

ERRO TRANSVERSAL DE PERCURSO EM ENSAIO CINEMÁTICO DE RECEPTORES GNSSG. S. Pereira^{1,*}, H. C. Bazame¹, L. P. de Magalhães¹, M. F. Westphalen¹, J. P. Molin²¹ *Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Esalq-USP, Av. Pádua Dias 11, 13418-900, Piracicaba, SP*² *Docente do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Esalq-USP, Av. Pádua Dias 11, 13418-900, Piracicaba, SP** *Autor correspondente, e-mail: gislainepereira@usp.br*

Resumo: A utilização de Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) expandiu-se na agricultura aliada à necessidade de maior acurácia para execução de atividades agrícolas. O objetivo deste trabalho foi comparar o erro transversal de quatro receptores código C/A e dois receptores frequência L1 com código P, utilizando como referência um GNSS com sistema de correção Real Time Kinematic (RTK) sob condição cinemática. Para o ensaio, o utilitário percorreu quatro trechos retilíneos com extensão de 140 m cada. O erro transversal foi obtido por meio do desvio perpendicular entre os pontos coletados em cada tratamento e o receptor RTK. Para realizar a avaliação de desempenho dos receptores foram estimados o erro médio, erro 50% (mediana), a frequência acumulada do erro transversal, a raiz quadrada média do erro (RMS), o desvio padrão 2σ e o coeficiente de variação. O desempenho dos receptores de frequência L1 não apresentaram similaridade com os receptores todos código C/A, proporcionando comportamento diferente em termos de erros transversal.

Palavras-chave: agricultura de precisão, erro de percurso, RTK.

PATH ERROR IN KINEMATIC TESTING OF GNSS RECEIVERS

Abstract: The use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) has expanded in agriculture allied to the need for greater precision to perform agricultural activities. The objective of this work was to compare a transverse error of four C / A code receivers and two P-code L1 frequency receivers, using as reference a GNSS with Real-time Kinematic Correction System (RTK) under kinematic condition. For the test, the utility ran four rectilinear trails with a length of 140 m each. The transverse error was verified by the perpendicular deviation between the points collected in each treatment and in the RTK receiver. To perform an estimated receiver performance or mean error, error 50% (median), mean transverse error frequency, root mean square error (RMS), standard deviation 2σ and the coefficient of variation. The performance of L1 frequency receivers did not show similarity with all C / A code receivers, resulting in different behavior in terms of transverse errors.

Keywords: precision agriculture, error of route, RTK.

1. Introdução

O termo Agricultura de Precisão (AP) surgiu há mais de 25 anos (MOLIN, 2017) impulsionando o desenvolvimento de diversas tecnologias que facilitaram a adoção dessa prática de manejo da produção agrícola. O sensoriamento remoto (SR), o sistema de informação geográfica (SIG) e os sistemas de navegação global por satélites (GNSS) são tecnologias centradas no conceito da prática de AP (DALLMEYER & SCHLOSSER, 1999).

A utilização do sistema GNSS possibilita investigar e realizar tratamentos diferenciados em áreas distintas através da marcação e localização de pontos em regiões específicas de uma área (STABILE & BALASTREIRE, 2006). Além disso, fornece coordenadas para operações ou

atividades que exigem algum tipo de orientação (ANTUNIASSI et al., 2007). Para a adoção dessa prática, o sistema de navegação utilizado precisa produzir dados que sejam confiáveis e consistentes (BALASTREIRE, 2001). Junto ao avanço dessas ferramentas encontram-se algumas problemáticas relacionadas ao desempenho destes equipamentos, como os erros que atuam no sistema de posicionamento, sendo alguns deles: o erro dos relógios, tanto dos satélites como dos receptores, o erro transversal, a refração pela interferência da ionosfera ou da troposfera, a reflexão de sinal, os pequenos desvios da órbita dos satélites, entre outros (MOLIN et al., 2015). Os erros de posicionamento podem ser mensurados estática ou cinematicamente comparando a posição adquirida pelo receptor sob avaliação e as coordenadas reais do seu posicionamento, bastando para isso a referência deste posicionamento.

O desempenho de receptores de GNSS tem sido avaliado em ensaios tanto estáticos quanto cinemáticos, com o objetivo de oferecer informações confiáveis aos usuários destes equipamentos para a correta seleção entre as soluções disponíveis no mercado (STABILE & BALASTREIRE, 2006, SANTOS et al., 2016, MOLIN & CARRERA, 2006, MACHADO & MOLIN, 2011). Partindo deste pressuposto, o objetivo deste trabalho foi comparar o erro transversal de quatro receptores código C/A e dois receptores frequência L1 com código P utilizando como referência um GNSS com sistema de correção *Real Time Kinematic* (RTK) sob condição cinemática.

2. Materiais e Métodos

O ensaio foi realizado sob condição cinemática em uma área de gramado localizada no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, em Piracicaba, SP. O centro da área é localizado a 22°42’48” de latitude sul, 47°37’42” de longitude oeste e 536 m de altitude, Datum WGS-84 (Figura 1). O utilitário Gator (Deere & Company, Illinois, USA) foi escolhido como meio de condução dos receptores para a realização do ensaio, com velocidade média de 1,39 m s⁻¹ (5 km h⁻¹), buscando simular a velocidade utilizada em atividades agrícolas, como semeadura e preparo do solo.

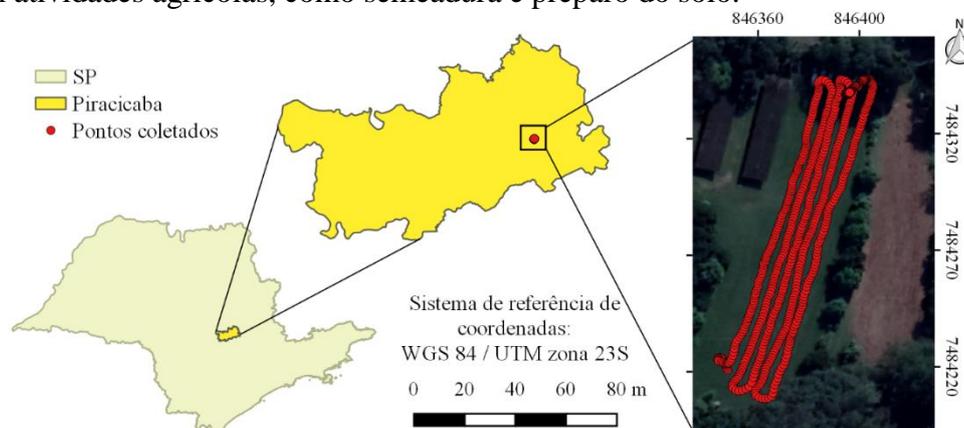


Figura 1. Trajeto percorrido na avaliação do erro de percurso de receptores GNSS em relação ao estado de São Paulo, Brasil.

No ensaio foram utilizados seis receptores GNSS, sendo quatro receptores de navegação (código C/A) e dois receptores GPS L1 associados ao dispositivo guia denominado de barra de luzes, conforme descrito na Tabela 1. A frequência de coleta dos dados pelos receptores foi de 1 Hz. Como referência foi utilizado o receptor RTK R-3 Topcon (GR3 Topcon®). O receptor RTK possui 72 canais universais, prontos para rastrear os sinais L1, L2 e L2C dos satélites GPS, além da constelação Glonass, opcionalmente, o sinal L5 e o sistema Galileo. Para o uso do receptor RTK, considerou-se a metodologia descrita por Molin & Carreira (2006). Foi firmado um marco geodésico, denominado estação base, a partir do estacionamento do receptor GNSS de frequência L1/L2 equipado com um transmissor de rádio VHF conectado ao receptor móvel instalado no veículo. A base fixa tem a função de gerar e transmitir dados de correção em tempo real para o

receptor móvel. Um conjunto RTK instalado nessas condições permite uma acurácia na ordem de 2 cm (MOLIN & CARREIRA, 2006).

Tabela 1. Descrição dos receptores GNSS utilizados para ensaio cinemático.

Receptor	Descrição	Tipo
1	Garmin GPSmap 62S	C/A
2	Garmin GPSmap 62S com o sinal WAAS ativado	C/A
3	eTrex 30X com sinal GPS e Glonass	C/A
4	Smartphone com sistema operacional Android, modelo ASUS ZenFone Zoom com aplicativo Campeiro 7 instalado	C/A
5	Receptor embutido em barra de luzes Trimble Beacon	L1
6	Receptor embutido em barra de luzes Trimble Hurricane	L1

Antes de iniciar o ensaio, os receptores GNSS foram ligados, e assim permaneceram durante 30 minutos. O utilitário percorreu o percurso de quatro passadas de 140 m em linha reta, totalizando 700 m. Os dados das regiões de manobras de cabeceira foram removidos, por não representarem área útil. O percurso foi repetido seis vezes com intervalo entre coletas de 30 minutos. O datum configurado em todos os receptores foi o WGS-84. Os dados foram coletados em coordenadas geográficas (latitude e longitude) e convertidos para coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator).

A obtenção do erro transversal foi realizada por meio da distância perpendicular entre os pontos coletados em cada tratamento e o receptor RTK. Os dados foram tabulados no software Microsoft Excel®, e uma rotina de programação foi implementada em linguagem *Python*, com o auxílio das bibliotecas *fiona*, *UTM* e *pandas*. O cálculo dos erros se baseou na diferença entre as coordenadas de cada ponto coletado em campo pelos receptores testados com sua respectiva referência (receptor RTK). Os indicadores de desempenho erro médio, mediana (erro 50%), frequência acumulada, raiz quadrada do erro médio (RMS), desvio padrão 2σ (95% de probabilidade) e coeficiente de variação foram estimados para todos os tratamentos. O desvio padrão 2σ foi submetido a análise de variância, e em caso de diferença significativa efetuou-se o teste Tukey ($p < 0,05$) utilizando o *software R*.

3. Resultados e Discussão

A frequência acumulada do erro transversal dos receptores GNSS em condição cinemática é apresentada na Figura 2. Nota-se uma clara distinção na frequência de erros entre os receptores código C/A e GPS L1. Houve a separação dos receptores de acordo com seus respectivos grupos, exceto pelo receptor 3, que apresentou frequência de erros semelhante aos receptores 5 e 6. Os receptores frequência L1 (5 e 6) alcançaram em 95% das vezes erros 2σ de 2,58 m e 2,31 m, respectivamente. Os receptores código C/A obtiveram 95% dos erros entre 2,00 e 6,90 m.

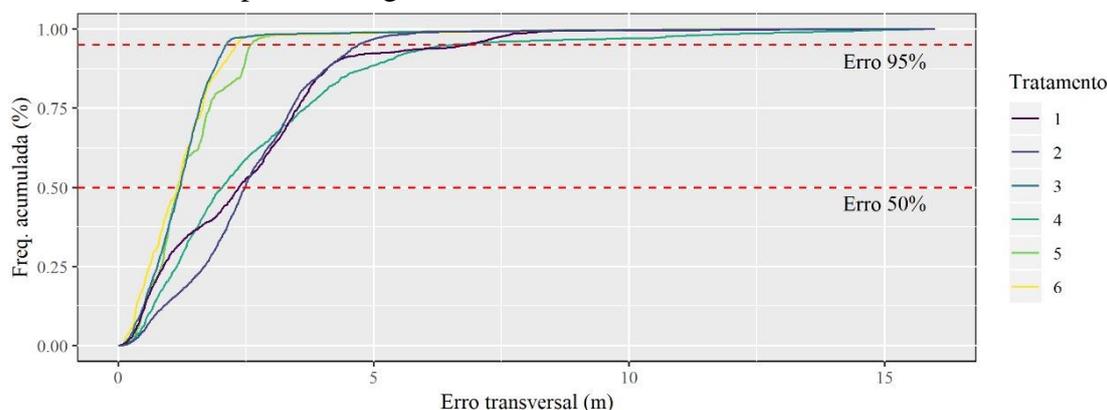


Figura 2. Frequência acumulada (%) do erro transversal dos receptores GNSS avaliados.

Os indicadores de desempenho erro 2σ , erro médio, mediana, RMS e coeficiente de variação são apresentados na Tabela 2. Os receptores 3, 5 e 6 obtiveram erro médio menor que 1,50 m, já os receptores 1, 2 e 4 atingiram erro médio acima de 2,50 m. As diferenças entre os erros médios dos receptores em comparação ao referencial, podem ser atribuídas à característica de cada receptor ou às condições atmosféricas no momento da coleta dos dados, que podem ter influenciado na redução da velocidade de comunicação entre os satélites e os receptores (SANTOS et al., 2016). Em relação a mediana, observa-se que os receptores código C/A obtiveram erro 50% das vezes maior que 2,00 m, o que não foi evidenciado para os GPS L1 com menores medianas.

Os valores observados de erro médio, apresentaram diferença estatística entre o receptor 4, os receptores 3, 5 e 6; e os receptores 1 e 2. As diferenças significativas entre os erros transversais em comparação ao referencial, podem ser atribuídas aos erros sistemáticos que degradam a confiabilidade e a acurácia do posicionamento realizado com o GPS, por isso foram realizadas repetições buscando minimizar os erros causados por reflexões do sinal em superfícies próximas ao receptor, tais como construções, carros, árvores e os efeitos secundários causados por reflexões do próprio satélite e durante a propagação do sinal (HOFMANWELLENHOF et al., 1997; ALVES et al., 2004).

Tabela 2. Indicadores de desempenho dos receptores GNSS ensaiados sob condição cinemática.

Receptor	Erro médio (m)	Mediana (m)	Erro 2σ (m)	RMS (m)	CV(%)
1	2,52B	2,36	6,82	3,16	76,02
2	2,58B	2,47	4,69	2,95	55,45
3	1,27A	1,20	2,10	1,64	81,10
4	2,72C	2,03	6,53	3,64	89,22
5	1,40A	1,16	2,58	1,74	73,54
6	1,25A	1,17	2,31	1,68	90,61

*Médias do erro médio seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Os receptores frequência L1 apresentaram RMS maior que 1,60 m, O RMS para os receptores código C/A esteve entre 1,60 m e 3,64 m. Stombaugh et al. (2005), ao avaliarem o erro RMS em receptores de código C/A encontraram valores entre 1,6 m e 5,8 m durante simulação de práticas agrícolas e de 0,85 m e 3,00 m para trajetos retilíneos. Estes valores de erro RMS durante a simulação de práticas agrícolas se aproximam dos valores encontrados no presente estudo. O coeficiente de variação dos dados coletados de todos os receptores esteve acima de 30%, indicando uma alta variação nos dados.

Para atividades agrícolas específicas, como semeadura de grãos e a colheita, que requerem acurácia da ordem de 0,30 m, bem como o controle de tráfego (acurácia de 0,02-0,04 m) nenhum dos receptores GNSS avaliados seriam indicados. Pois, o erro de paralelismo interfere no caminho planejado para as máquinas efetuarem operações a campo, aumentando a sobreposição entre passagens do conjunto mecânico (SANTOS et al., 2017). O aumento da produtividade e lucros podem ser alcançados reduzindo os erros de paralelismo, pois conseqüentemente diminui as perdas de alinhamento adequando a semeadura e a colheita de culturas agrícolas (ORTIZ et al., 2013). Por outro lado, o erro transversal obtido é a representação do erro de posicionamento em uma direção e não deve ser muito diferente de outras, portanto indica a magnitude de erro em uma navegação, por exemplo. Isso implica em se considerar que em navegações que visam amostragens georreferenciadas essas são as magnitudes de erros esperados por esses receptores.

4. Conclusões

Os receptores código C/A e receptores frequência L1 com código P utilizados para atividades em condição cinemática apresentaram diferença entre si, proporcionando comportamento diferente em termos de erros transversal.

Referências

- ALVES, D.; MONICO, J. F. G.; MENEGUETTE JR, M. Atenuação de erros sistemáticos no posicionamento relativo GPS utilizando dados de receptores de simples frequência. **Anais ...** In: Série em Ciências Geodésicas - Cartografia. Instrumento de Renovação Política e Inovação Tecnológica, Curitiba: Imprensa Universitária, 2004, v. 4, p. 16-30.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R.; SHARP, T. C. Agricultura de Precisão. **Anais...** In: congresso brasileiro do algodão. Uberlândia. Uberlândia: CNPA, 2007, p. 11-21.
- BALASTREIRE, L.A. Avaliação do desempenho de um sistema de georreferenciamento portátil de baixo custo para Agricultura de Precisão. **Anais...** In: Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001, Piracicaba: Balastreire, L.A. ,2001, p.282-4.
- DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. Mecanización para La agricultura de precisión. In: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. Agricultura de precisión – Introducción al manejo sitio-específico. Chillán – Chile, cap. 3, p. 75-104, 1999.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. GPS Theory and Practice. 4 ed. Wien: Springer-Verlag, 1997, 326p.
- MACHADO, T.M.; MOLIN, J.P.; Ensaios estáticos e cinemáticos de receptores de GPS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 981-988. 2011,
- MARTINS, R. N.; AURELIANO NETO, A. F.; ZANELLA, M. A.; VIANA, L. A.; SOUZA, M A. R.; QUEIROZ, D. M. Análise da precisão de diferentes receptores GNSS para coleta de dados. **Anais...**In: XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, Universidade do Vale do Paraíba, 2017.
- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro. Boletim Técnico 03, Piracicaba: Laboratório de Agricultura de Precisão, 7p, 2017, Disponível em: <<http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/boletim-tecnico-03.pdf>>. Acesso em: 31 mar, 2019.
- MOLIN, J.P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- MOLIN, J. P; CARREIRA, P. T. Metodologia para ensaios cinemáticos de receptores de GNSS utilizando um GPS RTK como referência. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 8, p. 53-62, 2006.
- ORTIZ, B. V.; BALKCOM, K. B.; DUZY, L.; SANTEN, E. VAN; HARTZOG, D. L. Evaluation of agronomic and economic benefits of using RTK-GPS-based auto-steer guidance systems for peanut digging operations. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 357-375, 2013.
- SANTOS, R.S.; BRAGA, J. O. F.; RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P. Utilização de receptor de sinal de gps de navegação como ferramenta de apoio à atividade agropecuária. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 97-101, janeiro-março, 2016.
- SANTOS, A. F.; SILVA, R. P.; TAVARES, T.O.; ORMOND, A. T. S.; ROSALEN, D. A.; ASSIS, L. C. Parallelism error in peanut sowing operation with auto-steer guidance. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n.10, 731-736, 2017.
- STABILE, M. C. C.; BALASTREIRE, L.A. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 215-223, 2006
- STOMBAUGH, T.; COLE, J.; SHEARER, S.; KOOSTRA, B. A Test facility for evaluating dynamic GPS accuracy. **Abstracts...** In: European Conference on Precision Agriculture. 6, 2005, Berlin, St, Joseph: Wageningen Academic Publishers, p. 605-612, 2005.