

## **Avaliação da precisão dos sinais RTK e RTK em rede em ensaios estático e cinemático**

### **Evaluation of the precision of RTK and networked RTK signals in static and kinematic tests**

*Bruna Pessoa Passalacqua<sup>1</sup>, Leonardo Felipe Maldaner<sup>1</sup>, Tatiana Canata<sup>1</sup>, José Paulo Molin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil, bpassalacqua@usp.br, leonardofm@usp.br, tatiana.canata@usp.br

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil, jpmolin@usp.br

#### **RESUMO**

Com o crescente emprego de sistemas de direcionamento automático em máquinas agrícolas, o uso dos sistemas de navegação global por satélites (GNSS) tem sido difundido na indústria e na agricultura. Como alternativa para a utilização de sinal de RTK, apresenta-se no mercado o conceito de estações de referência virtual (VRS) que podem ser conectadas com os receptores via rádio (UHF) ou por meio de internet (3G). Diante destas alternativas, o objetivo deste trabalho é avaliar os sinais RTK e RTK em rede, utilizando VRS, em relação aos aspectos de precisão em ensaios estático e cinemático sob as mesmas condições em campo. Para as avaliações em condições estáticas, as antenas foram fixadas em marcos de referência, enquanto que para as avaliações cinemáticas, fez-se uso de um trilho circular, no qual as antenas eram deslocadas com o auxílio de um veículo elétrico. A precisão observada no ensaio estático foi de 0,0055 m para o RTK, 0,026 m para o RTK em rede via rádio e 0,034 m para o RTK em rede via internet. Enquanto que no ensaio cinemático a precisão observada foi de 0,01 m para o RTK, 0,049 m para o RTK em rede via rádio e de 0,022 m para o RTK em rede via internet.

**PALAVRAS-CHAVE:** GNSS, VRS, Correção diferencial.

#### **ABSTRACT**

With the increasing use of automated guidance systems in agricultural machinery, the use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) is increasingly spreading in industry and agriculture. As an alternative to the use of RTK signal is presented on the market the

concept of virtual reference stations (VRS) that can be connected to receptors via radio (UHF) or by internet (3G). Given these alternatives, the objective of this work is evaluating the RTK and RTK signals into network, using VRS, in regard to precision aspects in static and kinematic tests under the same conditions in the field. For evaluations under static conditions, the antennas were fixed in benchmarks, while for kinematic evaluation was used a circular rail, in which the antennas were displaced with the aid of an electric vehicle. The accuracy observed in the static test was 0.0055 m for RTK, 0.026 m for network RTK via radio and 0.034 m for network RTK by internet. While in the kinematic test the observed precision was 0.01 m for RTK, 0.049 m for network RTK via radio and 0.022 m for network RTK by internet.

**KEYWORDS:** GNSS, VRS, Differential correction.

## INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) é desenvolvido como método de localização que, atualmente, representa uma ferramenta com inúmeras contribuições na indústria e na agricultura, como no emprego de sistemas de direção automática em máquinas agrícolas e nas aplicações de insumos em taxas variáveis.

O GPS (*Global Positioning System*) tem sido o mais utilizado em razão de sua disponibilidade, sendo empregado em atividades que demandam posicionamento com diferentes níveis de acurácia associada aos parâmetros georreferenciados (MACHADO e MOLIN, 2011).

O termo precisão relaciona-se com a variação do valor, medido repetidamente sob as mesmas condições experimentais, em torno do valor médio observado (dispersão dos pontos). Enquanto que, o termo acurácia refere-se à exatidão da medida, ou seja, a distância entre a coordenada conhecida e a indicada pelo receptor (CAPPELLI et al., 2006). De acordo com o mesmo autor, há uma significativa diferença entre o custo, acurácia e precisão entre os receptores GNSS. Existem alguns tipos de sinais de correção diferencial que atuam no sentido de incrementar a precisão do posicionamento.

O sistema RTK (*Real Time Kinematic*) é um tipo de correção diferencial que apresenta precisão de 2,5 cm com repetibilidade da posição obtida através de um par de receptores. A base permanece estacionada sobre um ponto de coordenadas conhecidas e o erro entre a posição fornecida pelos satélites e a posição real é calculado. Este erro é usado para obtenção do sinal de correção que é enviado pela conexão de rádio para outro receptor (*rover*) que está na máquina e, assim, corrige instantaneamente a posição deste.

A utilização das estações de referência virtual (VRS) é uma alternativa de correção diferencial através de uma rede de estações que enviam dados de GNSS a um servidor central para correção do erro de forma regionalizada. A principal vantagem deste sistema é que não exige antenas instaladas na área agrícola para realizar a comunicação via rádio com o receptor.

O conceito de rede de estações de referência para o GNSS foi desenvolvido devido à necessidade de uma melhor disponibilidade, acurácia e confiabilidade no posicionamento e navegação (ALVES et al., 2003). Segundo Alves (2007) a distância entre o usuário e a estação de referência é um fator importante para correção diferencial, pois quando se utiliza um único receptor de referência a distância entre o receptor móvel e o de referência é muito limitada. Assim, o usuário tem a possibilidade de utilizar a VRS como se esta fosse uma estação real existente em suas proximidades e capaz de realizar o posicionamento relativo com um receptor de simples frequência.

Diante destas alternativas de correção diferencial, o principal objetivo deste trabalho é a avaliação entre os sinais RTK e RTK em rede, utilizando VRS, em relação aos aspectos de precisão em ensaios estático e cinemático sob as mesmas condições em campo.

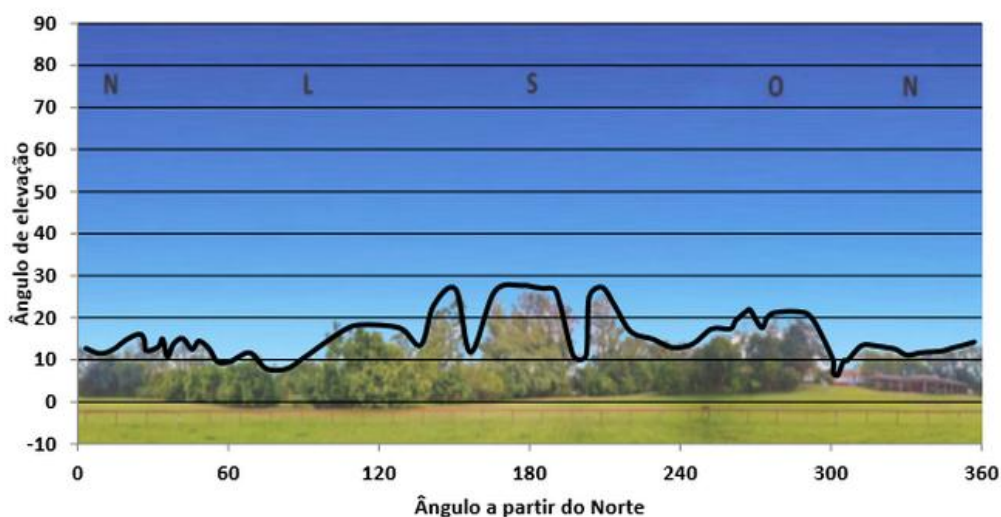
## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Agricultura de Precisão do Departamento de Engenharia de Biosistemas (ESALQ – USP), na cidade de Piracicaba, SP. Embora o local do experimento não seja completamente livre de obstáculos, foi considerado como adequado à realização dos testes uma vez que simula condições reais de campo, especialmente das bordas de talhões agrícolas, que frequentemente apresentam presença de árvores.

No estudo de Trevisan et al. (2014) foi realizado o levantamento do perfil de sombreamento na área em que os ensaios foram desenvolvidos, conforme apresentado na Figura 1, em nenhuma direção o sombreamento provocado pelos obstáculos ultrapassou 30°.

Durante as avaliações foram monitoradas a disponibilidade de satélites e condições eletromagnéticas da atmosfera que causam cintilação, não havendo relato de ocorrência significativa que prejudicasse a qualidade da avaliação.

FIGURA 1. Perfil de sombreamento na área dos ensaios com ponto inicial no norte verdadeiro.



Fonte: Trevisan et al. (2014)

Os modos de avaliação dos sinais nos ensaios foram denominados como: I) RTK com correção diferencial pela base fixada em campo, II) RTK com correção diferencial pela rede de estações via rádio e III) RTK com correção diferencial por meio das redes de estações via internet. A descrição dos equipamentos utilizados e respectiva precisão informada pelos fabricantes são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Sinais de correção diferencial avaliados e descrição dos equipamentos.

Receptores	Fabricantes	GNSS	Fontes de correção diferencial	Precisão segundo o fabricante (m)*
GR-3	Topcon	GPS e Glonass	I	0,038
StarFire 3040	Navcom	GPS e Glonass	II e III	0,05
SP80	Spectra Precision	GPS e Glonass	III	0,02

\*Precisão fornecida em 95% das observações

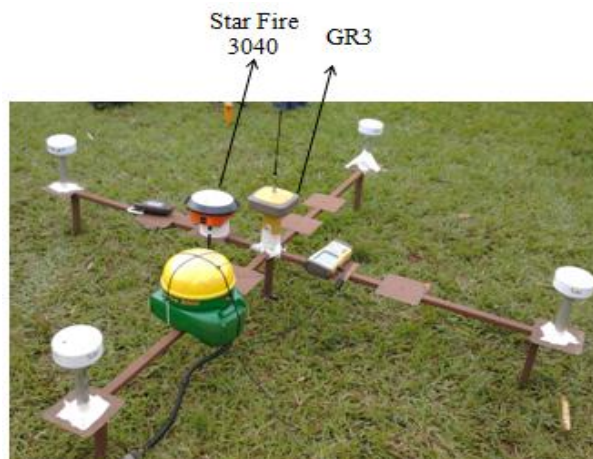
Para a correção diferencial via rádio dos dados adquiridos pelo receptor StarFire 3040 foi utilizada uma repetidora (RTK Bridge-C), conforme apresentado na Figura 2, que recebe a correção RTK em rede através da conexão GSM. Já, a utilização da correção diferencial via internet foi realizada por meio de um chip de celular 3G para a transmissão dos dados. Neste caso, a estação de referência virtual mais próxima da área experimental está localizada a 60 km de distância, na cidade de Limeira/SP.

FIGURA 2. Utilização da repetidora (RTK Bridge-C) nos ensaios estático e cinemático



As repetições nos ensaios estático e cinemático foram realizadas com uma hora de coleta e uma hora de intervalo para permitir mudança de constelação dos satélites, com os receptores configurados na frequência de 1 Hz. Para o ensaio estático os receptores StarFire e GR-3 permaneceram distanciados de 40 cm (Figura 3), porém neste ensaio não foi possível avaliar o receptor SP80 por indisponibilidade do equipamento e, portanto, para avaliar o sinal III foi utilizado, posteriormente, o receptor StarFire 3040.

FIGURA 3. Ensaio estático para comparação os sinais de correção diferencial



O ensaio cinemático (Figura 4) foi realizado através do deslocamento radial (pivô) das antenas, como descrito por Machado et al. (2010) e Trevisan et al. (2014). Para o estudo foi montado um trilho circular com um raio externo de 9,55 m e deslocando-se sobre este um

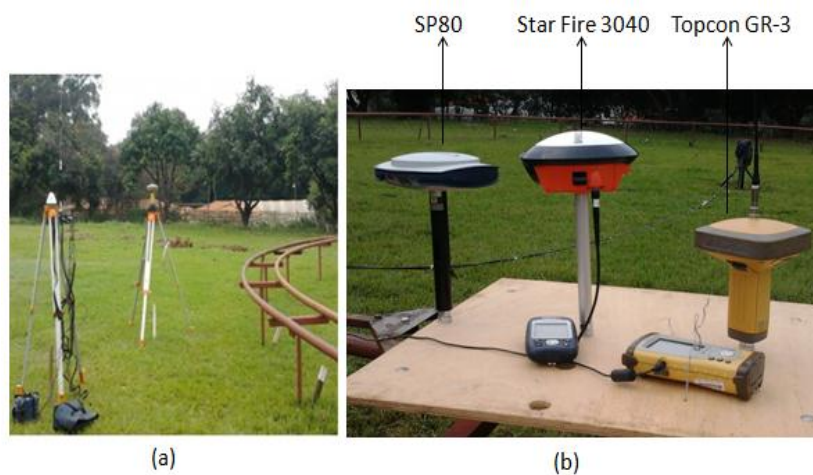
veículo alimentado por energia elétrica com velocidade de deslocamento mantida constante em 1 m s<sup>-1</sup> para todas as repetições.

FIGURA 4. Ensaio cinemático com veículo alimentado por energia elétrica



Na Figura 5 está apresentada a instalação da base e da repetidora utilizadas nos ensaios, além dos receptores alocados na estrutura para percorrer o trilho.

FIGURA 5. (a) Instalação da base e da repetidora; (b) receptores instalados no trilho



A descrição das repetições e horários das avaliações dos ensaios está apresentada na Tabela 2.

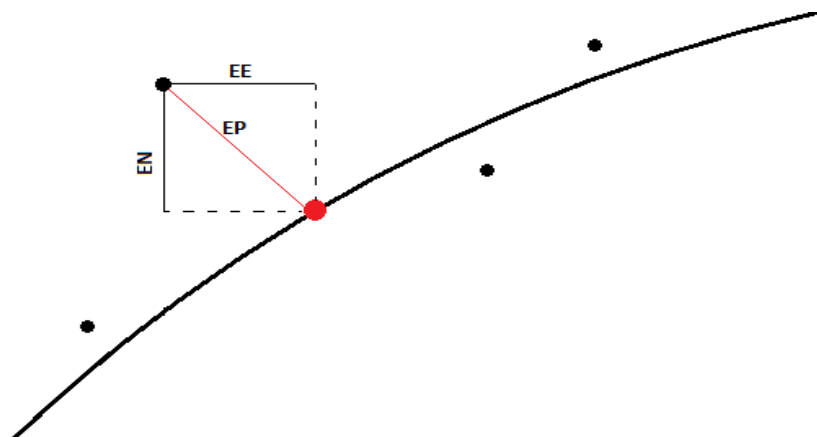
TABELA 2. Descrição dos dias e horários das avaliações.

Repetições	Datas	Horários	
		Início	Fim
Ensaio Cinemático			
1	15/05/2015	09:40	10:40
2	15/05/2015	11:40	12:40
3	15/05/2015	13:40	14:40
4	15/05/2015	15:40	16:40
Ensaio Estático			
1	10/06/2015	11:00	12:00
2	10/06/2015	13:00	14:00
3	10/06/2015	15:00	16:00
4	10/06/2015	17:00	18:00
5	11/06/2015	12:30	13:30
6	11/06/2015	14:30	15:30
7	11/06/2015	16:30	17:30

Para cada antena foi estabelecido um modelo de referência para o cálculo dos desvios em relação ao trajeto correto. O modelo foi determinado em função da menor soma de quadrados dos desvios entre a referência e os pontos coletados.

Os erros de posicionamento foram calculados construindo um novo arquivo de dados contendo um ponto de referência para cada dado coletado. O ponto está localizado sobre a linha de referência da circunferência, na posição mais próxima do ponto em análise. A distância ortogonal entre eles foi considerada como erro de paralelismo, conforme ilustrado na Figura 6. Adotou-se o erro de paralelismo considerando-se este o mais importante para avaliar o desempenho de posicionamento em operações agrícolas (TAYLOR et al., 2004).

FIGURA 6. Esquema ilustrativo do cálculo do erro na coordenada norte (EN), erro na coordenada leste (EE) e do erro de paralelismo (EP)



De acordo com a metodologia proposta por Machado et al. (2010), calculou-se o erro circular provável (CEP) que indica o limite que contém 50% de todos os erros na distribuição circular (Equação 1), e o erro médio de paralelismo (EMP), que representa o desvio médio dos pontos em relação ao modelo de referência (Equação 2).

$$CEP = 1,18 \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} \quad (1)$$

Onde:

CEP – desvio circular provável;

$\sigma_E$  – desvio padrão da coordenada E (m);

$\sigma_N$  – desvio padrão da coordenada N (m).

$$EMP = \sqrt{EM_E^2 + EM_N^2} \quad (2)$$

Onde:

EMP – erro médio de posicionamento;

$EM_E$  – erro médio leste-oeste (m);

$EM_N$  – erro médio norte-sul (m);

As análises foram realizadas no *software* R, versão 3.1.0 (R Development Core Team, 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os erros de posicionamento e os desvios padrões dos erros foram semelhantes nas coordenadas leste-oeste e norte-sul para os sinais com correção diferencial RTK via rádio com estação fixa próxima (I) e VRS via GPRS (III) no ensaio cinemático (Tabela 3), enquanto que para correção diferencial VRS via rádio (II) os erros foram numericamente maiores.

TABELA 3. Desempenho dos receptores nos ensaios.

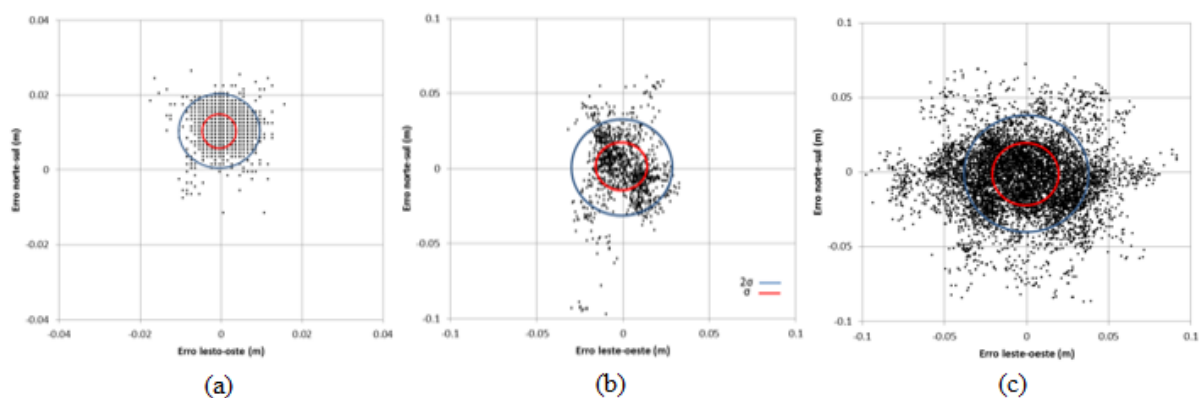
Ensaio	Sinais RTK	E	N	$\sigma_E$	$\sigma_N$	$2\sigma$	CEP	EMP	RMSE
		-----m-----							
Estático	I	0,0013	0,0113	0,0029	0,0029	0,0055	0,0049	0,0114	0,0086
	II	0,0135	0,1230	0,0123	0,0207	0,0267	0,0284	0,1237	0,0170
	III	0,0110	0,0270	0,0285	0,0214	0,0342	0,0422	0,0291	0,0255
Cinemático	I	0,0024	0,0025	0,0035	0,0036	0,0100	0,0059	0,0035	0,0035
	II	0,0222	0,0028	0,0155	0,0189	0,0490	0,0289	0,0223	0,0004
	III	0,0185	0,0254	0,0067	0,0089	0,0222	0,0111	0,0314	0,0078

E: Erro médio na coordenada leste-oeste; N: Erro médio na coordenada norte-sul;  $\sigma_E$ : Desvio padrão do erro leste-oeste;  $\sigma_N$ : Desvio padrão do erro norte-sul;  $2\sigma$ : duas vezes o desvio padrão do erro de paralelismo; CEP: erro circular provável; EMP: Erro médio de paralelismo; RMSE: Raiz quadrada do erro quadrático médio.

O fato de o erro ser maior para o VRS via rádio (II) pode ser explicado pela sua correção diferencial que, neste caso foi por VRS via rádio (UHF) e suspeita-se de atraso na recepção do sinal de correção.

Na Figura 7 é apresentada a dispersão dos erros no ensaio estático para os sinais avaliados. Observa-se que houve uma maior dispersão no receptor que recebeu correção diferencial por VRS via rádio (UHF), enquanto que, para o tipo de correção diferencial I houve melhor desempenho.

FIGURA 7. Dispersão dos erros no ensaio estático dos sinais RTK: (a) I; (b) II; (c) III

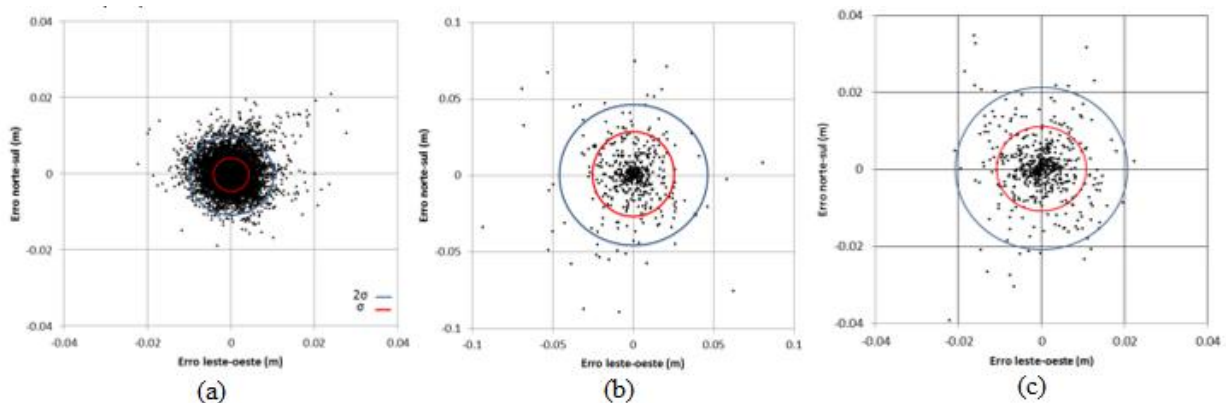




Em relação ao erro médio de paralelismo (EMP) verificou-se que o menor erro ocorreu no ensaio cinemático para o sinal com correção diferencial RTK via rádio com estação próxima (0,0035 m).

A dispersão dos erros durante o ensaio cinemático pode ser verificada na Figura 8. Neste caso, a maior precisão foi verificada para o tipo de correção diferencial RTK via rádio com estação fixa próxima ao local de ensaio (I). Comparando a dispersão dos erros entre os sinais de correção diferencial pela VRS, o melhor desempenho foi observado na correção via GPRS (III).

FIGURA 8. Dispersão dos erros no ensaio cinemático dos sinais RTK: (a) I; (b) II; (c) III



De acordo com os resultados obtidos durante os ensaios estático e cinemático evidencia-se que o melhor desempenho ocorreu para o sinal RTK com estação fixa próxima (I), pois apresentou erro ( $2\sigma$ ) de 0,0055 m para o ensaio estático e de 0,01 m no ensaio cinemático. Os demais receptores apresentaram precisão condizente com a indicada pelos fabricantes.

Neste contexto, é necessário que os usuários de GNSS determinem a escolha do tipo de correção em suas operações agrícolas de acordo com a precisão desejada e com a disponibilidade de recursos para investir nestas tecnologias.

## CONCLUSÕES

A precisão de posicionamento do receptor com correção diferencial RTK, tendo uma base com coordenada geográfica conhecida, obteve desempenho semelhante ao verificado pelo receptor que recebeu a correção diferencial pela VRS via internet. O maior erro de posicionamento ocorreu para o receptor com o mesmo tipo de correção, mas com a transmissão de dados via rádio pela repetidora instalada em campo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas e a empresa Alezi Teodolini pelo empréstimo dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS

ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G.; The Effects of Network Geometry on Network RTK Using Simulated GPS Data. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. **Proceedings...** 2003.

ALVES, D. B. M.; **Posicionamento RTK no Contexto de Redes GNSS Ativas Utilizando o Conceito de Estação Virtual**. 2007. 165 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, SP, 2007.

CAPPELLLI, N. L.; et al.; Desempenho comparativo entre receptores GPS. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 8, n. 1, p. 63-77, 2006.

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.

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.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2014.

TAYLOR, R. K. et al. Dynamic testing of GPS receivers. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.47, n.4, p. 1017-1028, 2004.

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** In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão 2014, 2014, São Pedro.