

INTEGRAÇÃO ENTRE GPS E GLONASS

GPS and Glonass Integration

Marcelo Carvalho dos Santos
Luiz Danilo Damasceno Ferreira
Isabel Franco do Lago

Universidade Federal do Paraná
Departamento de Geomática
Laboratório de Geodésia Espacial
Caixa Postal 19011 Curitiba PR Brasil 81531-990

Pedro Merege Filho

Datum Serviços de Topografia S/C
Rua Engenheiro Rebouças, 2751
Curitiba PR Brasil 80250-170

RESUMO

O relacionamento entre o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) e o GPS (*Global Positioning System*) é explorado neste artigo, que contém uma descrição de suas diferenças e similitudes. Um experimento envolvendo a ocupação, por 14 dias, do marco geodésico RM03, situado na área teste do Laboratório de Geodésia Espacial da UFPR é descrito. Neste experimento, foi empregado um receptor capaz de rastrear dados em ambos os sistemas. Resultados preliminares, envolvendo solução de navegação, calculadas nos dois sistemas, de maneira independente e combinada, são apresentados. Estes resultados indicam uma melhoria na solução quando se integram dados GPS e GLONASS.

ABSTRACT

This paper explores the relationship between GLONASS - *Global Navigation Satellite System*, and GPS - *Global Positioning System*. It includes a description of their differences and similarities. A brief description of an experiment which took place in the test area of the Space Geodesy Laboratory of the Federal University of Paraná follows. In this experiment, the geodetic marker RM03 was occupied by a dual frequency GPS/GLONASS receiver for 14 days. Results from a preliminary processing of these data, composed of navigation solution for both systems,

combined or not, are shown. These results point out an improvement in the navigation solution when GPS and GLONASS data are integrated.

1. INTRODUÇÃO

Durante as décadas em que ocorreu a chamada “guerra fria”, as duas superpotências, EUA e a antiga URSS, estiveram envolvidas não somente na corrida armamentista, mas também em uma corrida espacial. Pode-se considerar que o desenvolvimento do GPS (*Global Positioning System*), por parte do Departamento de Defesa Americano (DoD), ocorreu dentro deste cenário. O primeiro satélite GPS foi lançado em órbita em fevereiro de 1978. Paralelamente, a antiga URSS desenvolveu a sua contrapartida ao GPS, o sistema GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). O primeiro satélite GLONASS foi colocado em órbita em outubro de 1982. Vários problemas atrasaram a implantação dos dois sistemas. Apenas recentemente o GPS atingiu o estágio de sistema completamente operacional. O GLONASS, por seu lado, teve seu cronograma de implantação bastante atrasado. Com a dissolução do império soviético, os recursos a ele destinados diminuíram drasticamente, a tal ponto de se duvidar da sua sobrevivência, pois, durante algum tempo, no início desta década, não houve o lançamento de nenhum novo satélite. Ainda hoje, ele não atingiu um estágio de sistema totalmente operacional. O controle oficial do GLONASS sob os auspícios dos militares russos, desde 1993, pode ser traduzido como uma tentativa de se garantir credibilidade ao GLONASS. Os sistemas GLONASS e GPS são bastante semelhantes, porém, com algumas diferenças muito importantes. Como as aplicações advindas do uso potencial do GLONASS são as mesmas do GPS, a comunidade científica civil tende a encarar o GPS e o GLONASS não como sistemas competidores, mas como complementares (Santos, 1998).

Existem excelentes textos sobre o GPS na literatura internacional, dentre outros, citam-se os de Wells et al. (1986), Teunissen & Kleusberg (1996), Parkinson et al. (1996) e Hoffman-Wellenhof et al. (1997). O mesmo não se pode dizer no tocante ao GLONASS apesar de existirem algumas descrições na literatura (Daly & Misra, 1996; Langley, 1997; CSIC, 1998; Leick, 1998; Walsh & Daly, 1998; Santos, 1998; Zarroa et al., 1998). Este artigo apresenta uma descrição do GLONASS, enfatizando as semelhanças e diferenças com respeito ao GPS, além de fazer uma avaliação da solução de navegação (posicionamento absoluto) do GLONASS, independente e integrada ao GPS.

2. COMPARAÇÃO ENTRE GLONASS E GPS

As características do GLONASS se assemelham bastante às do GPS. A Tabela 1, extraída de Santos (1999), apresenta algumas destas características, que são indicadas a seguir.

Tabela 1 - Comparação entre GLONASS e GPS.

	GLONASS	GPS
Satélites	24	24
Planos orbitais	3	6
Inclinação	64,8°	55°
Raio orbital (km)	25510	26560
Frequência fundamental	5,0 (MHz)	10,23 (MHz)
Portadoras (MHz)		
L1	1606,0 a 1615,5	1575,42
L2	1246,0 a 1256,5	1227,60
Códigos (MHz)		
C/A	0,511	1,023
P	5,110	10,23
Sistema geodésico	PZ-90	WGS-84

Nominalmente, a constelação GLONASS será composta por 24 satélites (21+3), contra os 27 satélites (24+3) GPS, orbitando a uma altura bastante próxima à dos satélites GPS. O número de planos orbitais do GLONASS é igual a 3, exatamente a metade daquele do GPS, com inclinação de 65°, bem próxima da inclinação dos satélites GPS protótipos (Bloco I). Este ângulo de inclinação oferece maior cobertura nas regiões mais setentrionais do planeta, como na parte coberta pelo território russo. Esta distribuição espacial da constelação tem a intenção de garantir um número mínimo de 4 satélites GLONASS visíveis em qualquer local da Terra. A configuração geométrica dos satélites pode ser retratada pelo PDOP, em modo similar ao do GPS (Santos, 1998).

A exemplo dos satélites GPS, os satélites GLONASS transmitem dois sinais na banda L (L1 e L2) o que possibilita a eliminação do atraso provocado pela propagação dos sinais pela ionosfera. Estes sinais são modulados por códigos equivalentes aos códigos P e C/A, bem como pelo fluxo de mensagens. A exemplo do GPS, o código C/A destina-se a usuários civis, ao passo que o código P a usuários militares. No GPS, o código C/A é afetado pela Disponibilidade Seletiva (SA), desativada no dia 2 de maio de 2000, enquanto que o código P é afetado pelo *anti-spoofing* (A-S). Aparentemente, isto não é possível com o sistema GLONASS (CSIC, 1998). Contrariamente ao GPS, cada satélite GLONASS transmite o mesmo código.

Talvez a diferença mais importante entre GLONASS e GPS diz respeito à frequência dos sinais: os sinais L1 e L2 do GLONASS usam diferentes canais de frequência para cada satélite. Os valores nominais das frequências para as portadoras L1 e L2, f_{L1} e f_{L2} , respectivamente, em MHz, são dados pelas expressões (CSIC, 1998):

$$f_{L1}(K) = 1.602 + K \times 0,5625 \quad (1)$$

$$f_{L2}(K) = 1.246 + K \times 0,4375 \quad (2)$$

onde K representa o número do canal, informação fornecida pelo almanaque. Inicialmente, cada satélite teria sua própria frequência, sendo K um valor positivo maior ou igual a zero e menor ou igual a 24. Posteriormente, foi introduzida uma alteração na qual alguns satélites antípodas podem usar um mesmo K . Algumas alterações no valores das frequências estão previstas. Conforme CSIC (1998), até o ano 2005, K passará a ser um valor positivo maior ou igual a zero e menor ou igual a 13, sendo que os valores iguais a 0 e 13 estarão reservados para teste. Após 2005, K será maior ou igual a -7 e menor ou igual a 6, sendo os números 5 e 6 reservados para teste. A Tabela 2 apresenta a distribuição do número do canal K para cada uma das 8 posições orbitais destinadas aos satélites (*slots*) dentro dos planos orbitais 1, 2 e 3, informação baseada no *status* da constelação em 18 de maio de 1999.

Tabela 2 – Número do canal para cada uma das posições orbitais distribuídas pelos planos orbitais.

Plano 1/ <i>slot</i>	01 02 03 04 05 06 07 08
Número do canal	02 --- 21 12 --- 13 07 08
Plano 2/ <i>slot</i>	09 10 11 12 13 14 15 16
Número do canal t	06 09 04 --- 06 --- 11 22
Plano 3/ <i>slot</i>	17 18 19 20 21 22 23 24
Número do canal	24 --- --- 01 --- 10 --- ---

O símbolo “---” significa que não existe satélite disponível naquela posição orbital.

Outra diferença importante é relativa ao referencial geodésico utilizado pelo GLONASS na definição das órbitas transmitidas pelos satélites, chamado *Parametry Zemli* 1990 e referido pela sigla PZ-90. O GPS utiliza o *World Geodetic System* 1984 (WGS-84) para o mesmo propósito. A aplicação do GLONASS em Geodésia e Navegação, em combinação com o GPS, requer o conhecimento de parâmetros de transformação que estabeleçam o relacionamento entre os dois referenciais. O conhecimento destes parâmetros de transformação é uma das informações mais importantes para o uso combinado do GPS/GLONASS. A transformação entre estes referenciais ainda não é conhecida de forma globalmente satisfatória. Algumas soluções são reportadas na literatura. Em uma delas (Rossbach et al., 1996) foram utilizadas seis estações na Europa, com coordenadas previamente conhecidas no referencial do IERS *Terrestrial Reference Frame* (ITRF). Esta transformação de similaridade indicou a existência de um único parâmetro com valor significativo: uma rotação em torno do eixo Z, estimada em $-0,33''$. A transformação pode ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} 1 & -0,33'' & 0 \\ 0,33 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} \quad (3)$$

Uma outra solução é apresentada por Misra et al (1996) baseada na comparação da posição orbital de dois satélites GLONASS, expressas em PZ-90 e em WGS-84. A órbita destes satélites em PZ-90 são transmitidas nos dados de navegação do satélite. Já as posições orbitais em WGS-84 foram obtidas através de ajustamento tendo como informação a priori observações de rastreamento à laser, obtidas de estações distribuídas globalmente. O resultado indica a existência de uma rotação de $-0,4''$ em torno do eixo Z, e uma translação de 2,5 m ao longo do eixo Y. Esta transformação pode ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,5 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -0,40'' & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} \quad (4)$$

Uma terceira solução é apresentada por Bazlov et. al (1999) na qual foram utilizadas 8 estações, todas em território russo. Esta solução indicou valores de translação ao longo dos 3 eixos, rotação em torno do eixo Z igual a $-0,47''$, e um fator de escala, podendo ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} -1,100 \\ -0,300 \\ -0,900 \end{bmatrix} + (1 - 0,12 \times 10^{-6}) \begin{bmatrix} 0,47'' & -0,47'' & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} \quad (5)$$

Finalmente, existem soluções globais advindas do Experimento Internacional GLONASS, conhecido pela sigla IGEX-98 (*International GLONASS Experiment*). Estas soluções se baseiam na comparação entre as órbitas transmitidas pelos satélites GLONASS, em PZ-90, e suas respectivas órbitas precisas, estimadas em ITRF-96, e sugerem a existência de translações ao longo dos 3 eixos, rotações em torno dos 3 eixos, além de fator de escala. Apenas para se ter uma idéia da ordem de grandeza destes parâmetros, menciona-se uma solução média para a semana 1004, calculada a partir das soluções diárias apresentadas por Habrich (1999). Esta solução indica translações ao longo dos três eixos, rotações de $0,040''$, $-0,001''$ e $-0,344''$, respectivamente em torno dos eixos X, Y e Z, e um fator de escala. Esta transformação pode ser apresentada como:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF}} = \begin{bmatrix} +0,005 \\ +0,021 \\ -0,129 \end{bmatrix} + (1 - 0,012 \times 10^{-6}) \begin{bmatrix} 1 & -0,344'' & 0,001'' \\ 0,344'' & 1 & 0,040'' \\ -0,001'' & -0,040'' & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} \quad (6)$$

Observando-se as equações (3), (4), (5) e (6) é possível verificar uma consistência em termos da rotação em torno do eixo Z. As rotações indicadas pela equação (6) podem não ser estatisticamente significativas. Estas soluções também sugerem a existência de pequena variação em termos de escala e de posição

geocêntrica. A relação entre os referenciais WGS-84, PZ-90 e ITRF ainda é motivo de investigação.

Ainda outra diferença entre o GPS e o GLONASS diz respeito ao sistema de tempo empregado por eles. O sistema de tempo GPS é baseado no Tempo Universal Coordenado (UTC) fornecido pelo *U. S. Naval Observatory* (UTC(USNO)), porém sem a introdução das correções de segundos inteiros (*leap seconds*). O sistema de tempo GLONASS baseia-se no Tempo Universal Coordenado realizado pela Rússia (UTC(SU)), e inclui *leap seconds* (CSIC, 1998). Além desta diferença, igual a um número inteiro de segundos, os tempos GLONASS e GPS podem divergir por alguns micro-segundos, muito embora as autoridades russas tenham expresso a intenção de manter esta diferença abaixo do micro-segundo (Zarro et al., 1998).

Finalizando, é digno de menção que o GLONASS pode ser empregado em operações diferenciais (DGLONASS), a exemplo do que ocorre com o GPS (DGPS). Um DGLONASS permite que correções diferenciais sejam transmitidas a um intervalo maior. Estudos reportados na literatura permitem antever a grande potencialidade de um sistema integrado DGPS/DGLONASS. Esta possibilidade levou a Comissão para Serviços Marítimos (RTCM), em conjunto com o Instituto Russo de Radio-navegação e Tempo, a incluir tipos de mensagens diferenciais GLONASS no padrão RTCM SC-104, normalmente utilizado nos levantamentos DGPS. Igualmente, o formato RTCA DO-217, usado na navegação aérea, pode ser empregado para operações DGLONASS, e o formato NMEA foi estendido para acomodar o GLONASS (Ordóñez, 1992; Chistyakov et al., 1996).

3. DISSEMINAÇÃO DOS DADOS GLONASS

O impacto crescente do GLONASS levou a uma alteração do formato RINEX (*Receiver Independent Format*), ampliado para atender às observações GLONASS (Gurtner, 1997). A Tabela 3 mostra o extrato de um arquivo de navegação, transmitido pelos satélites GLONASS, no formato RINEX. Ao contrário dos dados de navegação dos satélites GPS, que fornecem os elementos Keplerianos e suas variações temporais, os dados de navegação dos satélites GLONASS fornecem os vetores posição, velocidade e aceleração em coordenadas cartesianas, já atreladas ao PZ-90. Outras informações importantes incluem uma correção para compatibilizar o tempo GLONASS ao UTC(SU), o número de *leap seconds* desde o dia 6 de janeiro de 1980, e correções para o oscilador de frequência do satélite. A Tabela 4 apresenta o extrato de um arquivo contendo dados de observação GPS e GLONASS no formato RINEX, coletado por um receptor JPS Legacy. A mais importante alteração no formato RINEX é a inclusão das observações GLONASS. Para distingui-las das observações GPS, os satélites GLONASS são indicados pela letra R, ao passo que a letra G indica os satélites GPS. Este fato pode ser visto nas linhas 16 a 21 da referida Tabela, que indicam o número do satélite a quantidade de observações coletadas para cada um deles, e na linha 23, que apresenta a época da primeira observação e os satélites para os quais observações foram coletadas.

4. EXPERIMENTO REALIZADO

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 1999, o Laboratório de Geodésia Espacial da UFPR manteve, por 14 dias, em operação contínua, um receptor JPS Legacy, tendo sua antena Legant sido instalada sobre o marco geodésico RM03. A Figura 1 mostra a antena Legant instalada sobre a estação RM03. Este posicionamento absoluto foi realizado dentro de uma breve participação no Experimento Internacional GLONASS. O receptor Legacy é um receptor capaz de coletar dados GPS e GLONASS, fase e código, nas duas frequências (cf. Tabela 4). O marco geodésico RM03 faz parte da rede do Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul – SIRGAS (IBGE, 1997).

Uma validação inicial dos dados coletados foi realizada através de processamento empregando-se o programa Pinnacle (JPS, 1998). Isto permitiu que fosse feita uma avaliação do desempenho da solução de navegação (posicionamento absoluto com código) usando somente dados GPS, somente dados GLONASS e uma combinação entre os dados GPS e GLONASS. Esta avaliação foi feita tomando-se as coordenadas SIRGAS do marco geodésico RM03 como referência. Parte dos resultados, referentes ao dia 30 de janeiro de 1999, é apresentada nas Figuras 2, 3 e 4. A Figura 2 mostra a solução de navegação obtida com os dados GPS (com a Disponibilidade Seletiva ativada). O desvio padrão desta solução é de 14,425 m. A Figura 3 apresenta a solução de navegação usando somente os dados GLONASS, cujo desvio padrão é de 10,312 m. O processamento absoluto da estação RM03 com os dados de observação da combinação GPS/GLONASS é apresentado na Figura 4, com um desvio padrão igual a 7,560 m. O aparente deslocamento desta solução pode indicar que a relação entre os referenciais distintos do GPS e do GLONASS ainda apresenta problema. Os desvios padrão para os valores médios são iguais a 14,109 m, 10,296 m e 5,715 m, respectivamente, para as soluções GPS, GLONASS e GPS/GLONASS. Deve-se mencionar que a dispersão encontrada com o conjunto de todos os dados é bastante próxima à da parcela dos dados apresentados neste experimento.

Algumas considerações permitem uma análise destes resultados. Em primeiro lugar, reitera-se o fato de que as observações de código do GPS, na época da observação, eram afetadas pela SA e pelo A-S, o que não acontece com o GLONASS. Outra observação importante é que o emprego conjunto do GPS e GLONASS aumenta o número de satélites acima do horizonte. A solução alcançada com apenas o uso do GPS pode ser considerada como usual, sendo que um máximo de 8 satélites puderam ser utilizados em alguns momentos. A solução obtida apenas com o GLONASS mostra uma melhora, apesar do menor número de satélites “visíveis” e de que em algumas épocas uma solução de navegação não foi possível. A solução que integrou dados GPS e GLONASS mostrou-se a melhor de todas. Aparentemente, o aumento da redundância provocada pela inclusão de observações GLONASS, devido ao aumento do número de satélites, compensou de certo modo

os efeitos da SA e do A-S. Em algumas épocas chegaram a existir até 14 satélites “visíveis”.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma revisão sobre o GLONASS. A análise de resultados preliminares oriundos de rastreamento com um receptor GPS/GLONASS permitiu a verificação da possibilidade de uma melhoria na solução de navegação integrando-se dados GPS e GLONASS, de até 50%. Este fato é decorrente do acesso a um sistema combinado composto por 51 satélites, aliado ao fato do GLONASS não ser afetado pela disponibilidade seletiva (SA) e nem pelo *anti-spoofing* (A-S). Esta redundância permitirá um melhor desempenho em áreas urbanas, especialmente nos corredores formados por prédios, e em outras áreas com visibilidade restrita, tais como áreas com cobertura florestal, devido ao fato de que mais satélites seriam visíveis na porção desobstruída do céu. Outro benefício é que sendo o GPS e o GLONASS sistemas independentes, o emprego de receptor GPS/GLONASS permite o cálculo de posições separadamente, com cada um dos sistemas, sendo que uma discrepância grosseira entre as duas soluções pode indicar algum problema. Em que pese as incertezas que ainda pairam sobre o GLONASS, ele se apresenta como um sistema de posicionamento bastante robusto, ainda mais quando utilizado em conjunto com o GPS. A combinação das constelações GPS e GLONASS podem ser um modelo para futuros sistemas globais de navegação, consistindo da integração de vários sistemas de satélites independentes.

AGRADECIMENTOS

O receptor e a antena JPS usados pertencem a empresa Datum Serviços de Topografia S/C. Apoio financeiro no tocante a aquisição de componentes eletrônicos foi possível a partir de fundos oriundos do programa de apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPR e da Fundação da UFPR. Ao Prof. Silvio Jacks Garnés por comentários sobre uma versão preliminar do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baslov, Y. A., Galazin, V. F., Kaplan, B. L. Maksimov, V. G. & Rogosin, V. P. (1999). “*GLONASS to GPS – A New Coordinate Transformation*”, GPS World, Vol. 10, No. 1, pp. 54-58.
- Chistyakov, V. V., S. V. Filatchenkov, V. I. Khimulin & V. V. Korniyenko (1996). “*Double-duty – Russia’s DGPS/DGLONASS maritime service.*” GPS World, Vol. 7, No. 3, pp. 59-62.
- CSIC (1997). *GLONASS Interface Control Document*, Coordination Scientific Information Center, Moscow.
- Daily, P. & P. N. Misra (1996). “*GPS and Global Navigation Satellite System (GLONASS)*”, *Global Positioning System: Theory and applications*. Parkinson, B., J. Spilker, P. Axelrad & P. Enge (Eds.), Progress in Astronautics and

- Aeronautics, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Washington, Vol. 164, pp. 243- 272.
- Gurtner, W. (1997). *RINEX extensions for GLONASS*. IGS Electronic Mail Message No. 157. International GPS Service for Geodynamics.
- Habrich, H. (1999). *BKG IGEX Analysis Report*, IGEX Electronic Mail Message No. 0466, International GLONASS Experiment.
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger and J. Collins (1997). *Global Positioning System, Theory and Practice*, 4th. Edition, Springer-Verlag, New York.
- IBGE (1997). *SIRGAS – Relatório Final, Grupos de Trabalho I e II*, Departamento de Geodésia, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- JPS (1998). Pinnacle v. 2.0. Javad Positioning System, San José, Cal.
- Langley, R. B. (1997). “*GLONASS: review and update.*” *GPS World*, Vol. 8, No. 7, pp. 46-51.
- Leick, A. (1998). “*GLONASS Satellite Surveying.*” *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 124, No. 1, pp. 91-99.
- Misra, P. N., R. I. Abbot & E. M. Gaposchkin (1996). “*Integrated use of GPS and GLONASS: transformation between WGS-84 and PZ-90.*” *Proceedings of ION GPS-96*, Institute of Navigation, Kansas City, Mi., pp. 307-314.
- Ordóñez, J. M. F., G. W. Hein, H. Landau, B. Eissfeller, A. Jansche, N. Balteas & V. Liebig (1992). “*First experiences with differential GLONASS/GPS positioning.*” *Proceedings of ION GPS-92*, Institute of Navigation, Salt Lake City, Ut., pp. 153-158.
- Parkinson, B., J. Spilker, P. Axelrad & P. Enge (Eds.) (1996). *Global Positioning System: Theory and applications*. Progress in Astronautics and Aeronautics Vol. 163 & Vol. 164, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Washington.
- Roszbach, U., H. Habrich & N. Zarraoa (1996). “*Transformation parameters between PZ-90 and WGS-84.*” *Proceedings of ION GPS-96*, Institute of Navigation, Kansas City, Mi., pp. 279-285.
- Santos, M. C. (1998). “*GPS e GLONASS, parceria de futuro.*” *InfoGeo, EspaçoGeo*, Ano 1 No. 2, julho/agosto, pp. 45-46.
- Santos, M. C. (1999). *Posicionamento por GPS*. EspaçoGEO, Curitiba, PR, Brasil.
- Teunissen P. J. G. & A. Kleusberg (Eds.) (1996). *GPS for Geodesy*. Springer-Verlag, Berlin.
- Walsh, D. & P. Daly (1998). “*Precise positioning using GLONASS: using GLONASS carrier phase observables for centimetre-level positioning.*” *Geomatics Info Magazine*, Vol. 12, No. 11, pp. 32-57.
- Wells, D., N. Beck, D. Delikaraoglou, A. Kleusberg, E. Krakiwisky, G. Lachapelle, R. B. Langley, M. Nakiboglu, K. Schwarz, H. Tranquilla & P. Vanicek, (1986). *Guide to GPS Positioning*, Canadian GPS Associates, Fredericton, NB, Canada.

Zarraoa, N., W. Mai, E. Sardon, & A. Jungstand (1998). "*Preliminary evaluation of the Russian GLONASS system as a potential geodetic tool.*" *Journal of Geodesy*, Vol. 72, No. 6, pp. 356-363.

(Recebido em 30/10/00. Aceito para publicação em 18/12/00.)