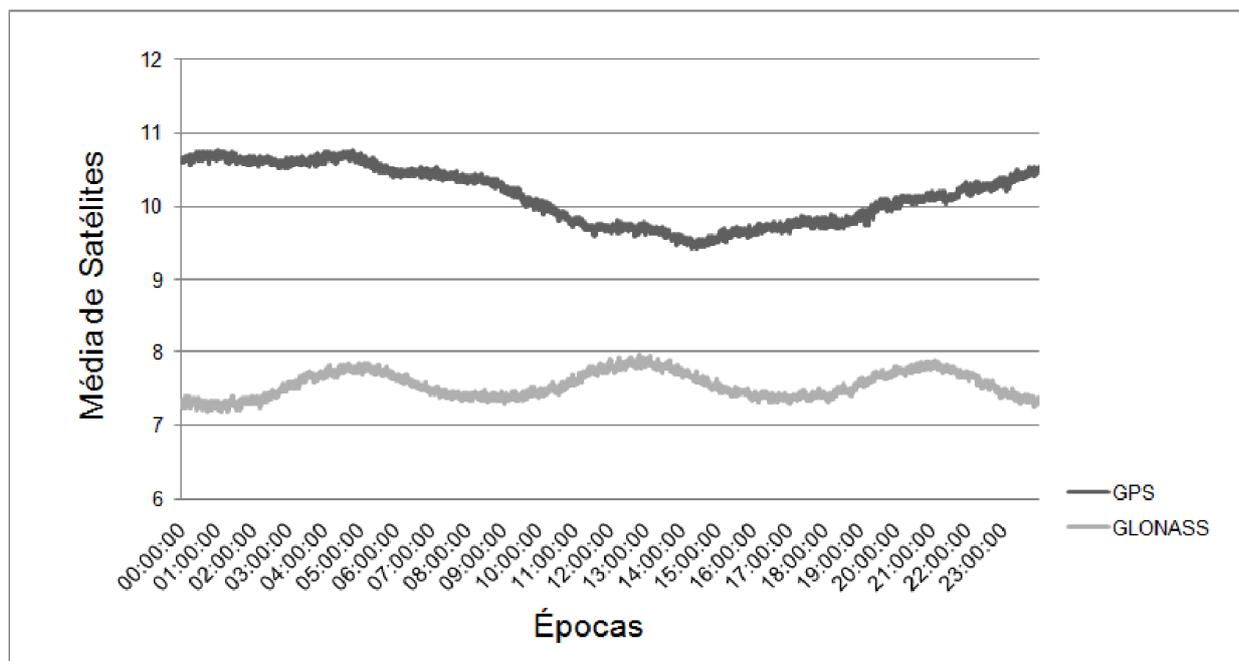


Fig.2 - Média de satélites em conjunto de épocas de processamento no período entre 01 de Janeiro de 2012 e 18 de Julho de 2012

Tab.1 - Estatística descritiva das diferenças (em metros) entre as coordenadas obtidas pelas observáveis dos sistemas GLONASS e GPS e as coordenadas oficiais da estação PPTE para a

	GLONASS			GPS			GPS/GLONASS		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<b>Média</b>	0,01657	0,01353	-0,1653	-0,00256	0,03678	-0,15725	0,00258	0,04471	-0,14918
<b>Erro Padrão</b>	0,0139	0,01912	0,00661	0,00046	0,0051	0,00031	0,00087	0,01401	0,00753
<b>Mediana</b>	0,00148	0,04165	-0,15648	-0,0024	0,0364	-0,1573	0,00193	0,04048	-0,15501
<b>Desvio Padrão</b>	0,19508	0,26838	0,09272	0,00653	0,00725	0,00444	0,1207	0,19512	0,10485
<b>Nível de Confiança (95%)</b>	0,02741	0,03771	0,01303	0,00091	0,00101	0,00062	0,00171	0,02763	0,01485

estatística descritiva das diferenças obtidas entre as coordenadas oriundas do processamento PPP dos sistemas GPS, GLONASS e GPS/GLONASS e as coordenadas consideradas verdadeiras para a estação PPTE para a época 2000,4. Para efeito de comparação, foram consideradas como coordenadas verdadeiras as coordenadas X, Y e Z contidas no descritivo da estação PPTE apresentadas anteriormente no Quadro 2.

Deve-se reconhecer que os sinais dos satélites foram obtidos por uma estação com equipamentos de alta precisão e o processamento em PPP foi realizado por um serviço que utiliza dados precisos. Assim, o resultado obtido, não importando o sistema de satélites, deve ser muito próximo dos valores reais das coordenadas. Esta abordagem permite eliminar muitas das interferências externas que um receptor comum estaria sujeito, permitindo obter dados mais confiáveis, que sendo processados no mesmo

sistema PPP devem incluir poucas interferências no resultado final.

Desta forma, ao obter-se a diferença entre as coordenadas descritas na Tabela 2, verifica-se que GLONASS apresentou um erro médio para X de ~21,16 cm, em Y de ~28,1 cm e em Z de ~25 cm. A margem de erro apresentada pelo GLONASS é assim aceitável e pode não ser relevante para a maioria das aplicações que não demandam acurácia em nível de centímetros, entre as quais está incluída a maior parte das aplicações de uso civil de navegação e precisão. Já o sistema GPS apresenta erros em X de ~0,9 cm, em Y de ~4,4 cm e em Z de ~16 cm, o que o torna, neste aspecto, de melhor qualidade quanto a acurácia, em comparação com o GLONASS. Quando combinados, o erro apresentado pelos sistemas em X é de ~1,46 cm, em Y de 23,9 cm e em Z de 25,4 cm. Assim, o sistema GPS apresenta uma melhor acurácia em comparação

com o sistema GLONASS e com a combinação GLONASS/ GPS.

Em termos práticos, para a estação PPTTE, o sistema GLONASS isoladamente ou em combinação com o GPS pode ser utilizado como uma alternativa ao sistema GPS, apresentando uma acurácia semelhante ao GPS para todas as épocas. Em casos que necessitam de alta acurácia, no entanto, ainda é recomendado o uso do GPS isolado, sendo a combinação entre os sistemas recomendada apenas para melhorar a cobertura de satélites, não oferecendo uma melhor acurácia em comparação ao sistema GPS isolado.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou os fundamentos teóricos do sistema GLONASS de forma atualizada, além de apresentar, preliminarmente, uma análise para os primeiros 200 dias de dados que permitem comparar o sistema GPS e o sistema GLONASS de uma estação RBMC. De acordo com os resultados obtidos, o sistema GLONASS obteve acurácia aceitável nas coordenadas da posição da estação estudada, desde que a aplicação em questão não demande precisão na ordem de centímetros, onde o GPS ainda oferece precisão mais adequada. Desta forma, dentro das condições estudadas, o sistema GPS ainda é mais recomendado para necessidades de maior acurácia, porém o GLONASS também pode ser utilizado para necessidades mais genéricas de posicionamento. Os dados obtidos através do sistema GLONASS podem servir também para controle e comparação dos dados GPS e a combinação entre sistemas permite aumentar de forma eficiente a cobertura de satélites. Além disto, o GLONASS apresenta-se como uma alternativa viável e com aplicação adequada para aqueles que não desejam ser dependentes de apenas um sistema GNSS.

Discutiu-se que o sistema GLONASS possui menor acurácia do que o sistema GPS. Esta acurácia pode envolver diversos motivos, o que demanda maior estudo sobre posicionamento e a modelagem dos fatores que influenciam o posicionamento de alta precisão com o referido sistema.

Entre as principais dificuldades desta pesquisa esteve a ausência de ferramentas de processamento PPP online adequadas para

processamento e análise de dados, tanto do sistema GPS quanto do sistema GLONASS. Em especial, o sistema GLONASS possui, ainda, escassos serviços para processamento de dados, que com a completa operação do sistema e a sua popularização, espera-se um aumento da oferta.

Entre as possibilidades de trabalhos futuros visualizadas no desenvolvimento deste artigo inclui-se o estudo de observações GLONASS em comparação com o GPS para mais estações da rede RBMC, de preferência que cubram toda a extensão do território brasileiro, com o objetivo de tornar mais consistente os resultados aqui obtidos e verificar a sua aplicabilidade. Também convém destacar a possibilidade de estudos para mais dias de observação, aplicando-se análises estatísticas e algoritmos de mineração de dados, assim como análises e testes de comparação processando-se os dados em diferentes serviços PPP ou mesmo o uso do processamento relativo.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem ao Engenheiro Jardel Aparecido Fazan por sugestões de abordagens estatísticas e pela indicação do serviço MagicGNSS do GMV para processamento PPP dos dados GLONASS.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUCHER, C.; ALTAMIMI, Z. **ITRS, PZ-90 and WGS 84: current realizations and the related transformation parameters.** Journal of Geodesy. v. 75, n. 11, pp.613-619. Springer-Verlag, 2001.
- ECONOMIST. **Rocket Galore: China's Space Programme.** (January 7, 2012). Disponível em <<http://www.economist.com/node/21542379>>. Acesso em 20 de Agosto de 2012.
- EUROPEAN REPORT. **Transport Council: Ministers Agree on Continuation of Galileo** (June 11, 2012). Disponível em <<http://www.highbeam.com/doc/1G1-292373230.html>>. Acesso em 18 de Agosto de 2012.
- GLONASS ICD. **Technical report.** v.5.1.p. 8-65. 2008.
- GMV. **MagicGNSS Precise Point Positioning.** Disponível em <<http://magicgnss.gmv.com/ppp/>>. Acesso em 09 de Agosto de 2012.
- H O F M A N N - W E L L E N H O F , B . ; L I C H T E N E G G E R , H . ; W A S L E , E. **GNSS:**

Global Navigation Satellite Systems. Springer, 2007.

IAC. Information Analytical Center: **GLONASS Constellation Status**. Disponível em <<http://www.glonass-center.ru/en/CUSGLONASS>>. Acesso em 02 de Agosto de 2012.

IBGE. **Descritivo da Estação Presidente Prudente**. Disponível em <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/Descritivo\\_PPTE.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/Descritivo_PPTE.pdf)>. Acesso em 30 de Julho de 2012 a.

IBGE. **Posicionamento por Ponto Preciso**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>>. Acesso em 27 de Julho de 2012 b.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc>>. Acesso em 01 de Agosto de 2012 c.

KAPLAN, E. D.; HERGARTY, C.J. **Understanding GPS: Principles and Applications**. 2. ed. Norwood: Artech House, 2006. 723p.

MONICO, J. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2008. 480p.

MONICO, J.G.; POZ, A.P.D.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 15, n. 3, pp. 469-483, Jul/Set, 2009.

RAO, G.S. **Global Navigation Satellite Systems: with Essentials of Satellite Communications**. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2010. 478p.

ROSSBACH, U. **Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS**. PhD Thesis. Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2001. 178p.