

Análise da precisão de receptores GPS de navegação em planimetria territorial

Analysis of the accuracy of GPS receivers for navigation in territorial planimetry

**Carlos Antonio da Silva Junior¹, Ismael Meurer¹,
Laércio Alves de Carvalho²**

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Aquidauana, Rodovia Aquidauana/CERA, km 12, 79200-000, Caixa Postal 25. Aquidauana, MS - Brasil. E-mail: carlos-junior89@hotmail.com

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cidade Universitária de Dourados - Zona rural, 79804-970, Caixa Postal 351. Dourados, MS - Brasil.

Recebido: 08/04/2009

Aceito: 18/02/2010

Resumo: *Este trabalho analisou a precisão do posicionamento planimétrico de navegação de três receptores GPS: 76 Csx, eTrex Vista e GPS 315, em três áreas de diferentes tamanhos, tendo como comparativo os valores de medidas das mesmas pelo aplicativo computacional Google Earth. As áreas foram medidas pelo posicionamento dos receptores em quatro vértices por um período de dez minutos em três dias de avaliação, obtendo-se pontos de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator). O delineamento estatístico de tratamento constou de um fatorial 3x3 (3 receptores x 3 áreas) com três repetições (dias) totalizando 27 medições. Os resultados indicaram erros nos três receptores e as análises não obtiveram efeito significativo entre os mesmos.*

Palavras-chaves: *Sistema de posicionamento global, erro de posição, mapeamento.*

Abstract: *This study examined the planimetric positioning accuracy of the navigation of three GPS receivers: 76 Csx, eTrex Vista GPS and 315 in three areas of different sizes, with comparative figures for the same measures for computational application Google Earth. The areas were measured by positioning the receivers on four corners for a period of ten minutes on three days of evaluation, resulting in points of coordinates UTM (Universal Transverse Mercator). The statistical design of treatment consisted of a 3x3 factorial (3 receivers x 3 areas) with three replicates (days) totaling 27 measurements. The results indicate errors in the three receivers and the analysis had no significant effect between them.*

Key-words: *Global positioning system, position error, mapping.*

Introdução

Segundo Morgan (1997), o sistema de posicionamento global (GPS) foi criado pelo governo dos Estados Unidos com o objetivo principal de localizar suas tropas em qualquer lugar da terra. É constituído de 24 satélites, dos quais 21 são de uso corrente e três em “*stand-by*”. Eles orbitam a uma altura de 20.200 km em seis órbitas distintas, igualmente espaçadas de 60 graus, com quatro satélites por órbita. Em relação aos satélites artificiais, a órbita é um conjunto de fatores com base em alguns parâmetros, como raio de inclinação, inclinação do plano da órbita, período de revolução (tempo gasto para completar a volta em torno da Terra ou de outro corpo celeste), finalidade com que foi construído etc (MOREIRA, 2005).

Os sinais são emitidos em duas bandas (L1 e L2) com dois códigos diferentes: o Y (*Precision code*) e o C/A (*Coarse Acquisition code*); assim sendo, o sistema teoricamente permite uma visão de cinco a oito satélites constantemente, em qualquer lugar do globo (CASTRO, 2004).

A pseudodistância é uma medida da distância entre o satélite, no instante de envio do sinal e a antena do receptor no instante da recepção. Ela é obtida através da medida do tempo deste percurso. Os desvios ocasionados pela falta de sincronismo dos relógios do satélite, do receptor e do tempo GPS fazem a distância medida ser diferentes da distância geométrica. Assim, o modelo matemático (LEICK, 1995; PARKINSON, 1996b), para p_u^i , pseudodistância entre o satélite i e o receptor u , seguido da fórmula mostrada na Equação 1.

$$p_u^i = D_u^i + c(b_u - B^i) + T_u^i + I_u^i + e_{p,u}^i \quad (1)$$

Onde: $D_u^i = |R^i - r_u|$ é a distância geométrica, R^i é a posição do satélite, r_u é a posição da antena do receptor, b_u é o desvio do relógio do receptor u , B^i é o desvio do relógio do satélite i , T_u^i é o erro troposférico, I_u^i é o erro ionosférico, $e_{p,u}^i$ representa os outros erros e c é a velocidade da luz, 299.792.458 m/s. Para Leick (1995), esta medida é também chamada de pseudodistância via código.

Marques (2000) comenta que, nas medidas de pseudodistâncias, encontram-se diversos tipos de erros, a saber: erros dos relógios dos satélites, erros dos relógios dos receptores, erros das efemérides (órbitas dos satélites), atraso ionosférico, atraso troposférico, multicaminhamento, erros relativísticos, condições relativas à geometria dos satélites (DOP), erros na recepção do sinal e erros referentes a ruídos no receptor.

Os aparelhos GPS de Navegação Civil, trabalhando apenas com o código C/A, adquirem medidas com erros da ordem de 5 a 15 metros. Como exemplo, na medição de um ponto, a coordenada encontrada poderá estar contida num círculo com as medidas citadas anteriormente, inviabilizando diversas aplica-

ções que requerem mais precisão. No caso do erro SA estar ligado, esta situação piora bastante, com erros de 30 a 100 metros, exigindo o uso de estações de referência no terreno para corrigir estas distorções através dos DGPS (ROCHA, 2003).

Os levantamentos geofísicos terrestres consistem em realiza medições de grandezas físicas na superfície da Terra, com o objetivo de estudar a estrutura e as propriedades físicas, e aplica na exploração de recursos naturais. Há vários métodos de levantamentos geofísicos, cada um usando o princípio físico ao qual é sensível. Os principais metodos são: gravimétrico, magnético, sísmicos e geoelétricos (KEAREY & BROOKS, 1984; DOBRIN, 1976). Assim, sendo usado para levantamentos de gravimetria regional (SHIRAIWA & USSAMI, 2001), gravimetria local e sísmica rasa (SILVA & PESSOA, 1995), sísmica profunda (PEROSI, 2000) e magnetometria (FERRACCIOLI et al., 2001).

O objetivo principal deste trabalho é investigar a precisão através de três receptores GPS e analisar o possível erro na medida de dimensionamento de áreas, levando em conta que o desvio padrão típico de um receptor GPS de uso comum é da ordem de 10 a 15 metros.

Materiais e Métodos

A área de estudo encontra-se na fazenda Betel, no município de Sidrolândia-MS, cujas coordenadas aproximadas são: latitude de 22°55'25.53 S e longitude de 54°57'23.39 O. A altitude varia entre 400 e 500 m, com o relevo levemente ondulado, sendo 22% plano, 60% levemente ondulado, 10% ondulado e 8% acidentado.

Os receptores GPS foram avaliados quanto suas precisões de medição de três diferentes áreas: A1) 86,047597 ha, com perímetro de 3.768,9153 m; A2) 23,598142 ha, com perímetro de 2.596,2867 m e A3) 173,97945 ha, com perímetro de 5.388,37 m, tendo como comparação o aplicativo computacional Google Earth.

A época da coleta de dados foi no mês de setembro, compreendendo os dias 5, 6 e 7 do ano de 2008. No mensuramento das áreas foram selecionados pontos correspondentes aos quatro vértices de cada semi-quadrado (áreas).

O delineamento estatístico de tratamento constou de um fatorial 3x3 (3 receptores x 3 áreas) com três repetições (dias) totalizando 27 medições, tendo como característica avaliada (% de erro em relação ao Google Earth) foi testada pelo valor de F da Anava a 5 e 1% de probabilidade. As áreas foram medidas pelo posicionamento dos receptores em quatro vértices por um período de dez minutos em três dias de avaliação. As poligonais foram da classe UTM (*Universal Transverse Mercator*), cuja medição se dá por um sistema referencial de localização terrestre baseado em coordenadas métricas definidas para cada uma das 60 zonas UTM, múltiplas de 6 graus de longitude, na Projecção Universal Transversal de Mercator e cujos eixos cartesianos de origem são o Equador,

para coordenadas N (norte) e o meridiano central de cada zona, para coordenadas E (leste), devendo ainda ser indicada a zona UTM da projeção, que neste caso, é a zona 21K.

O planejamento da missão para o levantamento dos pontos com o receptor GPS foi feito utilizando-se o aplicativo computacional GPS TrackMaker® PRO, de versão 4.4 registrado sob o código 00122926, utilizado para a leitura dos cálculos de área topográfica a partir da inserção das *Tracklogs* de cada um dos três aparelhos de GPS através de cabo serial conectado a um computador pessoal com processador de 1990,00 MHZ, memória Ram de 1024 *Megabytes*, *Hard Disk* de 160 *Gigabytes* equipado com o sistema operacional Windows® XP Professional Edition, registrado pela Microsoft® corporation Inc.

Os dados de campo foram levantados por três aparelhos receptores GPS, 1º aparelho: 76 Csx, 2º aparelho: eTrex Vista e 3º aparelho: GPS 315, previamente posicionados, um de cada vez, no ponto definido, tendo um intervalo de exatamente 10 minutos a partir da ligação do mesmo para a marcação das coordenadas, e posterior repetição com o próximo aparelho seguindo assim, sempre as mesmas indicações. A realização da estação do GPS de navegação em qualquer vértice e sua permanência por um determinado tempo, conforme Ângulo Filho et al. (2002), melhora a exatidão de posicionamento planimétrico, o que ratifica a escolha da metodologia de levantamento como fundamental para a obtenção de bons resultados de posicionamento.

Desse modo, foram realizadas as marcações das coordenadas de três áreas com dimensões de quatro vértices, logo, quatro coordenadas por área, somando 12 pontos por GPS e totalizando 36 pontos por dia, perfazendo 3 áreas, tendo a assimilação de que foram três dias de repetições.

As coordenadas de controle e as coordenadas obtidas pelo GPS estavam em sistemas diferentes e, conseqüentemente, não eram compatíveis para análise. Este problema foi resolvido efetuando-se a transformação das quatro coordenadas UTM (que formam o semi-quadrado), em áreas por hectare, podendo assim ser avaliadas quantitativamente.

Resultados e Discussão

Realizado a medição com os receptores de navegação, se obteve valores das áreas, logo comparado com a testemunha já obtida (Tabela 1), na qual, todas as coordenadas resultam em valores próximos ao de teste.

Ao se realizar a acurácia, pode-se analisar e compreender o menor erro pelo fato da estabilidade dos receptores em seus respectivos pontos, porém para fins de uso do mesmo para trilhas, Rocha et al. (2007), analisa sempre o menor tempo possível para a conservação real da geometria.

Para as áreas conforme os dias, obteve-se valores idênticos para os receptores 76 Csx e eTrex no primeiro e segundo dia respectivamente, alterando

os valores para o terceiro dia. Segundo Silva et al. (2004), mesmo realizando observações com boa quantidade de satélite e em local livre de barreiras físicas ainda nota-se diferença na precisão, ocorrido pela influência por outras fontes de erros como o do relógio do receptor (YAO & CLARK 2000), também pelo constante movimento dos satélites, tendo uma mutação contínua em sua geometria, o que afeta a precisão da posição de um receptor GPS.

Conforme Blitzkow (1995), ao usar o sistema GPS para determinação de cotas, tinha-se a expectativa de se evitar a onerosa operação do nivelamento. Corseuil & Robaina (2003), estudando a influência do tempo de coleta de dados com receptores GPS nas determinações altimétricas, constataram precisão centimétrica em altitudes, com tempos de 15; 10 e 5 minutos de ocupação.

Influenciados por todos os tipos físicos, com tendências a maiores erros verticais, os receptores de navegação que de própria característica já conhecida tendem a maiores erros geométricos, chegam a mostrar posição de coordenadas a vários metros da original coletada, pela influência de pseudo-ruídos e aumentando o erro em até 30 metros por ondular sua frequência.

Para isso, enquanto a acuracidade da órbita do satélite é da ordem de poucos metros, a dos relógios dos satélites é uma ordem de magnitude maior (ZUMBERGE & BERTIGER, 1996). Acrescenta-se a estes erros aqueles advindos da refração troposférica e ionosférica, multicaminho do sinal, dentre outros (MONICO, 1998).

Segundo Strubbe (1997), baseado em experiências com um sensor de fluxo de impulso mecânico, parâmetro σ_w é estimado em cerca de cinco vezes o desvio padrão σ_L do ruído para contribuição para baixa frequência. A influência da combinação linear sobre o rendimento da estimativa de erro é ilustrado pela curva da linha na Figura 1.

Tabela 1. Descrição das dimensões das áreas (ha).

<i>1º dia</i>	<i>2º Dia</i>	<i>3º Dia</i>	<i>Testemunha</i>
eTrex	eTrex	eTrex	Google Earth
A1: 85,4649	A1: 85,4649	A1: 86,0001	A1: 86,047597
A2: 23,9001	A2: 23,9214	A2: 23,7895	A2: 23,598142
A3: 175,9859	A3: 171,1854	A3: 173,5822	A3: 173,97945
76Csx	76Csx	76Csx	Google Earth
A1: 86,3736	A1: 86,3736	A1: 86,5978	A1: 86,047597
A2: 23,6728	A2: 23,6728	A2: 23,5959	A2: 23,598142
A3: 173,9901	A3: 173,9901	A3: 173,7660	A3: 173,97945
GPS 315	GPS 315	GPS 315	Google Earth
A1: 86,5661	A1: 86,5660	A1: 85,9648	A1: 86,047597
A2: 23,4681	A2: 23,5845	A2: 23,7928	A2: 23,598142
A3: 173,5905	A3: 182,1316	A3: 174,3185	A3: 173,97945

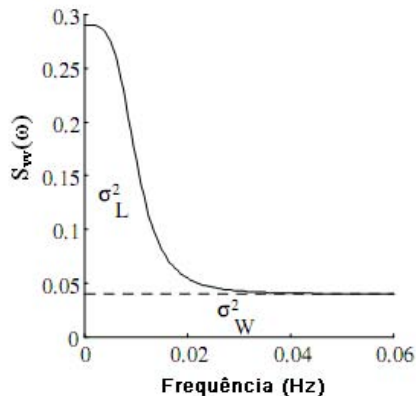


Figura 1. Influência do ruído na estimativa da precisão do receptor.

A Figura 2 apresenta a composição da imagem de satélite selecionada por meio do catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponível na internet <www.dgi.inpe.br>, composição (CCD/CBERS-2 R2G4B3), com a sobreposição de uma linha contínua demarcando as extremidades das áreas utilizadas para as análises dos receptores com apresentação da imagem Google Earth.

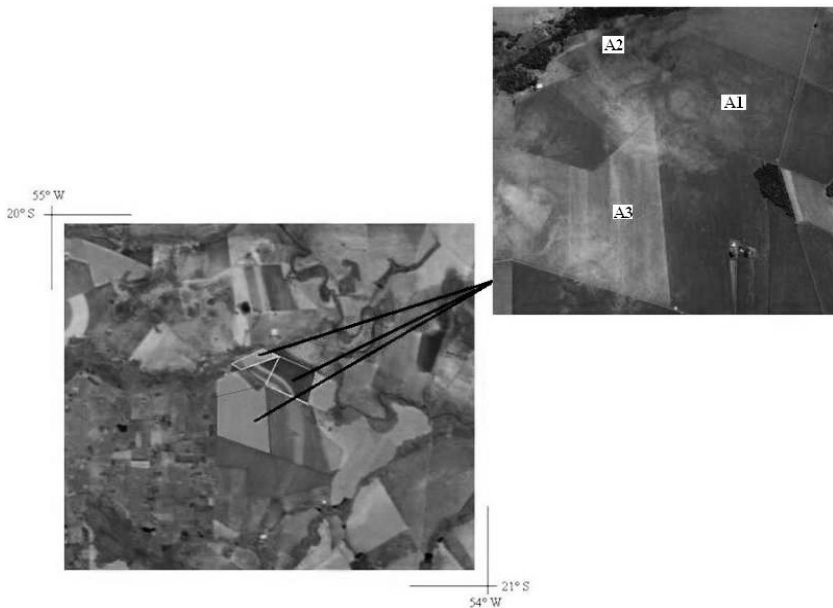


Figura 2. Demarcação da área de coleta de dados para análise de posicionamento. A1=86,047597 ha; A2=23,598142 ha; A3=173,97945 ha.

Após a acurácia das áreas resultando em medidas próximas a testemunha, realizou-se cálculo (Equação 2) para obtenção de médias dado em percentagem para análise, mostrado na Tabela 2.

$$A_T \% = \frac{(A_g \times 100)}{A_{tt}} \quad (2)$$

Onde: A_T % é a área total comparada, A_g é a área medida pelo receptor GPS e A_{tt} a área definida pela testemunha.

Tabela 2. Comparações entre as áreas obtidas.

<i>1º dia</i>	<i>2º Dia</i>	<i>3º Dia</i>
eTrex	eTrex	eTrex
A1: 99,3228%	A1: 99,3228%	A1: 99,9448%
A2: 98,7202%	A2: 98,6300%	A2: 99,1889%
A3: 98,8467%	A3: 98,3941%	A3: 99,7717%
76Csx	76Csx	76Csx
A1: 99,6211%	A1: 99,6211%	A1: 99,3606%
A2: 99,6834%	A2: 99,6834%	A2: 99,9907%
A3: 99,9938%	A3: 99,9938%	A3: 99,8773%
GPS 315	GPS 315	GPS 315
A1: 99,3974%	A1: 99,3975%	A1: 99,9038%
A2: 99,4491%	A2: 99,9424%	A2: 99,1749%
A3: 99,7765%	A3: 95,3143%	A3: 99,8051%

Conforme valores dados para os três receptores de navegação, tanto para dimensões territoriais quanto percentagem testemunha (Figura 3), se tem uma variação de imprecisão conforme o tamanho do território, partindo de um mesmo ponto na primeira área, que no caso é a mediana, e variando tanto para a menor e maior área respectivamente.

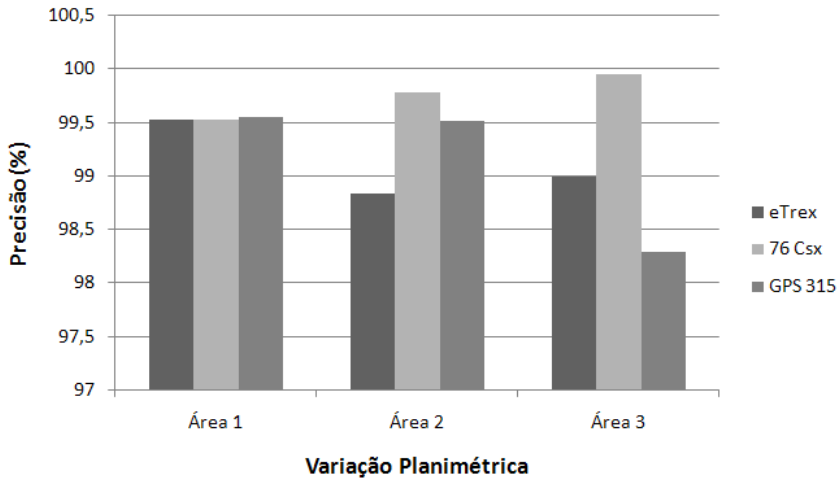


Figura 3. Média da precisão dos receptores quanto à variação planimétrica comparadas à testemunha.

Com relação aos valores das áreas e sua aplicação comparada a teste de menor erro, analisa-se as observações originais e suas médias para efeito estatístico em análise fatorial 3x3 (Tabela 3) para fator receptor *versus* área.

Tabela 3. Análise das médias pelo fatorial 3x3.

Trat	Nr	Media	D.padrão	Observações originais (%)			Testemunha (%)
11	3	99,5301	0,1290	99,3228	99,3228	99,9448	100
12	3	98,8464	0,0900	98,7202	98,6300	99,1889	100
13	3	99,0042	0,4930	98,8467	98,3941	99,7717	100
21	3	99,5343	0,0226	99,6211	99,6211	99,3606	100
22	3	99,7858	0,0315	99,6834	99,6834	99,9907	100
23	3	99,9550	0,0045	99,9938	99,9938	99,8773	100
31	3	99,5662	0,0855	99,3974	99,3975	99,9038	100
32	3	99,5221	0,1513	99,4491	99,9424	99,1749	100
33	3	98,2986	6,6799	99,7765	95,3143	99,8051	100

Após a aplicação dessas duas técnicas de análise, constatou-se que os resultados praticamente não alteram para qualquer um dos três aparelhos GPS. A análise da variância para o variável erro de medição, sem transformação, encontra-se na Tabela 4, onde não apresentou diferença significativa, pelo teste F, para o fator GPS.

Tabela 4. Interação do fator A (GPS) e fator B (área).

Causas de variação	Quadro de análise de variância			
	G.L.	S.Q.	Q.M.	F a 0,05
Fator A	2	2,3845	1,1923	1,3959 ^{ns}
Fator B	2	0,9718	0,4859	0,5689 ^{ns}
Fator AxB	4	3,1718	0,7930	0,9284 ^{ns}
Tratamentos	8	6,5282	0,8160	
Resíduo	18	15,3745	0,8541	

⁽¹⁾ Média Geral = 99,3381; Coeficiente de Variação = 93,04%; Desvio Padrão = 92,42%.

^{ns} Não significância entre os fatores e a interação.

Pelo teste de Tukey não foi detectada diferenças entre os três tipos de receptores GPS. Apesar da análise estatística não mostrar diferenças significativas dos erros entre os aparelhos, ainda assim foi realizada uma comparação entre os variáveis erros não significativos a partir da análise descritiva, para um superior desempenho dentre eles.

Conclusões

Não houve efeito estatístico significativo para a percentagem de erro do receptor GPS na medição de áreas. Não foi identificado efeito significativo sobre o erro de medição dos receptores GPS em função ao tamanho diferente das áreas.

A análise estatística descritiva resultou em melhor desempenho para o receptor GPS 76 Csx, com menor desvio padrão em relação ao padrão (Google Earth) para a característica erro de medição de área. Conforme a utilização do GPS de navegação usa-se um método para cada tipo de especificidade e/ou necessidade.

Referências

ANGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A.; SARRIES, G.A. Avaliação da exatidão de posicionamento planimétrico de um receptor GPS operando sob diferentes condições de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.6, n.2, p.325-331, 2002.

BLITZKOW, D. **Posicionamento por satélite: NAVSTAR/GPS**. São Paulo: Escola Politécnica, USP, 1995. 36p.

CASTRO, D.R.S. **Breve descrição do GPS**. Disponível em: <www.sistemasdearmas.hpg.ig.com.br/gpsdavi.htm>. Acesso em: fev. 2004.

CORSEUIL, C.W; ROBAINA, A.D. Determinação altimétrica através do sistema de posicionamento global. **Mira**, Santa Maria, v.33, n.5, p.673-8, 2003.

DOBRIN, M.B. **Introduction to Geophysical Prospecting**. USA: McGraw-Hill, 1976. 630 p.

FERRACCIOLI, F.; COREN, F.; BOZZO, E.; ZANOLLA, C.; GANDOLFI, S.; TABACCO, I. & FREZZOTTI, M. Rifted (?) crust at the East Antarctic Craton margin: gravity and magneti interpretation along a traverse across the Wilkes Subglacial Basin region. **Earth and Planetary Science Letters**, 192: 407-421, 2001.

KEAREY, P. & BROOKS, M. **An Introduction to Geophysical Exploration**. **Blackwell Scientific Publications**. California, USA: [s.n.], 1984. 299 p.

LEICK, A.; **GPS Satellite Surveying**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 560 p.

MARQUES, A.B. **Sistema DGPS Invertido**. 2000. 80f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2000.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. Publicação Interna, Departamento de Cartografia, UNESP, Campus de Presidente Prudente, 1998. 182p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

MORGAN, M. **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline: Deere & Company, 1997. 116 p.

PEROSI, F.A. **Refração sísmica profunda no setor Sudeste da Província Tocantins**. 2000. 115p. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em Geofísica do IAG-USP, São Paulo, 2000.

ROCHA, C.H.B. **GPS de navegação**: para mapeadores, trilheiros e navegadores. Juiz de Fora, MG: Edição do Autor, 2003. 124p.

ROCHA, C.H.B.; OLIVEIRA, H.J.; RIBEIRO, W.G.D.; OLIVEIRA, L.P.; MEDEIROS, I.M. Mapeamento de Trilhas em Unidades de Conservação com uso de GPS com antena Extrema - X: Estudo de caso na Reserva Biológica Poço D´Anta Juiz de Fora - MG. In: ENCONTRO INTERDISCIPLINAR DE ECOTURISMO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (ECOUC) E DO CONGRESSO NACIONAL DE ECOTURISMO (CONECOTUR), 2.; ENCONTRO INTERDISCIPLINAR DE ECOTURISMO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (ECOUC), 2. **Anais...** Itatiaia, 2007. v. Digital.

SILVA, A.S.; FIGUEIREDO, G.C.; ROMÃO, V.M.C.; RODRIGUES, D.D. Configurações Gps Semelhantes não resultam em coordenadas iguais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 6., 2004. **Anais...** Florianópolis-SC, 2004. v. Digital.

SILVA, G.R. & PESSOA, L.M.C. 1995. Ondulação geoidal a partir do GPS – uma solução local. CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 17., Salvador. **Anais...** 1: 134–140.

SHIRAIWA, S. & USSAMI, N. Gravity survey of the PantanalWetland: data acquisition and processing. **Brazilian Journal of Geophysics**, 19(3): 315–323, 2001.

STRUBBE, G. **Mechanics of friction compensation in mass flow measurement of bulk solids**. KULeuven, Belgium: Department of Agro-Engineering and Economics, 1997. PhD Thesis, Department of Agro-Engineering and Economics, 1997.

YAO, H. & CLARK, R.L. Evaluation of Sub-Meter and 2 to 5 Meter Accuracy GPS Receivers to Develop Digital Elevation Models. **Precision Agriculture**, v.2, n.19, p.189-200, 2000.

ZUMBERGE, J.F. & BERTIGER, W.I. Ephemeris and Clock Navigation Message Accuracy. In: **Global Positioning System – Theory and Applications**, Washington D.C.: Institute of Aeronautics and astronautics, 1996. v. I, p.585-599.