



Exatidão de posicionamento de um receptor GPS, operando sob diferentes coberturas vegetais



Rubens Angulo Filho¹, Carlos A. Vettorazzi¹ & Gabriel A. Sarries²

¹ USP/ESALQ. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone: (19) 3429-4143. E-mail: ruangulo@esalq.usp.br (Foto) e cavettor@esalq.usp.br

² USP/ESALQ. Fone: (19) 3429-4144. E-mail: gabriel@esalq.usp.br

Protocolo 128 - 3/9/2001

Resumo: Para avaliar a exatidão de posicionamento planimétrico do receptor GPS Trimble/Pro-XL, operando sob diferentes condições de cobertura vegetal (pastagem, seringueira, eucalipto e pinus), o equipamento foi posicionado alternadamente sobre 6 pontos, locados ao acaso nas áreas de estudo, variando o tempo de permanência (1, 5 e 10 min) mas com a mesma taxa de aquisição de dados (1 s) fazendo-se, posteriormente, a correção diferencial (DGPS) pós-processada dos dados. Os pontos também tiveram suas coordenadas levantadas pelo método topográfico, segundo a NBR 13133 - Execução de Levantamento Topográfico, para fins de comparação. De acordo com o método empregado e os resultados obtidos, foi possível separar as exatidões de posicionamento planimétrico, conforme o tipo de cobertura vegetal, em dois grupos: sem e com cobertura arbórea confirmando, assim, a interferência do dossel na recepção dos sinais emitidos pelos satélites GPS. O aumento do tempo de permanência melhorou a exatidão de posicionamento planimétrico, o que ratifica a escolha da metodologia de levantamento como sendo fundamental para a obtenção de bons resultados de posicionamento.

Palavras-chave: sistema de posicionamento global, exatidão, planimetria

Evaluation of the accuracy of positioning a GPS receiver operating under different vegetation covers

Abstract: To evaluate planimetric positioning accuracy of a GPS receiver (Trimble/Pro-XL), operating under different conditions of vegetation cover (pasture, rubber trees, eucalyptus and pine trees), 6 control points were located randomly in the study area. For comparison, their coordinates were first obtained by a conventional surveying method, according to NBR 13133 of Brazilian Surveying Standards. Afterwards, the GPS receiver was positioned on those control points, maintaining the acquisition rate of 1 s while changing the time for 1, 5 and 10 min, the DGPS method was used to correct the positioning coordinate data. According to the methodology applied and the results obtained, it was possible to distinguish planimetric positioning accuracy, according to the vegetation cover, in two groups: with and without tree canopy, confirming its interference on the receiver signal reception emitted by the GPS satellites. Increasing the time with the receiver over the control points improved the planimetric positioning accuracy, which emphasizes the importance of appropriate choice of the surveying methodology to be utilized.

Key words: global positioning system, accuracy, planimetry

INTRODUÇÃO

Vários autores têm relatado a aplicação do sistema GPS em atividades relacionadas às áreas agrícola e florestal. Segundo August et al. (1994) especialistas na área ambiental têm utilizado o sistema GPS para o posicionamento das feições levantadas no campo. A exatidão obtida com um equipamento de baixo custo, testado pelos autores, dependeu da metodologia empregada no levantamento. Sob condições ideais de operação,

95% dos pontos foram localizados dentro de um raio de 73 m, quando não se procedeu à correção diferencial, e em um raio de 6 m quando a correção diferencial foi efetuada.

McCormick (1999) conduziu um estudo detalhado da vegetação em 'East Everglades', nos EUA, para mapear com GPS a distribuição de *Malaleuca quernervia*, uma espécie vegetal exótica e agressiva, marcada para erradicação. O autor conseguiu obter uma exatidão de 94% no mapeamento, o que permitiu um manejo adequado desta espécie vegetal.

A mais recente aplicação do sistema GPS na área agrícola, encontra-se na agricultura de precisão. Segundo Stafford (1999) o advento desta nova tecnologia favorece a abertura de um grande mercado potencial para utilização do sistema GPS. Dentro desta linha de trabalho, Balastreire et al. (1997) executaram, com exatidão, o mapeamento da produtividade de milho em uma área de 7,0 ha utilizando, na colhedora, um receptor GPS (marca Trimble, modelo Pro-XL) com posicionamento pelo método de correção diferencial (DGPS) pós-processada e registro das informações.

Na área florestal encontram-se, também, inúmeras aplicações do posicionamento via GPS. Liu & Brantigan (1995) testaram a exatidão e a eficiência do método diferencial de posicionamento em ambientes florestais e chegaram à conclusão: 1) que a cobertura vegetal e a ondulação do terreno em regiões montanhosas influenciaram na exatidão do posicionamento DGPS; 2) de que, de maneira geral, os resultados obtidos no levantamento estático/DGPS foram mais exatos, mas o trabalho de campo foi menos produtivo quando comparado com os resultados obtidos no levantamento cinemático/DGPS; e 3) de que resultados com baixa exatidão foram obtidos tanto quando foi utilizado o método estático quanto o método cinemático de posicionamento DGPS.

Deckert & Bolstad (1996) estudaram o desempenho de um equipamento GPS Trimble Pathfinder Professional sob diferentes condições de cobertura florestal e também de relevo, na região leste dos EUA. Suas principais conclusões indicam que a interferência do dossel e do terreno (tipo de relevo) reduz a exatidão e a eficiência do sistema, porque a geometria ótima de satélites no espaço pode não ser visível, mesmo estando acima do horizonte, ou seja, exatidões menores sob PDOP alto.

Segundo Gilbert (1997) os fatores mais importantes que determinam o sucesso de obtenção de valores posicionais com o GPS, sob condições de cobertura vegetal, podem ser enquadrados em três grandes categorias: 1) ambiente; 2) técnicas de coleta de dados; e 3) equipamento GPS.

Naeset (1999) utilizando receptores GPS de 6 e 12 canais que captavam os sinais do código C/A e das portadoras, avaliou a exatidão de posicionamento de pontos levantados por esses equipamentos, operando sob duas condições de cobertura vegetal: 1) coníferas e 2) árvores com folhas decíduas. A exatidão foi determinada para 38 posições utilizando-se o processamento diferencial dos dados, com recepção só do código C/A e combinação deste código com as portadoras, sendo que o tempo de observação variou entre 2,5 e 30 min. Os resultados obtidos mostraram que: a) com o receptor de 12 canais foi possível obter-se maior exatidão no posicionamento que com o receptor de 6 canais, para todas as condições de trabalho; b) a combinação da observação do código C/A e portadora melhorou a exatidão de posicionamento para os dois tipos de equipamento e c) a exatidão melhorou com a melhor distribuição geométrica dos satélites (DOP).

Sigrist et al. (1999) também testaram o impacto de diferentes tipos e densidades de cobertura florestal na coleta de dados, exatidão e precisão de posicionamento GPS, sugerindo, em seu trabalho que, para melhorar a exatidão, deve-se obter pelo menos 300 registros de posicionamento por ponto levantado

e, ainda, que o PDOP não é um bom indicador de exatidão de posicionamento quando se trabalha sob florestas.

Assim, com a finalidade de se avaliar o efeito do dossel na recepção dos sinais GPS, testou-se, neste trabalho, o desempenho do receptor GPS Trimble/Pro-XL no levantamento de pontos localizados em áreas com diferentes coberturas vegetais, variando o tempo de permanência sobre esses pontos e se avaliando a exatidão do posicionamento fornecendo, deste modo, subsídio para a sua utilização.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo encontra-se no Campus “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, no município de Piracicaba, SP, cujas coordenadas aproximadas são: a) latitude de 22°42'40" S e b) longitude de 47°37'30" W. A altitude varia entre 500 e 600 m, com o relevo variando de suave ondulado a ondulado.

Para a avaliação do desempenho do equipamento sob diferentes condições de cobertura vegetal, selecionaram-se quatro diferentes áreas: a) pastagem/testemunha; b) *Eucalyptus urophylla* adulto (plantado em dezembro de 1969) na época da coleta de dados com espaçamento de 2,0 m; c) seringal policlonal, em que os principais clones são RRIM 600, IAN 873, PB 235 e GT 1, com idade variando entre 9 e 13 anos e espaçamento de 7,0 x 3,0 m; e d) *Pinus oocarpa* (plantado em setembro de 1977). No interior das áreas selecionadas foram locados 6 pontos ao acaso, materializados por meio de piquetes de madeira e identificados por estacas.

Com a finalidade de se obter valores de coordenadas planimétricas considerados testemunhas para os pontos locados nas diferentes áreas, esses pontos foram levantados segundo a NBR 13133 - Execução de Levantamento Topográfico. As poligonais foram da classe IVP, cuja medição angular foi feita pelo método das direções, com uma série de leituras conjugadas direta e inversamente, horizontal e vertical, utilizando-se teodolito classe 2, e a medição linear foi feita com leituras recíprocas (vante e ré) com distanciômetro eletrônico classe 1 e controle taqueométrico com leitura dos três fios. O equipamento empregado foi o PENTAX / PX-06D (exatidão de $\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$).

De acordo com Gilbert (1997) e Deckert & Bolstad (1996) que sugerem a obtenção de 60 a 500 registros por ponto e apoiado nas observações de Liu & Brantigan (1995) decidiu-se levantar os pontos por meio do método estático e operar o equipamento com taxa de aquisição constante e igual a 1 s, variando o tempo de permanência sobre os pontos (1, 5 e 10 min) nas áreas com os diferentes tipos de cobertura vegetal. Levou-se em consideração, também, o período do dia mais adequado para o levantamento dos pontos com relação ao número de satélites disponíveis e PDOP, sendo que o planejamento da missão para o levantamento dos pontos com o receptor GPS foi feito utilizando-se o software ‘Mission Planning’. Os levantamentos dos pontos foram realizados nas seguintes datas: pastagem nos dias 14 e 16 de dezembro; seringueira no dia 17 de dezembro; pinus no dia 18 de dezembro e do eucalipto, nos dias 18 e 21 de dezembro de 1998.

Os dados de campo foram levantados pelo método estático rápido, com o receptor GPS ‘Pathfinder Pro XL’, previamente

ajustado para operar com uma taxa de aquisição igual a 1 segundo, PDOP < 5 e ângulo de elevação de 15°. Com o auxílio de um bipê, onde foi fixada a antena, os 6 pontos materializados por piquetes e identificados por estacas, localizados nos 4 tipos de cobertura vegetal (pastagem, eucalipto, seringueira e pinus) foram levantados em seqüência (1, 5 e 10 min) e as informações armazenadas no coletor de dados, para posteriormente se fazer a correção diferencial (DGPS).

Terminado o levantamento de campo, os dados armazenados no coletor e os arquivos criados pela 'Pathfinder Community Base Station', foram processados com o auxílio do programa PFINDER.

Para se avaliar a exatidão do equipamento GPS utilizado na determinação das coordenadas planimétricas dos pontos de interesse, foi necessário compará-las com "coordenadas de controle" dos mesmos pontos, determinadas por meio do levantamento topográfico, conforme descrito anteriormente.

As coordenadas de controle e as coordenadas obtidas pelo GPS, estavam em sistemas diferentes e, conseqüentemente, não eram comparáveis. Este problema foi resolvido efetuando-se transformações de forma que as coordenadas ficassem todas no mesmo sistema. Para tanto, utilizou-se o programa TDAT, através do qual foram transformadas as coordenadas geográficas fornecidas pelo sistema GPS e referidas ao DATUM WGS-84 para o plano topográfico local (x, y).

Para se calcular o erro de posicionamento, fez-se uma analogia com o erro linear de fechamento utilizado nos cálculos das poligonais fechadas onde, segundo Domingues (1979) as somas algébricas das projeções Np ou Ep de uma poligonal fechada, sobre os respectivos eixos N e E, devem ser nulas (teorema de Carnot). Tem-se, então, o erro de fechamento, definido pelas seguintes expressões:

$$\epsilon_N = \sum N_{p+} - \sum N_{p-} \quad (1)$$

$$\epsilon_E = \sum E_{p+} - \sum E_{p-} \quad (2)$$

em que:

- N_p - projeções das coordenadas parciais sobre o eixo N
- E_p - projeções das coordenadas parciais sobre o eixo E

Assim, de acordo com a teoria dos erros, define-se o erro linear de fechamento, como sendo:

$$\epsilon_L = \sqrt{\epsilon_N^2 + \epsilon_E^2} \quad (3)$$

Considerando-se, então, Δx como sendo a diferença entre as coordenadas x obtidas pelo método topográfico convencional e com o receptor GPS e Δy, a diferença entre as coordenadas y, o erro de posicionamento será:

$$\text{Erro de posicionamento} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (4)$$

Deste modo, para cada um dos seis pontos localizados sob os 4 tipos diferentes de cobertura vegetal, foram obtidos 3 valores diferentes de erro de posicionamento, referentes aos

3 tempos de permanência utilizados (1, 5 e 10 min). Os pontos foram identificados por letras e números, em que as letras indicavam o tipo de cobertura vegetal, o primeiro número a identificação do ponto e o número seguinte o tempo de permanência com o receptor GPS sobre o ponto (Ex.: Pi35 = ponto 3 da área de pinus com tempo de 5 min; E410 = ponto 4 da área de eucalipto, com tempo de 10 min).

Para testar a influência da cobertura vegetal e do tempo de medição, na determinação de posição por meio de GPS utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso, modelo de Gauss e Markov (Montgomery, 1993).

A variável de resposta do experimento foi o erro de posicionamento obtido no levantamento por GPS, em relação ao levantamento topográfico convencional.

Os tratamentos principais foram as coberturas vegetais: 1- Pastagem; 2- Seringueira; 3- Pinus e 4- Eucalipto, cada um repetido 6 vezes, constituindo 24 parcelas experimentais, e tomadas medidas da variável resposta, em 3 tempos: 1, 5 e 10 min, totalizando 72 unidades experimentais.

Assim, o modelo matemático adotado foi o de delineamento inteiramente ao acaso, com parcelas subdivididas:

$$Y_{ijk} = m + C_i + e_{ij} = T_k = (CT)_{ik} + \epsilon_{ijk} \quad (5)$$

em que:

- Y_{ijk} - valor observado da variável erro de posição, referente ao i-ésimo tratamento (cobertura vegetal) na j-ésima repetição no k-ésimo tempo
- m - fator fixo, estimado pela média geral
- C_i - efeito da i-ésima cobertura vegetal
- e_{ij} - erro aleatório correspondente às parcelas (variação do acaso sobre as observações da i-ésima cobertura vegetal na j-ésima repetição) supostos homocedásticos, independentes e normalmente distribuídos
- T_k - efeito do k-ésimo tempo
- (CT)_{ik} - efeito da interação da i-ésima cobertura vegetal com o k-ésimo tempo
- ε_{ijk} - erro aleatório correspondente às subparcelas (variação do acaso sobre as observações da i-ésima cobertura vegetal, k-ésimo tempo, na j-ésima repetição) supostos homocedásticos, independentes e normalmente distribuídos

Dado que o fator Cobertura Vegetal é qualitativo, sempre que o teste F detectou diferença significativa entre suas médias ou entre as médias da interação, fez-se o detalhamento da análise por meio do teste de comparações múltiplas de Tukey e do teste de Dunnett, considerando-se testemunha o nível Pastagem do fator Cobertura Vegetal.

A razão Quadrado Médio (QM) Tratamentos/QM Res. testa as hipóteses:

- H₀: não existe diferença entre as médias de coberturas (QM Coberturas/QM Resíduo (A))
- H₁: não existe diferença entre as médias de tempos de medição (QM Tempos/QM Resíduo (B))

- H_2 : não há diferença entre as médias da interação de coberturas e tempos de medição (QM Coberturas x Tempos/QM Resíduo (B))

Para o fator Tempo e suas interações, como se trata de fator quantitativo, a bibliografia consultada recomenda que o detalhamento da análise da variância seja feito por meio de estudo do comportamento da variável (erro de posição) em função do tempo, utilizando-se análise de regressão polinomial e ajuste de curvas. Com base nesse estudo, ajustaram-se os modelos lineares e quadráticos.

Para que os modelos de análise descritos tenham validade e os testes tenham poder, é necessário que sejam satisfeitas as pressuposições:

- homogeneidade de variâncias, ou seja, só podem ser comparados tratamentos com variâncias homogêneas entre si
- independência dos erros
- erros com distribuição normal (ou aproximadamente normal).

Para se testar essas pressuposições, procedeu-se à análise exploratória de dados, por meio de:

- Teste de homogeneidade de variâncias: utilizou-se o teste do F_{\max} , que consiste em se obter a razão entre a maior e a menor variância de tratamentos e compará-la com um valor tabelado:

$$F_{\max} = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} \sim F_{(k \text{ trat.}; v-1 \text{ rep.})} \quad (6)$$

Se o valor obtido for maior que o tabelado, rejeita-se a hipótese de que as variâncias de tratamentos são homogêneas, havendo necessidade de se estudar se essa heterogeneidade pode ou não ser eliminada com uma transformação dos dados; se o valor obtido for menor que o tabelado, não se rejeita a hipótese de homogeneidade de variâncias.

- Análise gráfica dos resíduos: consiste em se plotar, num diagrama de dispersão, os valores estimados pelo modelo da análise da variância versus resíduos padronizados (erro referente a cada observação, dividido pelo desvio padrão amostral). A forma desse gráfico permite detectar-se a falta de independência e existência de heterogeneidade regular (que pode ser eliminada por meio do uso de uma transformação adequada) ou irregular (que não permite transformação, quando se recomenda o uso da estatística não-paramétrica). O intervalo dos resíduos padronizados detecta se há algum(ns) valor(es) desviando-se da normalidade. Normalmente, consideram-se distribuídos os resíduos que estiverem no intervalo de -3 a 3.

- Diagrama de “ramos e folhas”: ordenação dos dados de forma programada para mostrar sua distribuição aproximada, dispersão, assimetria, curtose, agrupamento de valores e, principalmente, detecção de “outliers” (dados discrepantes) e sua localização, alertando para possíveis problemas não notados durante o experimento (p.e., material estranho ao experimento).

Sempre que alguma das pressuposições foi violada, procurou-se a transformação potência adequada (Hoaglin et al., 1983) para a análise paramétrica e se fez, também, a análise não-paramétrica, para comprovação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coordenadas obtidas pelo método topográfico convencional e com GPS, para todos os pontos levantados nas diferentes condições de cobertura vegetal, com os diferentes tempos de permanência e os erros de posicionamento, estão apresentados na Tabela 1.

Uma análise preliminar dos dados dessas tabelas mostra, como era de se esperar e concordando com Liu & Brantigan (1995), Deckert & Bolstad (1996), Naeset (1999) e Sigrist et al. (1999) que os menores erros de posicionamento foram obtidos na área de pastagem, estando eles dentro do esperado, tratando-se de um equipamento da categoria submétrico e confirmando a influência das diferentes coberturas vegetais (seringueira, pinus e eucalipto) no posicionamento planimétrico dos pontos levantados.

Outro aspecto importante foi que, de maneira geral, um tempo maior de permanência sobre os pontos propiciou um erro menor de posicionamento para a maioria dos pontos, independentemente da cobertura vegetal, concordando com Liu & Brantigan (1995).

Com a finalidade de melhor entender a influência que a cobertura vegetal e o tempo de permanência sobre os pontos levantados tiveram na recepção dos sinais emitidos pelos satélites GPS e, também, se houve diferença entre as vegetações e os tempos escolhidos, procedeu-se à análise estatística dos dados.

Análise exploratória dos dados

O valor observado no teste de F_{\max} , para a variável erro de medição (157,04), foi maior que o tabelado (29,9) a nível de 5% de significância, com 12 e 5 graus de liberdade, respectivamente, cujo resultado aponta para a presença de heterocedasticidade, ou seja, uma violação importante nas pressuposições do modelo de Gauss e Markov.

A análise gráfica dos resíduos para a variável não transformada e com transformação raiz quadrada, apresentada na Figura 1, permite afirmar-se que as pressuposições de independência (por meio da forma do gráfico), de normalidade (por meio dos intervalos dos resíduos padronizados) não foram violadas e que a pressuposição homogeneidade de variâncias foi restabelecida com a transformação raiz quadrada.

O gráfico de resíduos para a variável transformada através da função raiz quadrada, transformação indicada pela técnica Transformação Potência (Figura 1B) mostra diminuição da heterocedasticidade, porém não a resolução do problema.

A observação dos diagramas de ramos e folhas (Figura 2) permite a identificação de 1 “outlier” para maior na variável não transformada (3,3) correspondente à cobertura eucalipto, no tempo de um minuto. Observa-se, porém, que a ocorrência desse valor não viola as pressuposições para realização da análise da variância do modelo e poder dos testes de comparação.

Tabela 1. Coordenadas topográficas e GPS e erro de posicionamento para os pontos levantados na área/teste ocupadas por pastagem, seringueira, pinus e eucalipto

Coordenadas Topográficas (m)		Coordenadas GPS (m)		Erro (m)	Coordenadas Topográficas (m)		Coordenadas GPS (m)		Erro (m)	
X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		
A. Pastagem (P)					C. Pinus (Pi)					
P1	11555,655	8980,524	P11	11556,038	8981,261	0,831	Pi1	11814,052	9503,077	0,897
			P15	11556,009	8981,261	0,818	Pi15	11813,925	9500,586	2,494
			P110	11555,809	8981,015	0,515	Pi110	11814,668	9503,632	0,829
			P21	11587,198	8935,543	0,766	Pi21	11804,142	9551,348	1,839
P2	11587,141	8934,779	P25	11587,227	8935,358	0,585	Pi2	11805,326	9549,941	1,049
			P210	11587,398	8935,605	0,865	Pi210	11805,540	9550,579	0,673
			P31	11629,010	8954,612	0,776	Pi31	11776,834	9599,896	1,437
P3	11628,454	8954,071	P35	11629,010	8954,735	0,866	Pi3	11778,123	9600,531	0,830
			P310	11628,868	8954,766	0,809	Pi310	11777,662	9600,542	0,461
			P41	11675,362	8985,709	0,682	Pi41	11808,688	9616,874	1,893
P4	11675,115	8985,073	P45	11675,248	8985,740	0,680	Pi4	11809,699	9618,475	3,014
			P410	11675,276	8985,617	0,567	Pi410	11809,230	9618,628	0,493
			P51	11636,924	9034,505	0,652	Pi51	11847,784	9582,691	1,784
P5	11636,869	9033,855	P55	11636,924	9034,413	0,561	Pi5	11849,208	9583,766	1,121
			P510	11637,181	9034,382	0,612	Pi510	11848,898	9583,952	0,362
			P61	11585,353	9025,927	0,898	Pi61	11857,454	9534,175	1,320
P6	11585,547	9025,050	P65	11585,581	9025,743	0,694	Pi6	11856,842	9533,006	1,500
			P610	11585,724	9025,866	0,835	Pi610	11858,053	9535,344	2,633
B. Seringueira (S)					D. Eucalipto (E)					
S1	10747,861	10557,227	S11	10746,107	10556,856	1,793	E1	11887,338	9554,281	2,135
			S15	10747,991	10556,949	0,307	E15	11886,767	9554,906	0,847
			S110	10747,620	10558,887	1,677	E110	11887,766	9554,722	0,615
			S21	10792,827	10486,928	1,629	E21	11915,759	9508,819	1,693
S2	10794,429	10487,223	S25	10795,682	10487,759	1,363	E2	11916,412	9507,257	2,331
			S210	10793,512	10487,390	0,932	E210	11915,445	9508,634	1,683
			S31	10853,728	10336,060	0,989	E31	11925,711	9439,907	0,203
S3	10852,802	10335,713	S35	10852,444	10336,183	0,591	E3	11925,641	9440,098	2,809
			S310	10852,615	10335,352	0,407	E310	11926,225	9440,953	1,035
			S41	10923,745	10395,676	0,073	E41	11922,709	9400,776	3,315
S4	10923,708	10395,613	S45	10923,403	10396,045	0,529	E4	11919,897	9399,021	3,213
			S410	10923,603	10396,414	0,808	E410	11920,169	9399,668	0,702
			S51	10874,117	10512,981	1,943	E51	11948,485	9433,720	1,071
S5	10876,048	10512,769	S55	10876,172	10512,919	0,195	E5	11948,030	9432,751	0,940
			S510	10876,401	10512,519	0,433	E510	11948,342	9433,043	0,427
			S61	10822,032	10596,784	2,872	E61	11930,172	9512,447	2,852
S6	10822,633	10593,976	S65	10823,801	10592,846	1,625	E6	11927,842	9510,802	2,225
			S610	10821,204	10593,738	1,449	E610	11929,259	9511,432	1,551

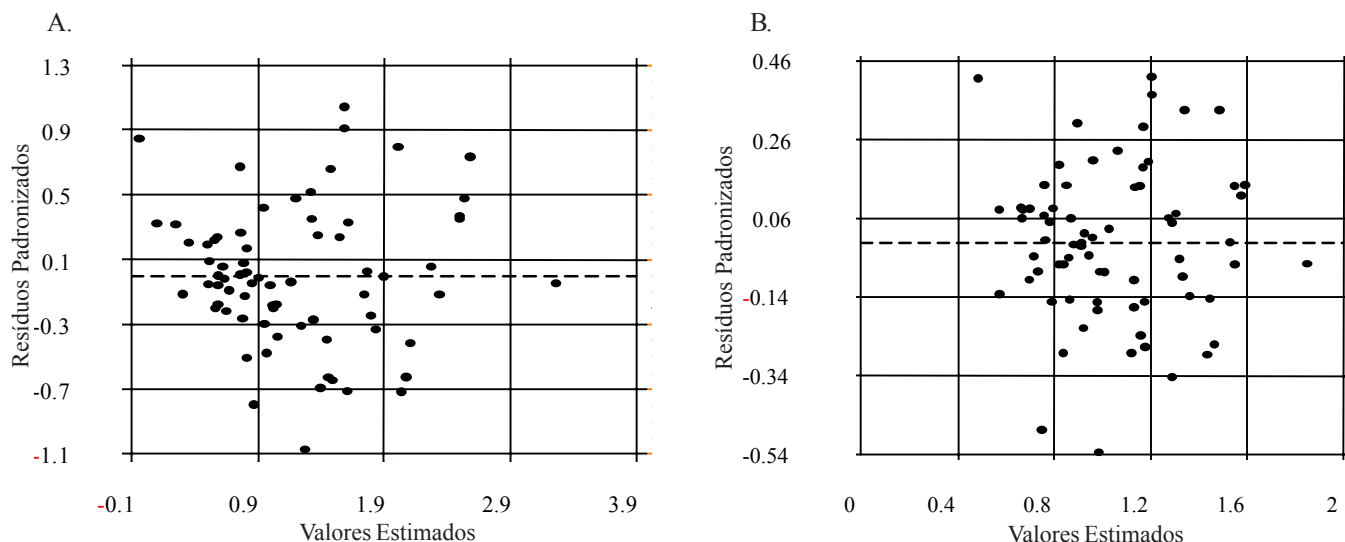


Figura 1. Análise gráfica dos resíduos padronizados para a variável erro de posição, sem transformação (A) e com transformação raiz quadrada (B)

```

ANG02.Erro: unit = 0.1 1|2 represents 1.2

 10   0* |0123344444
(31)  0o |555556666667777888888888888999
 31   1* |00013344
 23   1o |556666677889
 11   2* |1234
  7   2o |6888
  3   3* |02

      HI |33

SQRT(ANG02.Erro):unit=0.1 1|2 represents 1.2

 1   0T |2
  4   0F |445
 18   0S |6666677777777
(23)  0o |8888888888999999999999999
 31   1* |0000111
 24   1T |222222333333
 11   1F |4455
  7   1S |666677
  1   1o |8

```

Figura 2. Diagrama de ramos e folhas para a variável erro de posição, sem transformação e com transformação raiz quadrada (* - dígitos primários 0, 1, 2, 3, 4; ° - dígitos secundários 5, 6, 7, 8, 9)

Observa-se também que, no diagrama de ramos e folhas para a variável transformada pela função raiz quadrada, nenhum “outlier” foi observado e a distribuição se mostrou mais simétrica.

Análise da variância e testes de significância

Análise da variância: Em função da violação da pressuposição de homocedasticidade do modelo de Gauss e Markov adotado, os dados foram analisados aplicando-se a transformação raiz quadrada, recomendada pela aplicação da técnica Transformação Potência e, para confirmação de que a transformação aumentou o poder dos testes, realizou-se também a análise dos dados, por meio de estatística não-paramétrica. Após a aplicação dessas duas técnicas de análise, constata-se que os resultados praticamente não mudam para qualquer uma das duas opções.

A análise da variância para a variável erro de medição, dados transformados com raiz quadrada, encontra-se na Tabela 2.

O quadro de análise da variância, Tabela 2, mostra diferença significativa, pelo teste F, para os fatores cobertura e tempo, com aproximadamente 98% de confiança. A interação esteve próximo à significância e, nesses casos, recomenda-se o seu desdobramento, ou seja, comparar as coberturas para cada um dos tempos e os tempos em cada uma das coberturas.

Tabela 2. Análise da variância e teste F para a variável erro de medição (com transformação raiz quadrada) em função dos fatores (causas da variação) cobertura e tempo de medição

Causas da Variação	GL.	S.Q.	Q.M.	Valor F	PROB.>F
Cobertura	3	1,4564778	0,4854926	3,8648	0,02449
Resíduo(A)	20	2,5123795	0,1256190		
Parcelas	23	3,9688573			
Tempo	2	0,6772253	0,3386126	4,0644	0,02407
COB*TEM	6	0,7673444	0,1278907	1,5351	0,19122
Resíduo (B)	40	3,3324410	0,0833110		
Total	71	8,7458679			

Média Geral = 1,041881; Coeficiente de Variação (A) = 19,640%; Coeficiente de Variação (B) = 27,703%

Testes de comparação para médias de coberturas vegetais: Os resultados da aplicação do teste de Tukey para todos os tempos e para cada um dos tempos de medição, podem ser observados na Tabela 3 e mostram que, levando-se em consideração todos os tempos, a cobertura eucalipto apresentou a maior média para a variável erro de medição (1,65 m) diferindo, com 95% de confiança da cobertura pastagem, que apresentou a menor média (0,72 m). Esta foi a única diferença estatisticamente significativa detectada. Quando se consideraram as médias de cobertura em todos os tempos, observou-se que, embora apresentando a maior média, o eucalipto somente diferiu estatisticamente da pastagem.

Tabela 3. Comparações entre coberturas vegetais pelo teste de Tukey, baseadas em médias da variável erro de posicionamento

Cobertura Vegetal	Tempo de Medição (min)			Média Geral (todos os tempos)
	1	5	10	
Eucalipto	1,88 a A	2,06 a A	1,00 a A	1,65 a A
Pinus	1,53 a A	1,67 ab A	0,91 a A	1,37 ab A
Seringueira	1,55 a A	0,77 b A	0,95 a A	1,09 ab A
Pastagem	0,77 a A	0,70 b A	0,70 a A	0,72 b A

Obs.: Médias seguidas por alguma letra em comum não diferem pelo Teste de Tukey a nível de 95% de confiança (letras minúsculas) ou 99% de confiança (letras maiúsculas)

Na mesma Tabela 3 observou-se o comportamento das coberturas vegetais nos diferentes tempos de medição.

Confirmando o resultado da análise da variância, observa-se que o teste de Tukey não detectou diferença significativa entre as médias de cobertura dentro de tempos, exceção feita, a nível de 5%, para coberturas, dentro do tempo de 5 min, onde o eucalipto foi significativamente superior à pastagem e à seringueira e igual ao pinus. O pinus, por sua vez, não diferiu estatisticamente da maior média nem das menores.

Um outro teste de significância aplicado ao fator cobertura vegetal foi o de Dunnett, recomendado para comparações de tratamentos com uma testemunha, sendo a pastagem considerada testemunha (Tabela 4). As conclusões não mudaram substancialmente em relação ao teste de Tukey, porém surgiram novas diferenças, pelo fato do teste de Dunnett ser mais sensível que o de Tukey, para comparações com testemunha.

Nas comparações das médias do fator cobertura, para todos os tempos, foi evidenciada, pelo teste de Dunnett, diferença significativa entre pastagem e pinus, a nível de 95% de confiança, enquanto pelo teste de Tukey elas foram consideradas iguais. Entre pastagem e eucalipto, que pelo teste de Tukey apresentavam diferença com 95% de confiança, pelo teste de Dunnett evidenciou-se diferença com 99% de confiança.

Tabela 4. Comparações entre coberturas vegetais pelo teste de Dunnett em médias da variável erro de medição, considerando-se pastagem como testemunha

Cobertura Vegetal	Tempo de Medição (min)			Média Geral (todos os tempos)
	1	5	10	
Eucalipto	1,88 ^{ns}	2,06 ^{**}	1,00 ^{ns ns}	1,65 ^{**}
Pinus	1,53 ^{ns ns}	1,67 ^{ns}	0,91 ^{ns ns}	1,37 ^{ns}
Seringueira	1,55 ^{ns ns}	0,77 ^{ns ns}	0,95 ^{ns ns}	1,09 ^{ns ns}
Pastagem (Testemunha)	0,77	0,70	0,70	0,72

Obs.: Médias seguidas por “**” diferem significativamente em relação à pastagem (Testemunha), pelo teste de Dunnett com 95% de confiança, na primeira coluna após a média, e 99% na segunda. A sigla “ns” indica que não existem diferenças significativas

Quando se estudaram as coberturas dentro dos tempos, observou-se que pelo teste de Dunnett foi evidenciada diferença entre a pastagem e o eucalipto, com 95% de confiança no tempo de 1 min (pelo Tukey não foi detectada diferença entre eles). Dentro de 5 min do fator tempo ocorreu diferença entre pastagem e pinus com 95% de confiança (pelo Tukey não houve diferença entre eles) e entre pastagem e eucalipto uma diferença com 99% de confiança (pelo Tukey a confiança dessa diferença era de 95%). Aos 10 min, o teste de Dunnett foi concordante com o teste de Tukey, isto é, não foi detectada diferença entre pasto e demais coberturas vegetais.

Detalhamento da análise para tempos de medição, por meio da análise de regressão polinomial

O estudo dos tempos para todas as coberturas vegetais mostrou tendência linear decrescente, altamente significativa (com mais de 99% de confiança) relacionando o fator tempo de medição (x) com a variável de resposta erro de posição (y) mediante a seguinte equação:

$$y = -0,0609x + 1,532 \quad (R^2 = 0,9506)$$

Quando se desdobraram os graus de liberdade da interação para visualizar a tendência do fator tempo dentro de cada cobertura vegetal observou-se, para todas as coberturas, tendência linear decrescente, com confiança de 96% para o pinus, 95% para o eucalipto e sem significância estatística para a pastagem e para a seringueira. Na Figura 3 são apresentadas essas tendências, as retas ajustadas e os coeficientes de determinação.

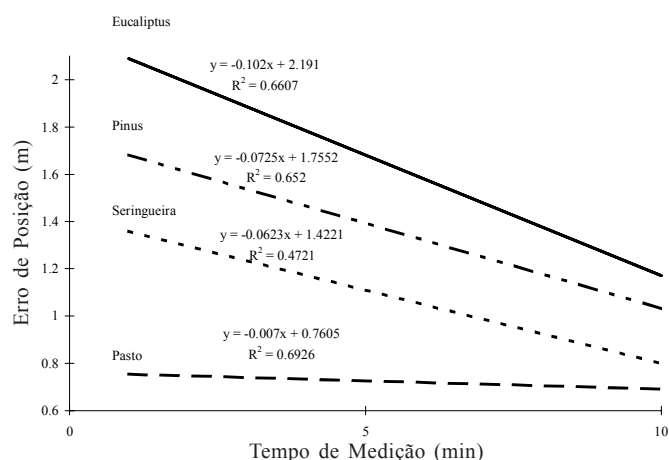


Figura 3. Ajuste da relação entre o fator tempo de medição e a variável de resposta erro de posicionamento, para cada uma das coberturas vegetais

O gráfico de tendências para cada uma das coberturas vegetais mostra que, aumentando-se o tempo de medição, o erro de posição tende a confluir com o erro obtido para a pastagem (testemunha). Nesses gráficos pode-se visualizar, também, uma tendência, a ocorrência de maiores erros de posicionamento para o eucalipto, seguido do pinus, seringueira e pastagem, com um máximo de diferenças para o tempo de medição de 1 min e mínimo para 10 min.

Apesar da análise estatística mostrar diferenças no erro de posicionamento em apenas algumas situações, Tabelas 4 e 5, observa-se que o tempo de permanência de 10 min foi o que

apresentou melhores resultados, independentemente do tipo de cobertura vegetal e que, portanto, dentro da metodologia empregada, seria o tempo de permanência recomendado. Esses resultados mostram que a escolha do método de levantamento GPS é fundamental para a obtenção de bons resultados, o que concorda com as observações feitas por Liu & Brantigan (1995), Gilbert (1997), Naasset (1999) e Sigrist et al. (1999).

CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia empregada e os resultados obtidos, as principais conclusões foram:

1. Foi possível separar-se as exatidões de posicionamento planimétrico conforme o tipo de cobertura vegetal, em dois grupos: sem e com cobertura arbórea, confirmando a interferência do dossel na recepção dos sinais emitidos pelos satélites GPS.
2. De maneira geral, o aumento do tempo de permanência melhorou a exatidão de posicionamento planimétrico, o que ratifica a escolha da metodologia de levantamento como fundamental para a obtenção de bons resultados de posicionamento.

LITERATURA CITADA

- August, P.; Michaud, J.; Labash, C.; Smith, C. GPS for environmental applications - Accuracy and precision of locational data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.60, n.1, p.41-45, 1994.
- Balastreire, L.A.; Elias, A.I.; Amaral, J.R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v.8, n.1, p.97-111, 1997.
- Deckert, C.; Bolstad, P.V. Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.62, n.30, p.317-321, 1996.
- Domingues, F.A.A. Topografia e astronomia de posição: para engenheiros e arquitetos. São Paulo: Editora Mc Graw Hill do Brasil, 1979. 403p.
- Gilbert, C. GPS - Performance sob coberturas vegetais. *Fator GIS*, Curitiba, v.5, n.18, p.52-53, 1997.
- Hoaglin, D.C.; Mosteller, F.; Tukey, J.W. *Análise exploratória de dados: técnicas robustas*. Lisboa: John Wiley & Sons, 1983. 446p.
- Liu, C.J.; Brantigan, R.D. Using differential GPS for forest traverse surveys. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.25, n.11, p.1795-1805, 1995.
- McCormick, C.M. Mapping exotic vegetation in the Everglades from large-scale aerial photographs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.65, n.2, p.179-184, 1999.
- Montgomery, D.C. *Design and analysis of experiments*. New York: John Wiley & Sons. 1993. 578p.
- Naasset, E. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.29, n.5, p.547-553, 1999.
- Sigrist, P.; Coppin, P.; Hermy, M. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing*, London, v.20, n.18, p.3595-3610, 1999.
- Stafford, J.V. GPS in agriculture - A growing market! *Journal of Navigation*, New York, v.52, n.1, p.60-69, 1999.