

Influência do campo eletromagnético de um motor elétrico no desempenho de receptores GPS L1-C/A em ensaio cinemático

Maurício Martello¹, Tiago R. Tavares¹, Juan José Q. Vargas¹, José P. Molin²

¹Pós-Graduando, Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba, SP, Brasil,
mauriciomartello@gmail.com, tiagosrt3@gmail.com, juanquiros2@gmail.com;

²Professor Associado, Depto de Eng. de Biosistemas, ESALQ-USP, Piracicaba, SP, Brasil,
jpmolin@usp.br;

RESUMO

Receptores GNSS tem grande importância no âmbito da agricultura de precisão, estando diretamente ligados ao estudo da variabilidade espacial das lavouras, normalmente relacionados à coleta de dados cinemáticos. Para análise do desempenho de receptores GNSS tem-se utilizado ensaios cinemáticos em que os receptores podem ser transportados sobre uma plataforma móvel que se desloca sobre trilhos em percurso circular, tracionada por motor elétrico. No entanto, não se sabe ao certo o nível da interferência eletromagnética gerada por este motor no desempenho de receptores GNSS localizados próximo a ele. Neste contexto, o trabalho objetivou avaliar essa possível interferência no desempenho de receptores GPS L1-C/A. O estudo consistiu de um ensaio estático para verificar a semelhança da acurácia e precisão de quatro aparelhos L1-C/A e, em seguida, na avaliação da possível interferência eletromagnética sobre o desempenho dos mesmos receptores. Os resultados mostraram que a precisão e acurácia dos receptores não receberam interferência significativa da energia eletromagnética gerada pelo motor elétrico funcionando a 0,55 m dos receptores.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação cinemática de precisão, Acurácia, GNSS.

ABSTRACT

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) receivers are of great importance in the precision farming context, being directly linked to the study of spatial variability in crops, where are normally used to collect data under movement. Kinematic tests are used to analyze the performance of GNSS receivers, in which the devices can be conveyed on a platform that moves in a circular path on rails, pulled by an electric motor. Nevertheless, there is uncertainty regarding the electromagnetic interference generated by those engines in the performance of GNSS equipment. This study aimed to evaluate the possible electromagnetic

interference generated by electric motors in the performance of L1-C/A GPS receivers in a kinematic test. The study consisted in a static test in order to check the similarity of accuracy and precision of four L1-C/A receivers, and then in the evaluation of possible electromagnetic interference on the performance of the same receivers. The results showed that precision and accuracy of the receivers did not present significant interference from electromagnetic energy generated by the electrical motor.

KEYWORDS: Kinematic precision test, Accuracy, GNSS.

INTRODUÇÃO

A habilitação gratuita de sinal GNSS (Global Navigation Satellite Systems) para uso civil tem provocado a disponibilização de uma grande quantidade de marcas e modelos de receptores. Isso tem beneficiado muitas áreas, devido às diferentes capacidades e usos destes aparelhos (Bossler, 2010). O setor agrícola não esteve fora desse processo de adaptação tecnológica, uma vez que no quadro da agricultura de precisão se encontraram muitas aplicações de sistemas GNSS, promovendo avanços no estudo da variabilidade espacial de lavouras.'

Porém, uma das problemáticas do uso destes aparelhos é a falta de estudos e informações, quanto à precisão dos receptores em condição cinemática. Esta carência de informação pode ser explicada pela alta complexidade na obtenção de um valor confiável devido à ausência de um padrão para ensaios desta natureza, o que tem incentivado estudos sobre desempenho destes aparelhos em condições cinemáticas.

Uma solução, descrita por Machado et al. (2010) e Trevisan et al. (2014), utiliza receptores transportados sobre uma plataforma móvel que se desloca sobre trilhos em percurso circular, tracionada por motor elétrico, dando o caráter cinemático aos testes. No entanto, esses ensaios levaram ao questionamento quanto à possibilidade da energia eletromagnética gerada pelo motor estar interferindo no sinal recebido pelo receptor.

A Norma Brasileira de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (NBR, 2004) recomenda que haja um distanciamento adequado entre linhas de energia e comunicação como medida para reduzir os efeitos das interferências eletromagnéticas de linhas de energia sobre as de comunicação. Por outro lado, Hillebrand e Forno (2015), estudando a influência eletromagnética de uma linha de alta tensão em receptores GNSS, verificaram que esta não influenciou significativamente a exatidão dos dados coletados em ensaio estático.

Diante deste cenário, o presente trabalho tem por objetivo analisar a possível influência da energia eletromagnética gerada por motor elétrico sobre o desempenho de receptores GNSS em condição cinemática.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), sob as coordenadas 22° 42'48.22 "S e 47° 37'42.84" W.

Inicialmente foi desenvolvido um ensaio estático, no qual se avaliou o desempenho de quatro receptores L1 código C/A modelo GTR-A (TechGeo, Brasil) (Figura 1). Foi fixada sobre o solo uma cruz de metal, sendo colocados em cada uma de suas extremidades os quatro receptores. As coordenadas de referência da posição de cada um dos receptores foram levantadas com o receptor RTK L1/L2 GR-3 (Topcon, EUA), pelo método de posicionamento estático, com base posicionada em coordenada conhecida, obtendo assim coordenadas com acurácia milimétrica.

Os dados foram coletados em quatro repetições para cada receptor avaliado, com duração de 1 h, com frequência de 1 Hz, totalizando aproximadamente 3600 pontos por repetição. Todas as coletas foram realizadas no mesmo dia, espaçadas de 1 h cada e estão detalhadas na Tabela 1. Os dados experimentais foram coletados em coordenadas geográficas e transformados a coordenadas UTM, ambas sobre o datum WGS-84.

Tabela 1. Arranjo experimental para a coleta de dados do ensaio estático.

Repetição	Data	Início	Fim
		(h)	
1	13/05/2015	12:00	13:00
2	13/05/2015	14:00	15:00
3	13/05/2015	15:00	16:00
4	13/05/2015	16:00	17:00

A acurácia foi avaliada em função do deslocamento dos pontos em relação à coordenada real da posição de cada receptor. Para sua avaliação foram calculados o erro médio na coordenada leste (EME), o erro médio da coordenada norte (EMN), o erro de posição (EP) e a raiz quadrada da média do EP (RMS), expressas pelas equações de 1 a 4, respectivamente. A RMS indica a acurácia absoluta, pois não utiliza a média, resultando no erro absoluto em relação à referência, que estão em 68% de uma distribuição (Machado, 2010).

A precisão foi avaliada em função do desvio de cada ponto em relação ao ponto central da nuvem de pontos de cada repetição. Para tal, foram calculados o desvio padrão 1σ e o desvio padrão 2σ , sendo σ expresso pela equação 5. O desvio padrão 1σ indica o desvio em relação ao ponto central da nuvem em que 68% de todos os erros ocorreram dentro dos limites de $\pm 1\sigma$, já o desvio padrão 2σ indica este mesmo desvio, porém em que 95% de todos os erros ocorreram dentro dos limites de $\pm 2\sigma$ (MACHADO et al., 2010).

$$EME = |X_e - X_r| \quad (1)$$

$$EMN = |Y_n - Y_r| \quad (2)$$

$$EP = \sqrt{EME^2 + EMN^2} \quad (3)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n EP^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EP_{ij} - \overline{EP_j})^2} \quad (5)$$

Em que:

EME = Erro médio na coordenada leste (m);

EMN = Erro médio na coordenada norte (m);

X_e = Valores das coordenadas leste (m);

X_r = Coordenada real leste (m);

Y_n = Valores das coordenadas norte (m);

Y_r = Coordenada real norte (m);

EP = Erro de posição (m);

RMS = Raiz quadrada da média do erro de posição;

σ = Desvio padrão em relação a coordenada central da repetição;

EP_{ij} = Erro de posição de cada coordenada;

$\overline{EP_j}$ = Média do erro de posição das coordenadas da repetição.

Na sequência desenvolveu-se um ensaio cinemático com os mesmos quatro receptores. Neste ensaio foi utilizado um trilho circular de aproximadamente 60 m de circunferência e sobre o trilho foram adaptadas duas plataformas móveis (Figura 1). A plataforma 1 é equipada com o motor elétrico responsável por tracionar todo o sistema e a plataforma 2 é ligada à primeira por uma haste de metal com 2 m de comprimento, sem apresentar contato direto com o motor.

Os receptores foram divididos em dois pares, sendo um locado próximo ao motor elétrico e o outro distante do motor. Desta maneira avaliou-se o desempenho dos pares de receptores sob uma possível interferência eletromagnética ocasionada pelo motor. Dois dos receptores foram locados na plataforma 1, ficando mais próximos ao motor elétrico, sendo os demais locados sobre plataforma 2. Os receptores da plataforma 1 foram posicionados de modo que ambos ficassem a 0,55 m do motor, já os receptores da plataforma 2 foram

distanciados a 2,55 m e 3,70 m do motor (Figura 1), de modo que ficassem mais afastados da possível fonte de interferência eletromagnética. Foram determinados assim três tratamentos: tratamento 1 composto pelos receptores 1 e 2; tratamento 2 composto pelos receptores 3 e 4; e tratamento 3 composto pelos receptores 2 e 4. Dessa forma, nos tratamentos 1, 2 e 3 os receptores foram distanciados entre si por 1,00 m, 1,15 m e 3,15 m, respectivamente.

O veículo automotor se deslocou à velocidade de aproximadamente 1.5 m s^{-1} . O ensaio cinemático foi realizado aplicando o mesmo método de deslocamento radial das antenas já utilizado em trabalhos desenvolvidos por Machado et al. (2010) e Trevisan et al. (2014).

Os dados em condição cinemática foram obtidos em 5 repetições de 1:00 h de coleta com frequência de coleta de 1 Hz, totalizando 3600 pontos por repetição. Antes do início de cada repetição os aparelhos eram desligados por pelo menos 1 h. Os dias e horários de cada coleta estão representados na Tabela 2.

Tabela 2. Arranjo experimental para a coleta de dados do ensaio cinemático.

Repetição	Data	Início	Fim
		(h)	
1	07/05/2015	11:15	12:15
2	07/05/2015	13:50	14:50
3	07/05/2015	16:15	17:15
4	07/05/2015	18:50	19:50
5	09/05/2015	11:30	12:30

Foram calculadas as distâncias de posicionamento (DP) das coordenadas tomadas por cada receptor do mesmo grupo (Equação 6). Para o cálculo da DP utilizou-se os pontos registrados com a mesma informação de tempo (hora, minuto e segundo). Foram calculados o desvio padrão e a média das DP para cada tratamento. O desvio padrão da DP representa a precisão e a sua média quando comparada com as respectivas distâncias reais, denota a acurácia dos receptores em estimar a distância real entre eles. O desvio padrão e a média da DP dos distintos tratamentos foram comparados utilizando o teste de Tukey.

$$DP = \sqrt{[(\text{Lat A})^2 + (\text{Lon A})^2]} - \sqrt{[(\text{Lat B})^2 + (\text{Lon B})^2]} \quad (6)$$

Em que:

DP = distância de posicionamento entre coordenadas (m);

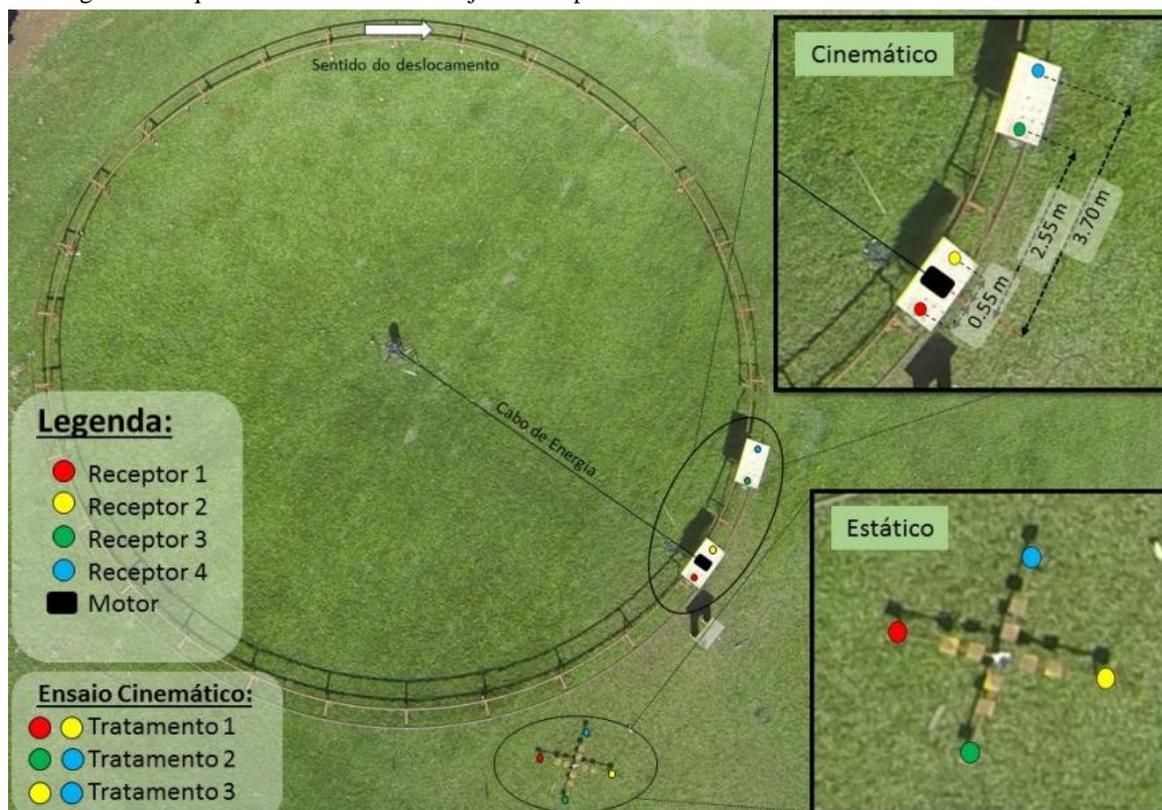
Lat A = latitude do receptor “A” (m);

Lon A = longitude do receptor “A” (m);

Lat B = latitude do receptor “B” (m);

Lon B = longitude do receptor “B” (m).

Figura 1. Esquema ilustrativo do arranjo de receptores utilizados nos ensaios estático e cinemático.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio estático se encontram na Tabela 3, onde são apresentadas as médias dos indicadores de acurácia (EME, EMN, EP e RMS) e dos indicadores de precisão (1σ e 2σ) para cada receptor e suas comparações pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Médias dos indicadores da acurácia e precisão de cada receptor em ensaio estático.

Receptor	Indicadores de acurácia				Indicadores de precisão	
	EME	EMN	EP	RMS	1σ	2σ
	----- m -----					
1	5,665 a	2,821 a	6,381 a	6,505 a	1,168 a	2,337 a
2	5,945 a	2,715 a	6,556 a	6,755 a	1,194 a	2,388 a
3	5,848 a	2,897 a	6,563 a	6,726 a	1,180 a	2,361 a
4	5,697 a	2,005 a	6,040 a	6,248 a	1,167 a	2,335 a
Média	5,790	2,610	6,385	6,559	1,178	2,356
CV%	24,19	55,8	29,83	30,48	3,94	3,94
DMS	2,981	3,281	4,097	4,302	0,097	0,194

Médias seguidas por letras iguais (na vertical) não se diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 1%.
DMS = diferença mínima significativa entre médias.

Observa-se que não houve diferença estatística na precisão e acurácia entre os receptores de mesma especificação e marca. Ademais, a acurácia absoluta (RMS) média dos

quatro receptores (6,559 m) apresentou valor dentro da estabelecido pelo fabricante, entre 4 e 10 m.

Os valores de CV apresentados na Tabela 3 refletem a estabilidade de cada indicador ao longo das repetições de coletas de dados. Os valores de CV dos indicadores de precisão apresentaram-se mais baixos em relação aos demais, se mostrando bastante estáveis durante todo o experimento. Por outro lado, o oposto ocorreu com os indicadores de acurácia. Apesar de apresentarem semelhança estatística entre os diferentes receptores, estes exibiram CV mais elevados. A variação da acurácia entre as repetições é explicada pelas contínuas mudanças na configuração da constelação de satélites, ocasionando a variação da precisão (SILVA, 2007). Desta forma, ao se realizar repetições em diferentes horários, estes fatores também estão se alterando, implicando em uma maior variabilidade de dados.

A semelhança da precisão e da acurácia destes receptores comprova que eles apresentam desempenhos semelhantes e que os tratamentos propostos no ensaio cinemático caso apresentem alguma variação estariam recebendo interferência eletromagnética do motor.

Os resultados do ensaio cinemático são conferidos na Tabela 4, onde estão apresentados o desvio padrão da DP, a média da DP e os valores reais da DP dos receptores de cada tratamento, assim como o resultado do teste Tukey aplicado para verificar a semelhança destes indicadores nos distintos aparelhos.

Tabela 4. Valores do desvio padrão, média e da distância de posicionamento (DP) dos diferentes grupos de receptores, assim como sua distância real em ensaio cinemático.

Tratamentos	Desvio Padrão da DP	Média da DP	DP real
	----- m -----		
T1	0,456 a	1,064 c	1,000
T2	0,430 a	1,269 b	1,150
T3	0,517 a	3,217 a	3,150
DMS	0,148	0,138	

T1 = Receptores 1 e 2; T2 = Receptores 2 e 3; T3 = Receptores 2 e 4. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. A DP real representa os valores reais das distâncias entre os receptores, medidas com fita métrica no momento do ensaio. DMS = diferença mínima significativa entre médias.

Verifica-se que os valores da média da DP foram muito semelhantes aos valores reais da DP. Esta semelhança mostra que os receptores de todos os tratamentos foram acurados em estimar suas reais posições e conseqüentemente a distância real entre eles, comprovando que não houve efeito de tratamento sobre a acurácia de seus receptores.

O desvio padrão da DP indica a dispersão destes dados em relação sua média, sendo assim um indicador da precisão do grupo de aparelhos. Na Tabela 4, observamos que os

diferentes tratamentos apresentaram valores de desvio padrão da DP sem diferença estatística entre si. A semelhança deste indicador mostra que não houve efeito do tratamento sobre a precisão dos diferentes grupos de receptores.

Desta forma, verificou-se que as distâncias entre receptores nos diferentes tratamentos apresentaram precisão e acurácia estatisticamente iguais, atestando que o motor elétrico não provoca interferência no desempenho dos receptores instalados próximos a ele.

CONCLUSÕES

Os receptores avaliados apresentam acurácia e precisão estáveis entre si em ensaio estático e, de acordo com o arranjo e disposição de antenas empregadas no ensaio cinemático, a suposta energia eletromagnética emitida por motor elétrico não provoca interferências no desempenho de receptores GPS L1-C/A.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao técnico de manutenção Francisco de Oliveira do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Esalq-USP pelo apoio na montagem dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão: referências elaboração. Rio de Janeiro, 2004.

BERNARDI J., B. P. Aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) na coleta de dados. UNESP, 2002.

BOSSLER, J. D., MCMASTER, R. B., RIZOS C. Manual of Geospatial Science and Technology _ Servicing the GPS-GNSS User. CRC Press, 2010.

HILLEBRAND, F. L., FORNO, G. L. Dal. Análise do efeito corona gerado por redes elétricas de alta tensão sobre o posicionamento relativo com GNSS. Rev. Bras. Geom., v.3, n.1, p.32-41, 2015.

LEICK, A. GPS satellite surveying. Maine: John Wiley & Sons, p.352,1990.

MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P.; POVH, F. P; SALVI, J. V. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. Engenharia Agrícola, v.30, n.1, 2010.

SILVA, T.M.L.S. Análise de erros em receptores de GNSS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

TREVISAN, R. G.; EITELWEIN, M. T.; VILANOVA Jr., N. S.; SALVI, J. V.;
PASSALAQUA, B. P.; MOLIN, J. P. Avaliação da precisão dos sinais RTK e RTX em ensaio
estático e cinemático. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP. São Pedro,
São Paulo, 2014