

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação de desempenho de receptores de GPS em modo
estático e cinemático**

Thiago Martins Machado

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas**

**Piracicaba
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Thiago Martins Machado
Engenheiro Agrícola

Avaliação de desempenho de receptores de GPS em modo estático e cinemático

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ PAULO MOLIN**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas**

**Piracicaba
2008**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Machado, Thiago Martins

Avaliação de desempenho de receptores de GPS em modo estático e cinemático /
Thiago Martins Machado. - - Piracicaba, 2008.
115 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Agricultura de precisão 2. Sistema de posicionamento global I. Título

CDD 526.0285
M149a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A Deus, por me dar forças, em momentos difíceis, ajudando a vencer os obstáculos.

OFEREÇO

Aos meus pais Fábio de Pádua Machado e Janeti Martins Machado
à minha irmã Larissa Martins Machado pela força, incentivo e compreensão.

DEDICO

“A persistência é o caminho do êxito” Chaplin

AGRADECIMENTOS

À **Karina Rubia** pelo incentivo, carinho e companhia nos momentos mais difíceis da execução deste trabalho.

À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, da Universidade de São Paulo, por meio do Programa de Pós-Graduação em Máquinas Agrícolas, pela oportunidade do aprendizado e realização do mestrado.

Ao professor **José Paulo Molin**, pela orientação, paciência, aprendizado, disciplina, dinamismo e as diversas oportunidades oferecidas durante o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**) por conceder a bolsa de estudos.

Aos amigos que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, **Fabício Pinheiro Povh (gabirú)**, **José Vitor Salvi (zé bigorna)**, **Cassiano (jatobá)**, **Daniel (mutuca)**; **Tiago Carletti (porca)**.

Aos funcionários do setor de Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/ USP, **Áureo (leitão)**, **Francisco (Chicão)**, **Juarez e Afonso**, pela amizade paciência e ajuda técnica no desenvolvimento do experimento.

Aos colegas da pós-graduação: **Flávia (general)**, **Rubén (peruano)**, **Faulin (oreia de bater bolo)**, **Marco (guarda)**, **Marcos (vara)**, **Étore (tóia)**, **Marcelo (rascunho)**, **Geraldo (cebim)**, **Artur (kuringa)**, **Fernando (lodo)**, **Paulo (peloia)**, **Vanderson (pomberson)**, **Felipe (kurupira)** e aos estagiários e ex-estagiários do Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão (gMAP).

À Dona Lourdes, Fernanda, Davilmar, José Geraldo e Dona Vera pelos serviços prestados.

Aos funcionários Denise, André, Ivan e Kleber da empresa Enalta pelo desenvolvimento do coletor de dados.

A UNESP de Presidente Prudente pelo empréstimo dos receptores GPS e colaboração na parte técnica da Doutoranda Eniuce Menezes de Souza.

Aos professores Milan, Casimiro e Caetano pela troca de experiências e conhecimento.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Sistema de navegação GPS	13
2.2 Receptores de GPS	16
2.3 Erros que atuam no sistema	18
2.4 Precisão e acurácia	20
2.5 Determinação altimétrica	21
2.6 Métodos de posicionamento	22
2.7 Aplicações de GNSS na agricultura, demandas específicas e desempenho de receptores	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Ensaio estáticos de receptores de GPS avaliando o desempenho e o funcionamento das configurações e correções diferenciais	35
3.2 Avaliação do desempenho de receptores de GPS código C/A utilizando receptor GPS RTK como referência, em condição cinemática	40
3.3 Avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Ensaio estáticos de receptores de GPS avaliando o desempenho e o funcionamento das configurações e correções diferenciais	56
4.2 Avaliação do desempenho de receptores de GPS código C/A utilizando receptor RTK como referência em condição cinemática	65
4.3 Avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática	67
5 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	75
ANEXOS	80

RESUMO

Avaliação de desempenho de receptores de gps em modo estático e cinemático

São inúmeras as atividades que fazem uso do sistema Global Navigation Satellite System - GNSS, sendo o Global Positioning System - GPS, desenvolvido pelos Estados Unidos, o mais utilizado. Na área de agricultura de precisão há a necessidade de posicionamento estático e cinemático com demandas de distintos níveis de acurácia e precisão para diferentes aplicações. A deficiência de informações técnicas dos fabricantes causa incertezas nos usuários, quanto à classe de receptor a ser utilizado para determinadas atividades agrícolas. Por esses motivos os objetivos deste trabalho foram: avaliar o uso de correções diferenciais através de ensaio estático, testar o uso do receptor GPS RTK como referência para avaliar o desempenho de receptores de baixo custo em condição cinemática e desenvolver uma plataforma instrumentada para avaliar os receptores de GPS sob condição cinemática representativa para operações agrícolas. No primeiro caso foram realizados ensaios com oito receptores, sobre uma torre livre de impedimentos físicos, na qual foi montada uma plataforma em formato de cruz e nos receptores foram ativadas e desativadas as correções diferenciais WAAS, EGNOS, SF1 e SF2 e também testadas as várias intensidades de filtragem disponíveis em alguns dos receptores. No ensaio cinemático utilizando um receptor GPS RTK como referência foram utilizados dois receptores de navegação, fixados sobre a cabine de um trator e foram coletados dados com diferentes frequências. Para ensaios cinemáticos foi construída uma plataforma móvel instrumentada com um detector óptico de pulsos (encoder), um sensor foto elétrico e dois coletores de dados responsáveis por realizar o sincronismo entre os pulsos do encoder e as atualizações da sentença do GPS e armazenamento dos dados. Assim foi possível determinar as coordenadas de referência para o cálculo dos erros de precisão e acurácia do receptor GPS submetido à avaliação. Na avaliação dos receptores em ensaio estático os resultados mostraram que as correções WAAS e EGNOS não adicionam qualidade ao posicionamento na região de Piracicaba, SP. Com a ativação dessas correções os erros de precisão e de acurácia aumentaram. As correções diferenciais SF1 e SF2 via satélite demonstraram ser mais acuradas que os demais sistemas ensaiados. O ensaio sob condição cinemática, com GPS RTK de referência, permitiu o cálculo de erros somente no sentido perpendicular ao percurso. A plataforma instrumentada funcionou, cumprindo as expectativas e permitindo o cálculo dos erros de precisão e acurácia, porém demonstrou problemas de robustez nos coletores de dados, necessitando de pequenas melhorias.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Sistema de posicionamento global

ABSTRACT

Performance evaluation of GPS receivers under static and cinematic conditions

The activities that use the Global Navigation Satellite System - GNSS, are countless, and the Global Positioning System - GPS, developed by the United States is the most used today. In precision agriculture there is a need of static and cinematic positioning with demands of distinct levels of accuracy and precision for different applications. Technical information deficiencies from the manufacturers causes uncertainties to the users, as the receiver class to be used for certain agricultural activities. For these reasons the objectives of this work were: evaluate the use of differential corrections through static test, to test the use of RTK GPS as reference to evaluate the performance of low cost receivers under cinematic condition and develop an instrumented platform to evaluate GPS receivers under cinematic condition that represents agricultural operations. In the first case were realized tests with eight receivers, in the top of a tower free of physical obstacles, where it was mounted a platform with cross shape. The differential corrections WAAS, EGNOS, SF1 and SF2 were tested and also some intensities of filtering available in some of the receivers. In one of the cinematic tests, using a RTK GPS as reference, we used two navigation receivers, fixed over a tractor cabin and the data were collected with different frequencies. For the second cinematic test it was built a moving platform instrumented with a pulse optical detector (encoder), a photoelectric sensor and two data loggers, responsible for the synchronization between the encoder pulses and the GPS strings, and also log the data. With that it was possible to determine the reference coordinates to calculate the errors of precision and accuracy of the GPS receiver submitted to evaluation. The evaluation in static way showed that the corrections WAAS and EGNOS do not work in the region of Piracicaba, SP. Activating these corrections the precision and accuracy errors increased. The data collected with the satellite differential corrections SF1 and SF2 got closer to the real coordinate than the other evaluated systems. The test under cinematic condition, with the RTK GPS as reference, allowed the error's calculation only in the perpendicular direction of the course. The instrumented platform worked, accomplishing the expectation and allowing the error's calculation of precision and accuracy, however, showed problems of robustness in the data loggers, needing some improvement.

Keywords: Precision agriculture; Global positioning system

1 INTRODUÇÃO

Os atuais componentes do “Global Navigation Satellite System” - GNSS são o “Navigation Satellite Time And Ranging’ - NAVSTAR ou Global Positioning System - GPS, dos EUA, que se encontra em plena operação e o “Global’naya Navigatsionnay Sputnikovaya Sistema”: - GLONASS, da Rússia, que passa por intenso esforço de retomada de lançamento de satélites para recompor sua constelação. Outro sistema é o Galileo, projetado pela “European Space Agency” - ESA, da União Européia, e que está em fase de desenvolvimento. Recentemente foi também anunciado o sistema chinês, denominado de Compass. Apesar de toda a tecnologia incorporada a tais sistemas, há fatores internos e externos que prejudicam a acurácia de posicionamento, gerando erros que variam de acordo com a qualidade do equipamento receptor.

Pela popularidade e disponibilidade, o sistema que merece destaque é o GPS e são inúmeras as atividades viabilizadas ou auxiliadas por ele. Especialmente a partir de maio de 2000, com o desligamento do “Selective Availability” - S/A ou Disponibilidade Seletiva, sua utilização tornou-se comum no segmento agrícola brasileiro.

A carência de informações técnicas sobre o desempenho de receptores de GNSS tem gerado dúvidas entre os usuários, especialmente sobre qual categoria de receptor utilizar para trabalhos específicos. Faltam metodologias com base em princípios estatísticos robustos para avaliação da qualidade dos resultados de posicionamento para diferentes categorias de receptores e em diferentes condições de trabalho e aplicações.

A Agricultura de Precisão - AP preconiza o gerenciamento das lavouras considerando a sua intrínseca variabilidade espacial e surgiu como atividade comercial justamente com a disponibilização do sinal de GPS, no início dos anos 1990. Suas atividades demandam posicionamento dinâmico e com distintos níveis de acurácia para diferentes aplicações associadas às investigações georreferenciadas e intervenções localizadas para o máximo aproveitamento dos recursos e insumos e minimização de efeitos indesejáveis ao ambiente.

Uma aplicação associada à AP e que depende intensamente de GNSS é a orientação de percursos em faixas paralelas com dispositivos comercialmente

denominados de “barra de luz”, cujo primeiro usuário brasileiro foi a aviação agrícola, a partir de 1995. Nessa época, a única maneira de poder utilizar GPS era com correção diferencial em tempo real suprida pelos próprios usuários a partir de estações temporariamente estacionárias equipadas com rádio transmissor. Em 1997 surgiram os serviços comerciais de correção com sistemas via satélite. Nesse meio tempo as aplicações agrícolas se expandiram significativamente, em especial na coleta de dados para a geração de mapas de produtividade das culturas, na navegação em campo para a coleta de amostras georreferenciadas e na aplicação de insumos de forma localizada com máquinas equipadas com controladores de fluxo.

Também recentemente surgiram no mercado local os sistemas de orientação em faixas paralelas, retas ou curvas, para operações agrícolas terrestres e equipadas com receptores de GPS sem nenhuma forma de correção diferencial, apenas com alguma espécie de algoritmo interno que lhes conferem certa redução no erro de desalinhamento. Uma evolução dessa técnica são os dispositivos denominados de piloto automático que utilizam sinal de GPS para governar atuadores hidráulicos ou elétricos que agem diretamente no esterçamento do rodado dos tratores e outros veículos agrícolas, permitindo ao operador conduzir o veículo com maior qualidade nos percursos, maior eficiência operacional em operação diurna ou noturna e permitindo maior concentração em outros controles que não o volante, com estresse reduzido. Essa aplicação, em especial, passa a demandar receptores de alta acurácia. Para isso, além de receptores “Real Time Kinematic” - RTK, têm sido anunciadas soluções equivalentes ou próximas em acurácia, com correção via satélite, por empresas privadas. Especialmente na agricultura canavieira, já há vários tratores e colhedoras equipadas com o dispositivo de piloto automático com RTK.

Por outro lado, a utilização de receptores de navegação autônomos tem sido intensificada e muitos os utilizam com o sinal “Wide Area Augmentation System” - WAAS ativado, esperando tem melhor acerto no posicionamento. Porém sequer se sabe se esse sinal que estão recebendo é WAAS ou se trata do “European Geostationary Navigation Overlay Service” - EGNOS, pois ambos operam na mesma frequência.

As configurações disponíveis nos receptores de GPS são de grande importância, como relatam os fabricantes, pois sabendo a configuração correta tem-se um melhor desempenho nas atividades executadas. A maioria dos receptores possuem filtros, algoritmos internos, opções para correções diferenciais, regulagens de ângulo de máscara, etc.

Observa-se que se trata de um segmento de mercado aparentemente pouco exigente, devido ao limitado domínio do tema por parte dos usuários e por essa razão há grande demanda por informação. São usuários que demandam posicionamento estático e cinemático e as poucas informações relativas ao desempenho dos receptores de mercado dizem respeito a ensaios estáticos. É fundamental a disponibilização de informação relacionada ao desempenho dos diferentes tipos de receptores, bem como das tecnologias associadas, especialmente precisão e acurácia, em condições semelhantes àquelas em que esses equipamentos são utilizados no campo.

Sendo assim, o presente trabalho tem o objetivo de desenvolver e testar metodologias para ensaios estáticos e cinemáticos de receptores de GNSS, avaliando o desempenho de receptores que utilizam o sistema GPS em ambiente agrícola. Para isso estabeleceu-se etapas que consistiram em: 1) avaliação de configurações, sintonizações de correções diferenciais e mensuração da variação dos erros em ensaios estáticos; 2) avaliação de metodologia para o cálculo dos erros em receptores de navegação em modo cinemático, tendo como referência um receptor RTK; 3) desenvolvimento de uma plataforma instrumentada para ensaios cinemáticos de receptores de GPS e cálculo de seus erros de trajeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de navegação GPS

O homem, a milhares de anos, vem desenvolvendo e aprimorando os métodos para se localizar. O primeiro grande invento de localização foi a bússola, que permitiu grandes avanços nas navegações marítimas. Após a Segunda Guerra Mundial, com significativos avanços no domínio da comunicação via rádio e da eletrônica, os Soviéticos lançaram, em 04 de outubro de 1957, o primeiro satélite na órbita da terra, o Sputnik 1 (KRUEGER, 2004). A partir daí EUA e União Soviética intensificaram a corrida armamentista espacial desenvolvendo sistemas de localização cada vez mais acurados. A meta, invariavelmente, girava em torno da localização exata de alvos inimigos, para lançamento de mísseis teleguiados e localização de tropas aliadas para protegê-los à distância.

Nos EUA, foram desenvolvidos os sistemas “Long-Range Navigation” - LORAN, o “Low Frequency Continuous Wave Phase Comparison Navigation” - DECCA e o “Global Low Frequency Navigation System” - ÔMEGA, todos baseados em ondas de rádio. O inconveniente desses sistemas é a impossibilidade de posicionamento global, além da limitação quanto à acurácia, em razão da interferência eletrônica e das variações do relevo. Outro sistema desenvolvido, baseado em satélites artificiais, foi o “Navy Navigation Satellite System” - NNSS, também conhecido como Transit, cujas medidas se baseiam no efeito Doppler. Nesse sistema as órbitas dos satélites são muito baixas e não há uma quantidade suficiente de satélites e conseqüentemente há falhas na definição das coordenadas. (MONICO, 2007).

Faltava uma solução que oferecesse boa acurácia, facilidade de uso e custos acessíveis para os usuários. Foi assim que surgiu o GNSS, uma tecnologia espacial de posicionamento por satélite, desenvolvida para fins bélicos e que revolucionou os métodos de localização terrestre. Um dos principais componentes do GNSS é o GPS, desenvolvido pelos Estados Unidos, que se encontra em plena operação, além do GLONASS, similar ao GPS, desenvolvido na antiga URSS, e hoje de responsabilidade da Rússia. O GLONASS foi declarado operacional em 1995, com a constelação

completa, mas não teve a devida manutenção, tendo em 2001 apenas sete satélites operacionais. O governo russo iniciou um programa de modernização e em 2007 foram lançados vários satélites para revitalização do sistema. A capacidade operacional completa de 24 satélites é prevista para 2011 (INSIDE GNSS..., 2008).

Em dezembro de 2005 foi lançado o primeiro satélite teste do sistema Galileo, que está sendo desenvolvido pela União Européia. O segundo satélite foi lançado no final de 2007 e o terceiro está programado para o segundo semestre de 2008. Depois que todos os satélites forem lançados, a operação completa tem previsão de início em 2010, com uma constelação de 27 satélites operando e três reservas, a uma altitude média de 23222 km e com uma inclinação de 56°. A inclinação das órbitas foi escolhida para garantir uma boa cobertura das latitudes polares, em que o sistema GPS não tem uma boa cobertura. Com 30 satélites, há uma probabilidade de mais de 90% que qualquer pessoa em qualquer parte do mundo, receberá sinais de pelo menos quatro satélites (ESA, 2008).

Fato mais recente e relevante é que a China planeja lançar uma série de satélites para criar um sistema de navegação chamado de “Compass Navigation Satellite System” - CNSS. Enquanto os sistemas GPS, Galileo e GLONASS utilizam satélites que se movem, o CNSS ou Beidou irá posicionar cinco de seus satélites em órbitas geoestacionárias e os outros trinta irão transitar em órbitas similares aos demais sistemas (INSIDE GNSS..., 2008). O GPS, com reconhecida maturidade, por sua vez, encontra-se em fase de modernização. Os sistemas GNSS em geral, e o GPS, em particular, são estruturalmente divididos em três segmentos: espacial, de controle e do usuário.

O segmento espacial é caracterizado pela constelação de satélites. O GPS foi projetado pelo Departamento de Defesa Americano - DoD e desenvolvido pelo “Massachusetts Institute of Technology” - MIT para uso em aplicações militares para a Marinha e Aeronáutica dos EUA. É um sistema de geoposicionamento por satélites artificiais, baseado na transmissão e recepção de ondas de rádio-frequência captadas pelos receptores, obtendo-se posicionamento em todo globo terrestre (ROCHA, 2002).

A constelação é composta por 24 satélites, sendo que 21 são suficientes para cobrir toda terra e três são originalmente previstos como reserva. São distribuídos em

seis planos órbitas espaçados igualmente, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Dessa forma, a posição dos satélites se repete, a cada dia, 4 minutos antes que a do dia anterior. Essa configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre, a qualquer hora (MONICO, 2007).

Cada satélite transmite continuamente sinais em duas ondas portadoras L, sendo a primeira, L1, com frequência de 1575,42 MHz e comprimento de onda de 19 cm e a segunda, L2, com frequência de 1227,60 MHz e comprimento de 24 cm. Sobre estas ondas portadoras são modulados dois códigos, denominados códigos pseudo-aleatórios. Na banda L1, modula-se o código “Clear Access” ou “Coarse Acquisition” - C/A e o código “Precise” - P. A banda L2 é somente modulada pelo código P e sobre as portadoras L1 e L2, modula-se o código P (ROCHA, 2004).

Com o anúncio da modernização do sistema GPS em 1998 pelo DoD, entrou em funcionamento código L2C, com frequência de 511,5 KHz a ser modulado na portadora L2 (MONICO, 2007).

O segmento de controle é constituído por cinco estações, sendo uma a principal, localizada em Colorado Springs, CO, USA e as demais, de monitoramento, espalhadas ao redor do globo em posições estratégicas, a fim de melhor observarem os sinais transmitidos pelos satélites. A estação principal capta os dados vindos das estações de monitoramento e calcula a órbita exata e os parâmetros de relógio de cada satélite. Os resultados são passados para as antenas de retransmissão que os passam aos satélites. Esta estação se comunica com os satélites e periodicamente corrige a órbita de cada um (KRUEGER, 2004; KAWABATA NETO, 2005).

O segmento do usuário é caracterizado pelos receptores de GPS de uso civil e militar. Atualmente, o mercado oferece uma grande variedade de receptores de GPS, com as configurações das mais diversas, podendo ser empregados em inúmeras aplicações.

Os usuários contam com dois serviços distintos: o “Precise Positioning Service” - PPS e o “Standard Positioning Service” - SPS. O SPS opera com a utilização do código C/A e o PPS é prioritário para o serviço militar dos Estados Unidos. Havendo interesse

nacional e resguardada a segurança, é concedido também aos usuários civis (KRUEGER, 2004).

De acordo com Seeber¹ (2003 apud KRUEGER, 2004), o erro no posicionamento absoluto para usuários SPS, com o S/A desligado em média, de 13 m horizontal e 22 m vertical em 95% do tempo e na pior situação, de 36 m horizontal e 77 m vertical.

O serviço PPS tem acesso aos códigos C/A e P. O acesso ao serviço PPS é controlado atualmente pelo efeito de degradação Antispoofing AS, que é um mecanismo de degradação intencional de desligar o código P ou invocar um código de encriptação que dificulte o acesso ao código P aos usuários não autorizados. Novas técnicas permitem usar todos os sinais também quando o código P não é disponível, (SEGANTINE, 2005). O código P é utilizado quando se usa dupla frequência. Embora criptografado, existem técnicas de correlação cruzada no receptor que permitem obter esse código (TOPCON, 2008), mas não tão bom quanto para os militares, que conhecem a criptografia. O código P criptografado é acessível apenas por militares; novos sinais estão sendo especificados para uma versão modernizada do GPS. Estes sinais são: portadora L5 e os códigos L1C, L2C, e M exclusivamente militar (SILVA, 2007).

2.2 Receptores de GPS

O primeiro receptor comercial introduzido no mercado foi Macrometer V1000, desenvolvido com o suporte financeiro da NASA, em 1982. Era um receptor de simples frequência, que rastreava até seis satélites a partir de seis canais paralelos. A “National Imagery and Mapping Agency” - NIMA, em cooperação com o “U.S. Geological Survey” - USGS e o “National Geodetic Survey” - NGS, desenvolveram especificações para um receptor portátil de dupla frequência, com correlação do código. Isso resultou num receptor multiplex, denominado TI 4100, com capacidade de rastrear até quatro satélites, desenvolvido pela Texas Instruments, e introduzido no mercado em 1984. Esse foi o primeiro receptor que proporcionava todas as observáveis de interesse dos geodestas, agrimensores, cartógrafos e navegadores. Em 1985 uma nova versão do

V1000, o Macrometer II, foi desenvolvida, trabalhando com dupla frequência (MONICO, 2007).

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de tempo para se obter a distância entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referências dos satélites (MONICO, 2007). Teoricamente, precisa-se somente de três satélites para obter a posição de um ponto em três dimensões fixas. Apesar disso, quando se está no campo o receptor somente apresenta a posição de navegação após a obtenção de sinais de quatro satélites. A explicação para isto advém do fato de que os relógios internos dos receptores não são suficientemente bons quanto os relógios internos dos satélites. Os receptores dependem dos satélites para que eles consigam se ajustarem corretamente. Então, o quarto satélite auxilia na determinação da posição do ponto numa quarta dimensão dada pela componente do tempo (SEGANTINE, 2005). Para o seu funcionamento, o receptor de GPS opera de acordo com uma seqüência de tarefas: seleção dos satélites e determinação da posição aproximada do satélite por meio do almanaque; rastreamento e aquisição do sinal de cada satélite selecionado; medição e monitoramento das pseudo-distâncias; recepção dos dados de navegação de cada satélite; fornecimento de informações de posição e velocidade; gravação de dados para um pós-processamento ou transmissão dos dados em tempo real a outro receptor via rádio modem; alimentação de comandos do usuário e visualização dos resultados via painel de controle ou microcomputador (KRUEGER, 2004).

Os principais componentes de um receptor GPS são a antena com pré-amplificador, seção de RF - radiofrequência, para identificação e processamento do sinal, microprocessador para controle do receptor, oscilador, painel de exibição e comandos, provisão de energia e memória para armazenar os dados (SEEBER, 1993).

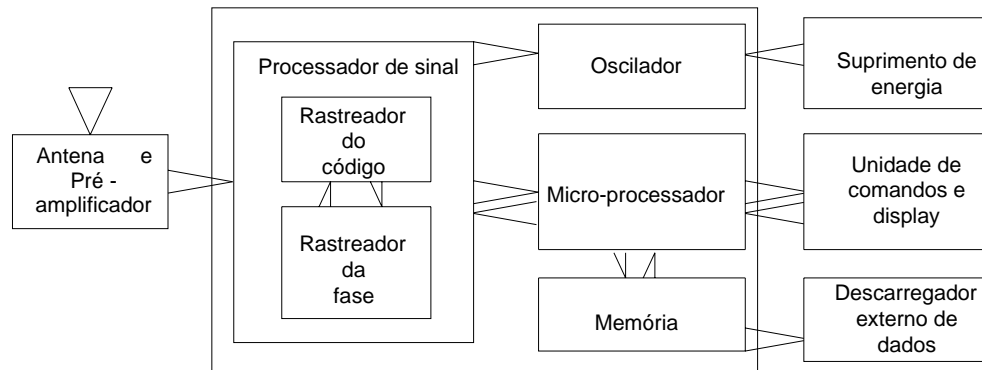


Figura 1 - Principais componentes de um receptor GPS. Fonte: adaptado de Monico (2007)

Há várias formas de classificar e dividir os diferentes tipos de receptores de GPS. Uma delas, de acordo com a comunidade usuária, é a classificação em receptor de uso militar e receptor de uso civil. Podem ainda ser classificados de acordo com a aplicação, como receptores de navegação, receptores geodésicos, receptores para Sistema de Informações Geográficas (SIG), receptor de aquisição de tempo, etc. Outra classificação baseia-se no tipo de dados proporcionados pelo receptor, ou seja, código C/A, código C/A e portadora L1, código C/A e portadora L1 e L2, códigos C/A e P e portadora L1 e L2, códigos C/A, L2C, P e portadora L1 e L2. Outras classificações ainda são possíveis, mas o importante para o usuário é ter clara a aplicação a que se objetiva o receptor, a acurácia desejada, bem como outras características necessárias. Isso poderá auxiliar o usuário na identificação do receptor adequado às suas necessidades, independentemente da classificação adotada (MONICO, 2007).

2.3 Erros que atuam no sistema

A tecnologia envolvida no sistema GPS não fica livre da ocorrência de erros. Estes podem ser ordenados em erro do relógio do satélite, do relógio do receptor, órbita dos satélites, de refração, de reflexão e de disponibilidade seletiva. O desempenho do sistema GPS fez com que o DoD criasse restrições artificiais, degradando os sinais de GPS para aplicações civis. O DoD intencionalmente introduzia um erro aleatório (S/A) no sistema, gerando um ruído no relógio do satélite para limitar o uso do GPS por forças hostis durante as guerras. Porém, em 01.05.2000, essa que era a principal fonte

de erro na precisão do posicionamento do GPS, foi eliminada do sistema (ROCHA, 2004).

Segundo Segantine (2005), a acurácia das observações com os satélites GPS depende da qualidade dos receptores com seus níveis de erros e ruídos, do erro dos relógios dos satélites e dos receptores, da variação da velocidade da luz, da geometria dos satélites observados, das perturbações atmosféricas como jatos de elétrons, multicaminhamento, tipo de antena e dos modelos matemáticos considerados nos softwares de processamento, etc. Quanto maior o número de satélites possíveis de serem captados no horizonte da antena receptora, maior será a precisão das coordenadas do ponto medido. Esta melhor situação para a medição é dada pelo valor da Diluição de Precisão - DOP. O conceito DOP envolve as posições dos satélites no espaço num dado instante. O fator DOP descreve o efeito da distribuição geométrica dos satélites no espaço sobre a acurácia obtida na solução de navegação. Quanto menores forem os valores dos diferentes DOPs, melhor será a situação de configuração de satélites para a realização da sessão de observação, sendo divididos em: diluição de precisão horizontal - HDOP; diluição de precisão vertical - VDOP; diluição de precisão na posição tridimensional - PDOP; diluição de precisão no tempo - TDOP. Durante a sessão de observação a geometria dos satélites varia, tendo como conseqüências a variação do valor do PDOP. Estas variações são facilmente explicadas pela velocidade do deslocamento dos satélites no espaço que é próxima de 13930 km h^{-1} . A combinação do PDOP e TDOP cria uma nova designação para o DOP, chamada de Diluição Geométrica de Posição - GDOP. O valor do GDOP compõe uma medida que reflete a influência da geometria dos satélites no espaço, combinada com a acurácia do posicionamento e do tempo. Considera-se um bom valor de GDOP inferior a 6; valores superiores a este devem ser evitados (SEGANTINE, 2005).

Por outro lado, o sinal de GPS fica prejudicado ou bloqueado em locais de vegetação densa, vales estreitos, cavernas e água. Montanhas altas e edifícios próximos também afetam sua acurácia (GORGULHO, 2006).

2.4 Precisão e acurácia

O termo precisão relaciona-se com a variação do valor medido repetidamente sob mesmas condições experimentais em torno do valor médio observado, enquanto que acurácia refere-se à exatidão da medida, ou seja, o quanto próximo está o valor medido do valor real (Figura 2). A precisão é afetada somente pelos erros aleatórios no processo de medição, enquanto a acurácia é afetada pela precisão, bem como pela existência de erros desconhecidos ou erros sistemáticos. As medidas podem ser precisas e não acuradas, mas só podem ser acuradas se forem precisas (DA SILVEIRA, 2004).



Figura 2 - Representação de uma condição de alta acurácia e alta precisão (a) e baixa acurácia e alta precisão (b)

A precisão dos receptores de GPS é definida pelo número de casas decimais com que o aparelho consegue fazer a leitura de determinado ponto. Esse número é geralmente fixo para alguns receptores; outros têm a opção de configuração do número de casas decimais. Receptores de GPS de baixa especificação armazenam dados de posição com um número limitado de casas decimais, dando a falsa impressão de terem dados mais consistentes (baixa variabilidade) devido a posicionamento aproximado e agrupado (BUICK, 2002).



Figura 3 - Dados de pontos espacializados com três casas decimais de segundos em coordenadas expressas em latitude e longitude (a); dados com uma casa decimal de segundos (b)
Fonte: Buick (2002)

2.5 Determinação altimétrica

O GPS proporciona altitudes de natureza puramente geométrica, ao passo que na maioria das atividades práticas o que é de interesse são as altitudes vinculadas ao campo de gravidade da terra, ou seja, as altitudes ortométricas, as quais possuem ligação com a realidade física. Para determinar altitudes ortométricas (H) a partir das geométricas (h), determinadas com o GPS, é indispensável o conhecimento da ondulação geoidal (N). A Eq. (1) mostra o cálculo da altura ortométrica (MONICO, 2007).

$$H = h - N \quad (1)$$

Ondulação geoidal é o desnível da superfície do geóide acima ou abaixo da superfície de um determinado elipsóide, conforme a Figura 4 (COELHO, 2003). A altura geométrica (elipsoidal) é obtida diretamente pelas medições com GPS, enquanto que a ondulação geoidal é função do modelo geoidal aplicado (SEGANTINE, 2005).

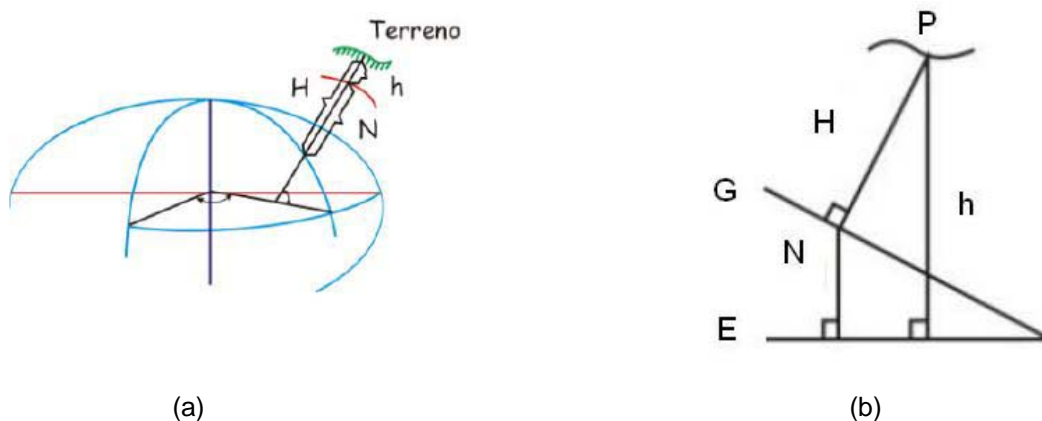


Figura 4 - O globo da terra em 3 dimensões (a) e o perfil mostrando a altitude ortométrica, geométrica e a ondulação geoidal entre o elipsóide e o geóide Fonte: adaptado de Coelho (2003)

2.6 Métodos de posicionamento

Posicionar um objeto consiste no ato ou efeito de localizá-lo sobre a superfície terrestre, determinando as coordenadas (latitude, longitude e altitude) sobre esta superfície segundo um sistema de referência. Os métodos de posicionamento são divididos em absoluto, relativo e diferencial (KRUEGER, 2004).

O posicionamento absoluto é aquele em que as coordenadas do ponto posicionado estão associadas diretamente ao geocentro. Pode ser denominado como posicionamento por ponto. Estes pontos podem ser gerados com o receptor de GPS na forma estática ou cinemática. Caracteriza-se pela adoção de apenas um receptor de GPS para a determinação das coordenadas de um ponto sobre a superfície terrestre.

O posicionamento relativo caracteriza-se pela recepção simultânea dos sinais dos satélites em pelo menos duas estações distintas, tomando uma delas como ponto base de coordenadas conhecidas, o que contribui para uma significativa redução de erros no relógio do satélite, e das efemérides de propagação do sinal na atmosfera. Ele pode ser efetuado utilizando-se diferentes tipos de observação, como o da fase do código, da fase do código suavizada pela portadora e da fase da portadora (KRUEGER, 1996).

Posicionamento diferencial foi concebido para contornar a degradação do sinal obtido com um posicionamento absoluto, causada principalmente quando a técnica de segurança S/A encontrava-se ativada. Para realizar uma coleta de dados com o sistema diferencial são necessários pelo menos dois receptores, estando um na estação de referência, onde são geradas as correções diferenciais e outro receptor móvel, utilizado na navegação.

As coordenadas da estação móvel são determinadas por meio das correções geradas na estação de referência. Os dados coletados podem ser pós-processados para correção ou corrigidos em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica, ou satélites de comunicação). A correção diferencial reduz ou elimina erros de reflexão, erros de relógio do satélite, erros de órbita do satélite e o erro de disponibilidade seletiva. A acurácia obtida por esse sistema pode ser influenciada por alguns fatores como a distância entre a estação de referência

e a estação móvel, a qualidade do sistema de comunicação, taxa de atualização e transferência dos dados e cálculo das correções diferenciais. Segundo Krueger (2004) os métodos de posicionamento diferencial subdividem-se em Real Time Kinematic - RTK, GPS Diferencial - DGPS, Precise DGPS e Wide Area DGPS.

O sistema RTK é composto por dois receptores (de dupla ou simples frequência) com as respectivas antenas e um link de rádio (para transmitir e receber correções e/ou observações da estação de referência). Uma das limitações dessa técnica é o link de rádio utilizado na transmissão dos dados, que deve ser realizado numa taxa de pelo menos 2400 bps (bits por segundo), exigindo o uso de VHF ou UHF, o que limita seu uso, na maioria das vezes, a distâncias menores que aproximadamente 4,0 km (LANGLEY¹, 1998 apud MONICO, 2007).

A principal diferença entre as técnicas DGPS e RTK refere-se basicamente ao tipo de observável. Na primeira aplica-se código suavizado pela fase da portadora, enquanto na segunda utiliza-se unicamente a fase portadora. O princípio de posicionamento do RTK fundamenta-se na transmissão das medições puras da fase portadora ou das correções diferenciais da fase da portadora, ambas mensuradas na estação de referência. Na primeira situação, a estação móvel forma Duplas Diferenças de Fase - DDF, enquanto na segunda adota-se uma abordagem similar à técnica DGPS. A vantagem da utilização das DDF com respeito às correções diferenciais de fase corresponde a uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como a eliminação dos erros dos relógios dos satélites e dos receptores (PRADO; KRUEGER, 2003).

No sistema DGPS são calculadas correções diferenciais para o código C/A ou o código suavizado pela portadora. A acurácia alcançada nas correções do código C/A pode ser de 1 a 5 m, com o S/A desativado, já para correção do código suavizado pela portadora, a acurácia obtida é inferior a 3 m. O decréscimo da acurácia em função da distância da base de referência ocorre a uma taxa de 10 ppm, o que equivale a 1cm por quilômetro (HOFMANN et al., 1994). Tem-se, então, o conceito da “idade do sinal diferencial” que é um parâmetro para análise da qualidade da correção. Em princípio, quanto menor a “idade diferencial” melhor a precisão. A “idade diferencial” é o tempo,

em segundos, desde que a última informação de correção foi gerada (AGROTEC, 2008).

O sistema “Precise DGPS” apresenta como característica a operação com rede de estações de referência e pode aplicar modelos de correção de superfície. A estação móvel aplica estas correções e busca a resolução das ambigüidades, proporcionando, assim, acurácia decimétrica.

O “Wide Area DGPS” ou “Satellite-based Augmentation System” - SBAS operam com rede de estações de referência destinadas a cobrir regiões maiores, normalmente em escala continental e não há busca na resolução das ambigüidades; elas permanecem flutuantes. São sistemas que empregam correções para cada satélite, derivadas de observações de uma rede global de estações de referência. O sinal SBAS é distribuído via satélite de comunicação geoestacionário, específico para este fim. O sistema utiliza satélite de comunicação e estações de referência de longo alcance. Os sinais públicos mais conhecidos são o WAAS dos EUA, o EGNOS da Europa, “Japanese Multi-function Transportaton Satellite Augmentation System” – MSAS, do Japão e GPS Aided GEO Augmented Navegation - Gagan da Índia (SEGANTINE, 2005; MONICO, 2007). São sistemas semelhantes, sendo que o EGNOS tem a vantagem de trabalhar com os sistemas GPS e GLONASS (SEGANTINE, 2005).

No Canadá foi desenvolvido o Canada Wide Differential GPS - CDGPS que proporciona correções diferenciais via satélite de comunicação para todo o país, com acurácia de 1 e 0,3 m para receptores de simples e dupla frequência (MONICO, 2007).

Como o sistema GPS apresenta limitações na obtenção de coordenadas, a “Federal Aviation Association” - FAA propôs a criação de um sistema, considerando que a navegação de aeronaves não poderia ficar sujeita à limitação decorrente desse mau funcionamento do GPS. Devido a esse fato, foi criado o sistema de correção diferencial público WAAS (SEGANTINE, 2005).

O WAAS é composto por 25 estações terrestres de referência, com receptores que detectam sinais dos satélites, permitindo determinar o erro dos sinais do GPS. Essa informação é passada a uma estação mestre de controle e nela são calculadas as correções e avaliada a integridade do sistema. Os dados são enviados a uma estação de comunicação que retransmite o sinal para os satélites de comunicação

geoestacionários. A informação de correção é enviada aos receptores, que fazem os ajustes necessários. Os satélites geoestacionários agem também como satélites adicionais de navegação, fornecendo sinais adicionais para determinação da posição (SULLIVAN et al., 2001).

O sistema WAAS é composto por vários satélites geoestacionários: AOR-W (PRN 122), Telesat (PRN 138), POR (PRN 134) e Intelsat (PRN 135). AOR-W é o nome do satélite seguido pelo Pseudo Random Noise - PRN de número 122, que é o código do satélite, e os outros satélites seguem a mesma regra. O sistema EGNOS tem o princípio de funcionamento de correção diferencial similar ao WAAS. Os satélites geoestacionários do sistema EGNOS são o AOR-E (PRN 120), Artemis (PRN 124), IOR-W (PRN 126) e IOR-E (PRN 131) (DIFFERENTIAL GPS..., 2006; FAA, 2008; ESA, 2008). Alguns dos satélites geoestacionários do WAAS e do EGNOS cobrem o território brasileiro (Figuras 5 e 6).

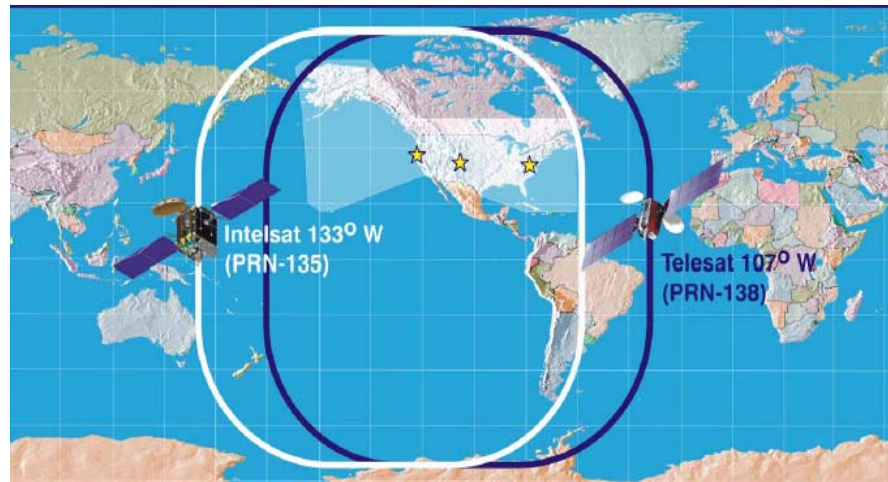


Figura 5 - Satélites geoestacionários do sistema WAAS, que atuam sobre o Brasil. Fonte: (FAA, 2008)

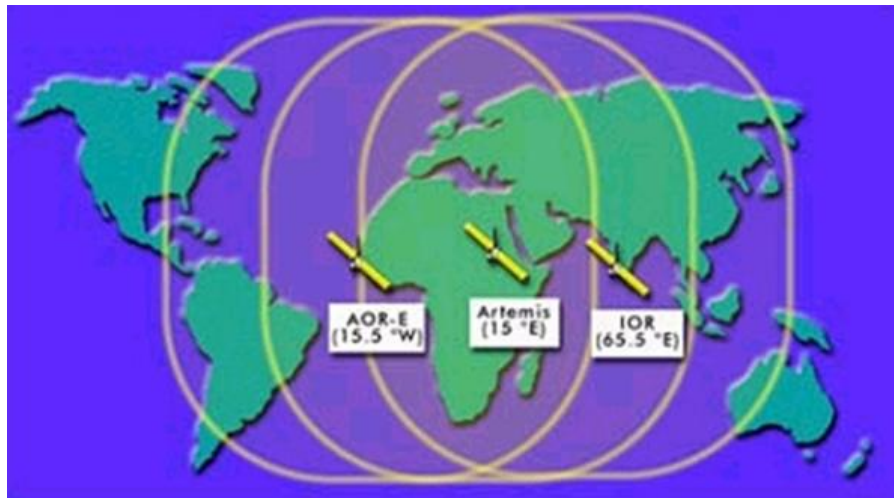


Figura 6 - Raio de atuação dos Satélites geostacionarios do sistema EGNOS Fonte: (ESA, 2008)

O “Local Area Augmentation System” - LAAS surgiu por exigência da FAA para garantir precisão, confiabilidade e segurança à aviação norte-americana; estes usuários recebem as correções diferenciais calculadas por uma rede de estações monitoras que fazem parte do sistema WAAS e EGNOS. Para garantir a permanência da correlação entre as antenas receptoras de referência e as antenas remotas, partiu-se para a implantação de uma rede de estações que densificassem a rede existente, gerando assim o sistema LAAS. Esta rede de densificação é apoiada por uma constelação de pseudo-satélites, colocados em órbita próximos aos aeroportos, e que emitem sinais semelhantes aos sinais GPS, garantindo assim a permanência da correlação de sinais recebidos pelas antenas de referência e remotas (SEGANTINE, 2005).

Outra tecnologia empregada para correção Diferencial é o sistema Beacon, utilizado pela Guarda Costeira Norte-Americana, pela Marinha do Brasil e aproximadamente 40 países utilizam esse sistema (AGROTEC, 2008). São potentes estações instaladas junto à costa e transmitem sinais de correção diferencial via onda de rádio, no formato RTCM, destinados ao uso principalmente por embarcações, porém podendo ser captados também por usuários terrestres ou aviões, desde que ao alcance das tais estações (no máximo, em torno de 200 km). Na Argentina o sistema é muito utilizado em áreas agrícolas e sua acurácia, utilizando um bom receptor GPS, varia de 0,50 a 1,00 m de erro. Esta transmissão se dá em frequências relativamente baixas, na faixa de 300 KHz, sendo suscetível a interferências se o receptor GPS estiver próximo a

aparelhos eletrônicos que trabalham na mesma frequência, podendo gerar ruídos, atrapalhando o sinal (BUICK, 2002).

As correções diferenciais pagas, conhecidas como (L Band Satellite), são correções que utilizam satélites geoestacionários, tendo atuação em quase todas as partes do mundo. As empresas mais conhecidas desse sistema de correção diferencial são Fugro com a correção OmniSTAR e mais recente a John Deere. Os usuários desse tipo de sinal têm a vantagem de terem uma maior cobertura e ser menos susceptível a interferências por ruídos de aparelhos eletrônicos. De acordo com as empresas que disponibilizam as correções, os erros de acurácia, dependendo do modelo da correção, variam de 0,10 a 0,30 m. É um sistema que tem a desvantagem de estar sujeito a erros com as mudanças da ionosfera, por necessitarem de satélites geoestacionários que transmitem os dados corrigidos para os receptores GPS (BUICK, 2002; FUGRO, 2008). Alguns receptores de GPS utilizam filtros chamados de Kalman; o princípio destes filtros é usar conceitos estatísticos para comparar uma medida atual com uma medida que foi previamente estimada. Durante os cálculos é realizada uma comparação estatística, entre os valores novos calculados e os previamente estimados. Com essa comparação, é possível eliminar dados discrepantes (SEGANTINE, 2005). Há receptores com a opção de configuração de várias intensidades de filtragem e aumentando a intensidade, aumenta-se a precisão (BUICK, 2002).

Uma alternativa recentemente disponibilizada são os algoritmos internos, que reduzem o erro de paralelismo entre passadas, especialmente de sistemas de orientação para faixas, via software; cada fabricante utiliza seu próprio método. Um destes (eDIF), disponível no mercado e patentado pela empresa americana Satloc, é empregado na aviação agrícola no Brasil. Por este sistema, o próprio receptor GPS, alimentado por um programa de computador especialmente projetado, atua como se fosse uma “estação de referência”, calculando e projetando a correção durante um período de tempo de aproximadamente 3 horas. Após este período o programa deve ser novamente executado para novo cálculo, válido para o período seguinte (AGROTEC, 2008).

2.7 Aplicações de GNSS na agricultura, demandas específicas e desempenho de receptores

A pesquisa conduzida há aproximadamente 80 anos por Linsley e Bauer (1929), citado por Stombaugh et al. (2002), comprovou a variabilidade espacial da acidez do solo, em que os autores obtiveram reduções significativas nos custos da produção de grãos, sem o comprometimento da produtividade, realizando a aplicação diferenciada de calcário em uma área experimental. No entanto, somente no final da década de 1980, com o desenvolvimento do GPS, é que essa técnica se tornou viável, sendo predominantemente denominada de Agricultura de Precisão (AP).

O primeiro usuário de tecnologia GPS na agricultura brasileira foi a aviação agrícola, a partir de 1995. Nessa época, a única maneira de poder utilizar GPS era com alguma forma efetiva e prática de correção diferencial em tempo real. Esse sinal era suprido pelos próprios usuários a partir de estações temporariamente estacionárias equipadas com rádio transmissor. Em 1997 surgiram os serviços de correção SBAS (MOLIN, 1998a).

AP é entendida como um conjunto de ações gerenciais que assumem que as lavouras não são uniformes em seus aspectos de solo e de desenvolvimento das culturas, implicando na necessidade de investigações georreferenciadas e intervenções localizadas para o máximo aproveitamento dos recursos e minimização de efeitos indesejáveis ao ambiente (MOLIN, 1998b). Uma característica marcante das aplicações de GNSS nessa área é a necessidade de posicionamento estático e cinemático com demandas de distintos níveis de acurácia para diferentes aplicações.

Balastreire (1998) cita que um exemplo de utilização na época já difundida, é o acoplamento do sistema GPS a um monitor que quantifica o fluxo de grãos colhidos. Atualmente são fabricados aplicadores de fertilizantes e corretivos, também conectados a receptores de GPS, que juntamente com um sistema eletrônico fazem automaticamente a tarefa de gerenciamento da aplicação, percorrendo a lavoura e dosando mais ou menos adubo segundo um mapa de prescrição.

Nos últimos anos, plantadores de cana-de-açúcar têm investido no direcionamento de veículos via satélite, principalmente no auto-direcionamento ou piloto automático,

para atividades que exigem algum tipo de orientação, principalmente no plantio mecanizado e na colheita (MOLIN et al., 2008).

Stafford (1996) através de várias pesquisas na área de AP, relata que devido a vários fatores ligados ao solo, a cultura, a produtividade e ao controle do funcionamento dos equipamentos, a acurácia do receptor depende da operação e dos indicativos de variabilidade que cada operação demanda. Sugere que a acurácia necessária numa aplicação de fertilizantes é de 30 m, em mapas de produtividade é de 10 m, na aplicação de herbicidas é de 1 m, no controle da sobreposição de pulverização é 0,10m e no cultivo de plantação em fileiras e deposição de sementes no sulco é de 0,05 m.

Buick (2002) sugere padrões mínimos de acurácia para diferentes aplicações agrícolas. Nos casos de controle localizado de plantas daninhas, controle de doenças e aplicações de fertilizante em cada planta da fileira da cultura, são requeridos receptores de boa acurácia. O receptor GPS RTK é o que tem melhor acurácia, sendo indicado para atividades que têm uso contínuo e necessita de uma estação permanente de correção. Alguns aparelhos L1/CA com correções diferenciais em tempo real também permitem voltar ao mesmo local com bastante confiabilidade. Se a utilização for para mapeamentos que não necessitam de alta acurácia, como monitoramento de produtividade, amostragem de solo, cálculo de área para fins gerenciais, aparelhos de baixo custo que oferecem de 1,00 m a 3,00 m de acurácia são os mais indicados, lembrando que as considerações são direcionadas para o ambiente norte americano. Para uso em sistemas de orientação de veículos agrícolas para evitar sobreposições de aplicações (barra de luz), com passadas seqüenciadas, tem-se necessidade de maior precisão do que de acurácia. Receptores GPS com acurácia em torno de 0,30 m são os mais indicados para essa finalidade. Em atividades que demandam repetição de passadas nos mesmos locais com longos intervalos de tempo e que necessitam de exato paralelismo entre as fileiras de plantio, ou para controle de tráfego em lavouras, é indicado o uso de direcionamento automático (piloto automático) com receptores RTK, com 0,02 a 0,04 m de acurácia. O mesmo autor salienta que quando se quer uma boa precisão e acurácia para determinadas aplicações estáticas ou dinâmicas em receptores GPS de boa qualidade, deve-se verificar as opções de configurações dos filtros disponíveis para se obter um máximo desempenho do receptor.

Qiu et al., (1998) sugerem que o receptor GPS deve possuir acurácia ao redor de 2,00 m para realização do mapeamento de plantas daninhas. Griffin et al. (2005), em trabalho de análise econômica dos sistemas de orientação agrícola, cita que a acurácia de barras de luz com GPS sem correção diferencial é de aproximadamente 0,30 m; com GPS e correção diferencial (L Band) essa acurácia é de aproximadamente 0,10 m; já em sistemas de direcionamento automático com receptor RTK a acurácia esperada é de aproximadamente 0,01 m.

Da Silveira (2004) ensaiou receptores L1/CA utilizados em ambiente agrícola e aparelhos código C/A usados para navegação, em modo estático, utilizando correções diferenciais em tempo real e pós-processadas. O autor avaliou receptores analisando seus custos em função dos índices de desempenho. As conclusões do autor foram que os aparelhos avaliados, a correção diferencial permitiu um aumento significativo de acurácia e precisão, os índices de desempenho, baseados na acurácia e na precisão em função do custo, foram importante para comparação dos aparelhos avaliados e para aplicações que requeiram acurácia mais elevada, porém com restrições de custo, pode-se utilizar aparelhos GPS de baixo custo, operando com correção diferencial.

Lima et al. (2006) desenvolveram um equipamento microprocessado para geração de sinal de correção diferencial para GPS, com sistema de transmissão em rádio-freqüência. Que possibilita que diversos aparelhos GPS, façam uso desse sinal, bastando os receptores estarem equipados com receptores de rádio apropriados para a recepção de sinal de correção. Sendo possível através do equipamento a construção de uma estação privada para a geração do sinal de correção diferencial, de baixo custo.

Em teste estático Stombaugh et al. (2002) compararam receptores GPS de mesma marca e modelo, ativando e desativando filtros internos e testando a influência do uso de antena auxiliar externa. O receptor com ativação do filtro teve um desempenho melhor e o uso de antena externa piorou tanto a acurácia como a precisão dos dados. Utilizando as correções diferenciais WAAS e OmniSTAR em ensaio estático com vários receptores de GPS, Sullivan et al. (2001) observaram que as correções funcionam bem e podem ser usadas em AP.

Segundo Stombaugh et al. (2002); Taylor et al. (2003); Weltzien et al. (2003), os fabricantes de receptores de GPS utilizados em AP disponibilizam relatórios do

desempenho de seus receptores no modo estático. Os mesmos autores mostram que desempenhos obtidos em ensaios estáticos nem sempre são indicativo de desempenho cinemático. Uma das razões da falta de informação dos fabricantes, referente à acurácia cinemática dos receptores de GNSS pode ser o fato de não existir padrão estabelecido para ensaios cinemáticos. Stombaugh et al. (2005) afirmam que o “Institute of Navigation” - ION gerou documentos que possuem algumas diretrizes que podem ser usadas para testes de receptores de GNSS em operações agrícolas. Estes documentos dão algumas orientações básicas de como conduzir um ensaio dinâmico. A mensuração de acurácia e precisão em modo cinemático é mais difícil que em modo estático, pois as variáveis que afetam o desempenho cinemático dos receptores GPS são de mais difícil controle (BUICK, 2002). Existem relatos de trabalhos visando à caracterização do desempenho de diferentes tipos e tecnologias de receptores em condição cinemática, simulando aplicações agrícolas. Balastreire e Baio (2000) testaram um receptor de GPS, em ensaio cinemático, montado sobre trator com diferentes velocidades de avanço. Concluíram que sob velocidades menores o erro planimétrico das coordenadas tende a ser menor.

Satabile e Balastreire (2006) compararam três receptores: um sem correção diferencial, um com correção diferencial e outro com algoritmo interno. O ensaio cinemático foi realizado em três retas paralelas de 50 m, espaçadas de 10 m uma da outra, com os receptores montados em um trator. O receptor, com algoritmo interno apresentou melhor acurácia em relação aos demais.

Han et al. (2002) avaliaram o desempenho de receptores de GPS com as antenas montadas sobre a cabine de um veículo agrícola se deslocando em linha reta a diferentes velocidades e utilizaram um receptor de GPS RTK como referência para medir distâncias entre a reta do percurso virtual e a reta da regressão dos pontos fornecidos pelos receptores. Os mesmos autores concluíram que os erros dos ensaios cinemáticos foram extremamente variáveis de ensaio para ensaio; diferentes momentos, períodos de testes e localização tem diferentes constelações de GPS, influenciando no nível do sinal, nos erros atmosféricos, na qualidade das correções e tudo isso influencia a acurácia dos receptores.

Stombaugh et al. (2002) propuseram padronizações para ensaios dinâmicos de receptores de GPS fixando as antenas dos receptores em um braço de 7,5m, que rodava a uma velocidade constante e as coordenadas do círculo abrangido foram determinadas por um receptor de GPS RTK. Ressaltam que uma das vantagens de se utilizar um aparato desses é que ele permite maior repetibilidade dos ensaios do que com um veículo e citam como desvantagem o fato de ser mais difícil reproduzir as condições reais do campo.

Um dispositivo semelhante foi proposto por Weltzien et al. (2003), que também construíram um braço giratório para a realização de ensaios dinâmicos para receptores de GPS. Outra forma de gerar percurso padronizado foi desenvolvida por Taylor et al. (2003) que ensaiaram vários receptores em um percurso linear e para tanto utilizaram um veículo montado sobre um trecho de ferrovia se deslocando em sentidos opostos alternados e o posicionamento do trilho foi determinado com um GPS RTK. Como o percurso nos trilhos não era completamente reto os erros foram determinados a partir de regressões lineares contendo segmentos. Chosa et al. (2006) desenvolveram uma plataforma circular de ensaio cinemático para receptores RTK mensurando a variação de velocidade e o erro do ângulo de trajetória, tendo como referência um detector magnético de pulsos.

Uma contribuição que representou avanço significativo nesse sentido foi dada por Stombaugh et al. (2005), que projetaram um percurso no qual um veículo automotriz montado sobre trilhos puxa um ou vários carros de instrumentos com receptores de GPS. O percurso foi locado a 45 graus do norte verdadeiro para eliminar a influência direcional de erros de GPS, que foram notados em trabalhos realizados por Buick (2002) e Ehsani et al. (2003), onde observaram que há um maior erro no sentido norte - sul quando os receptores GPS acoplados a um veículo trafegam na direção leste - oeste, devido à falta de satélites nas médias latitudes próximas aos polos. A configuração do percurso desse trilho simula manobras de cabeceira que são movimentos típicos de operações agrícolas de campo. Analisando o percurso em partes, observaram que devido aos filtros de algoritmos utilizados pelos fabricantes dos receptores verificou-se que estes demoravam em convergir os dados de reta para curva, ocasionando erros. O trajeto do trilho foi determinado com um GPS RTK. O

desvio padrão entre erro transversal de caminhamento e o carro foram menores que 0,005 m, indicando que a instalação na configuração avaliada seria capaz de realizar adequadamente teste de receptores de GPS com acurácia de posição horizontal de até 0,05 m.

Alguns trabalhos apresentam propostas de metodologias para avaliação do desempenho de sistemas de orientação em faixas paralelas e de esterçamento automático. A caracterização do desempenho desses sistemas tem menos dificuldades que a caracterização de receptores por se tratar de desalinhamentos sempre referentes a uma única direção. Medem-se os desvios laterais em relação a um percurso e para tanto é necessário apenas conhecer a linha ideal e marcar a linha do percurso real, mensurando os desvios por perpendiculares à primeira (MOLIN ; RUIZ, 1999; MOLIN et al., 2002; BAIO, 2005). No entanto, todos esses trabalhos utilizaram ferramentas da topografia (trena, baliza e teodolito), tendo como consequência elevada demanda de trabalho braçal acompanhada de elevado risco de erros humanos.

Molin e Carrera (2006) propuseram uma metodologia de ensaio cinemático utilizando GPS RTK como referência para o cálculo de erros de paralelismo. Testaram quatro receptores com três velocidades de deslocamento e observaram que em velocidade mais baixa, o erro é maior, quando o receptor é configurado para coletar dados por tempo. Machado et al. (2007b) testaram dois receptores usados em barra de luz tendo como referência para o cálculo de erros, um receptor de GPS RTK. Relatam que o uso de planilha eletrônica para o cálculo de erros de paralelismo permite uma maior agilidade e confiabilidade nos dados.

Heidman et al. (2002) utilizaram um piloto automático equipado com GPS RTK em um trator com três diferentes tipos de implementos acoplados e constataram que a acurácia se manteve mesmo variando a velocidade de avanço e conseguiram manter o alinhamento de espaçamento de até 0,05 m. Este tipo de aplicação demanda receptores de alta acurácia, especialmente os receptores RTK, que representam alto custo de aquisição ao usuário. No entanto, já são disponíveis no mercado opções com acurácias similares com correção via satélite.

Harbuck et al. (2006) testaram durante 15 semanas quatro sistemas de esterçamento automático com receptores de GPS utilizando RTK, correções

diferenciais StarFire SF1 e SF2 (John Deere) e WAAS. O sistema RTK apresentou o menor erro de trajeto, com média de 0,10 m, o sinal WAAS resultou em 0,24 m, o sinal SF1 resultou em 0,40 m, o SF2 em 0,34 m.

Tucker et al. (2002) avaliaram dois equipamentos de piloto automático equipados com GPS RTK, passando sobreterraços em três ângulos diferentes e sob a das árvores na perda de sinal nas manobras de cabeceira. Para realização dos ensaios percorreram traçados paralelos aos terraços, a 41° e a 84° em relação aos terraços. Observaram que quanto maior o ângulo em relação aos terraços menor era a perda de sinal dos receptores devido aos terraços estarem no sentido longitudinal do terreno e as árvores no sentido transversal. O tempo de exposição menor e a distância maior em relação às árvores durante as manobras de cabeceira ocasionaram menor perda de sinal dos satélites. Durante a passagem do trator por cima dos terraços, devido à ondulação, houve aumento de 50% nos erros de posicionamento em comparação com os locais planos, sem ondulações.

Molin et al. (2008) avaliaram o paralelismo de sulcação para o plantio de cana-de-açúcar usando piloto automático orientado por GPS RTK e sulcação sem piloto automático. Encontraram uma frequência de 26 % dos erros até 0,02 m sem o uso do piloto e com o uso do piloto 51 % dos erros estavam até 0,02. Concluindo-se que os erros sem o uso do piloto automático foram maiores.

De acordo com Tucker et al. (2002) esses sistemas automatizados em veículos agrícolas permitem a redução da compactação do solo por meio do controle de tráfego, permitem velocidades operacionais maiores, reduzem a fadiga do operador, permitem a operação mesmo com falta de visibilidade, otimizam o raio de manobras, minimizam os erros entre passadas e aumentam o rendimento operacional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Ensaios estáticos de receptores de GPS avaliando o desempenho e o funcionamento das configurações e correções diferenciais

O local escolhido para realização dos ensaios foi uma torre livre de impedimentos físicos, localizada acima do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, em Piracicaba, SP (Figura 7a). Para a obtenção das posições e cálculo dos índices de acurácia e precisão foi construída uma estrutura metálica em formato de cruz, afixada na laje de concreto, sobre a referida torre (Figura 7b), com um total de nove marcos, distanciados 0,50 m um do outro.

A estrutura foi referenciada por dois receptores L1/L2 Hiper GGD Topcon® geodésicos, com acurácia de $0,003 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ (TOPCON, 2008), coletando dados pelo método de posicionamento estático, com máscara de elevação de 15° , durante 1:30 h, com um intervalo amostral de 15 s e pós-processados para determinação das coordenadas. As estações de referência utilizadas foram as de Cachoeira Paulista, Cananéia, Ubatuba, Curitiba (UFPR), Presidente Prudente (UNESP) e Varginha.



(a)



(b)

Figura 7 - Vista da torre utilizada como local dos ensaios (a) e a estrutura em formato de cruz para fixação dos receptores de GPS (b)

Nos ensaios (Figura 8) utilizou-se receptores L1 código C/A comumente utilizados em atividades agrícolas e receptores código C/A usados para navegação. Os receptores L1 código C/A foram: Trimble AG132 (AG132), versão do firmware 3.00, 12 canais e frequência de atualização de 1 Hz; SatLoc SLXg (SLXg), 12 canais e frequência de 5 Hz; OmniStar TM 7000L (OTM), 8 canais e frequência de 1 Hz; GreenStar John Deere - (JD), 10 canais e frequência de 1 Hz; e Raven 115 - (R115), 10 canais e frequência de 10 Hz. Os receptores código C/A utilizados foram: Garmin Legend (L), Garmin Vista (V), Garmin Vista CX (CX); todos com 12 canais e 0,5 Hz.

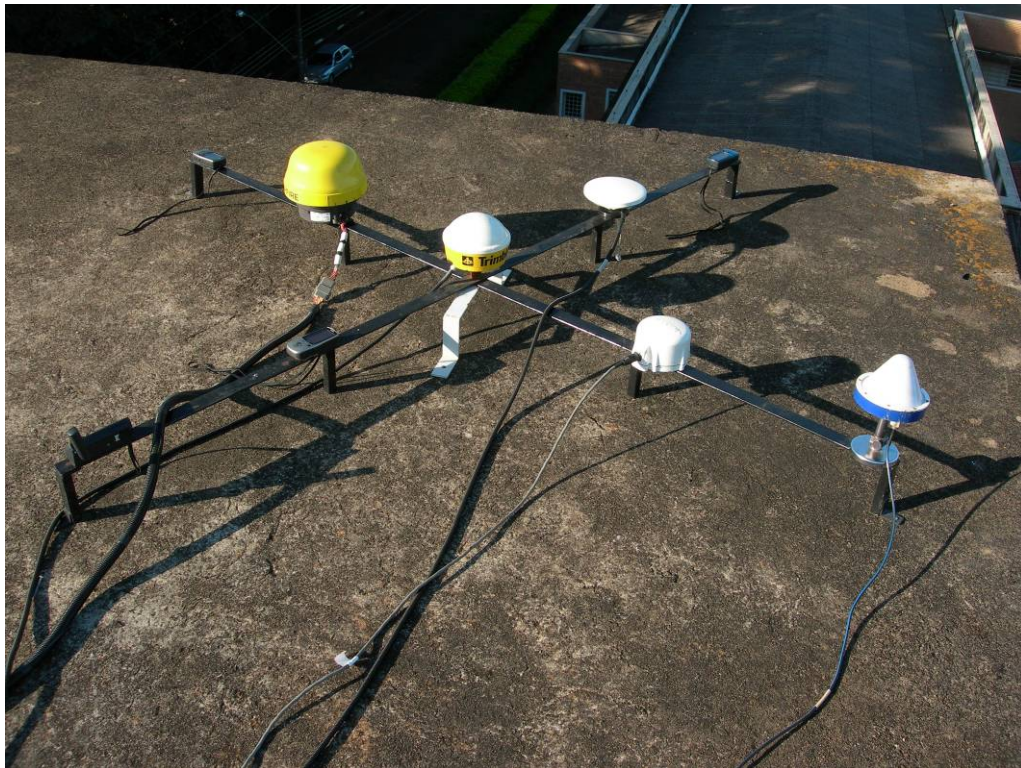


Figura 8 - Os receptores utilizados no ensaio dispostos sobre a estrutura em cruz

Para coleta de dados dos receptores L1 código C/A foram utilizados três PDAs marca (Compaq Computer Corporation®), modelo iPAQ H3650 Pocket PC e um notebook com o programa SST Field Rover II , versão 7.13 (SST Development Group®). Os receptores código C/A utilizaram a própria memória interna para armazenamento dos dados. Utilizou-se intervalo de tempo de coleta de 15 s para todos os receptores.

Os cálculos dos erros de acurácia e precisão foram obtidos de acordo com os trabalhos realizados por Buick et al. (2002); Ehsani et al. (2003); Weltzien et al. (2003); Stombaugh et al. (2005).

Erro médio (N – E)

Média dos erros nos sentidos de direção (norte - sul) e (leste - oeste)

$$EME = \frac{X_i - X_r}{\bar{X}} \qquad EMN = \frac{Y_i - Y_r}{\bar{Y}} \qquad (2)$$

Em que:

EME = Erro médio na coordenada leste (m);

EMN = Erro médio na coordenada norte (m);

\bar{X} = média das coordenadas leste (m);

X_i = valores das coordenadas leste (m);

X_r = Coordenada real leste (m);

\bar{Y} = média das coordenadas norte (m);

Y_i = valores das coordenadas norte (m);

Y_r = Coordenada real norte (m).

Erro de posição - EP

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

O desvio padrão 1σ , indica que 68 % de todos os erros ocorreram dentro dos limites de $\pm 1\sigma$. Representando a precisão, pois usa a diferença de erro de posição e a média do erro de posição e resulta na indicação de espalhamento médio do sistema.

$$1\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(EP_{ij} - \bar{EP}_j \right)^2} \qquad (4)$$

O desvio padrão 2σ , indica 95 % de todos erros dentro dos limites $\pm 2\sigma$.

A raiz quadrada média (root mean square) - RMS indica a acurácia absoluta, pois não utiliza a média, resultando no erro absoluto em relação à referência. Que estão 68% de uma distribuição.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n EP^2}{n-1}} \quad (5)$$

O erro circular provável - CEP indica um limite que contem 50% de todos os erros em uma distribuição circular.

$$CEP = 0,59.(\sigma E + \sigma N) \quad (6)$$

σE = desvio padrão na coordenada E

σN = desvio padrão na coordenada N

Os dados experimentais foram coletados em coordenadas geográficas (latitude e longitude) e transformados para coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator) utilizando o datum WGS-84. Para o cálculo dos erros das altitudes geométricas foi utilizada como referência a altitude estabelecida pelo receptor L1/L2 geodésico. Em cada um dos nove pontos têm-se as coordenadas geográficas e a altura. Os erros negativos para a altitude significam abaixo da altura de referência e erros positivos são superiores à altura de referência.

Segundo Souza et al. (2005), a coleta de dados em dias consecutivos deve contemplar os mesmos efeitos e apresentar o mesmo padrão quando a geometria do levantamento permanece inalterada. Como o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais, a posição dos satélites se repete, a cada dia, 4 minutos antes que a do dia anterior (MONICO, 2007). A partir dessas afirmações os tratamentos foram executados em dias consecutivos, adiantados de 4 minutos em cada dia, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição do arranjo dos tratamentos envolvidos no ensaio de caracterização de desempenho estático de receptores de GPS

Receptor	Tratamento	Data	Início (h)	Fim (h)
JD	SF1*	15.04.2008	19:00	15:00
R115	WAAS	15.04.2008	19:00	15:00
JD	SF2*	16.04.2008	18:56	14:56
R115	EGNOS	16.04.2008	18:56	14:56
OTM	SC*	16.04.2008	18:56	14:56
CX	EGNOS	16.04.2008	18:56	14:56
L	EGNOS	16.04.2008	18:56	14:56
V	EGNOS	16.04.2008	18:56	14:56
JD	SC	17.04.2008	18:52	14:52
SLXg	SC	17.04.2008	18:52	14:52
R 115	SC	17.04.2008	18:52	14:52
AG 132	SC	17.04.2008	18:52	14:52
CX	SC	17.04.2008	18:52	14:52
L	SC	17.04.2008	18:52	14:52
V	SC	17.04.2008	18:52	14:52
AG 132	SF	18.04.2008	18:48	14:48
AG 132	FEM*	19.04.2008	18:44	14:44
AG 132	FEA*	20.04.2008	18:40	14:40
AG 132	FEB*	21.04.2008	18:36	14:36

*SF1 - correção diferencial StarFire 1, *SF2 - correção diferencial StarFire 2, *SC - sem correção diferencial, *SF - Sem filtro, *FEM - Filtro estático máximo,*FEA - Filtro estático alto, *FEB - Filtro estático baixo

Segundo Stombaugh et al. (2002)¹ apud Franklin et al. (1994) filtros são programas (algoritmos internos) que corrigem os dados errados. Segantine (2005) o princípio destes filtros é usar conceitos estatísticos para comparar uma medida atual com uma medida que foi previamente estimada. Durante os cálculos é realizada uma comparação estatística, entre os valores novos calculados e os previamente estimados. Com essa comparação, é possível eliminar dados discrepantes (SEGANTINE, 2005). Há receptores com a opção de configuração de várias intensidades de filtragem e aumentando a intensidade, aumenta-se a precisão (BUICK, 2002).

Os satélites geoestacionários para sintonização das correções diferenciais públicas, escolhidos para o ensaio, foram AOR-E (EGNOS) e Telesat (WAAS), devido às suas áreas de abrangência e resultados obtidos anteriormente (MACHADO et al., 2007a).

A escolha do início do horário de coleta foi definida por sorteio. Antes do horário de início das coletas os receptores de GPS eram ligados com 30 minutos de antecedência para verificação de possíveis erros de armazenamento e configuração; o intervalo entre um tratamento e outro era de 4 h. Durante o intervalo os dados eram descarregados dos PDAs em um microcomputador utilizando o software Microsoft ActiveSync® 3.1 e analisados para verificação de possíveis erros no salvamento dos arquivos ou perda de dados. O receptor AG132, na configuração padrão, tem o filtro ativado no modo normal de intensidade, com o qual foi executado o ensaio do dia 17.04.2008. Na configuração FEA o receptor apresentou dados com erros fora do normal e, portanto não foram utilizados para comparações estatísticas. No dia 21.04.2008, o receptor AG 132 apresentou problemas no display, não sendo possível a coleta de dados com o tratamento FEB.

Para compreensão da variação dos erros foram feitos gráficos que expressam resultados da coleta de dados durante as vinte horas de ensaios, mostrando uma média temporal dos erros de altura, RMS e desvio padrão, de hora em hora, no período das 20:00 h às 15:00 h, para obter-se melhor visualização entre a variação dos erros.

3.2 Avaliação do desempenho de receptores de GPS código C/A utilizando receptor GPS RTK como referência, em condição cinemática

Os ensaios foram realizados em um talhão de cana-de-açúcar, localizado no município de Barrinha - SP, na Fazenda Centenário (21° 12' S e 48° 08'W), pertencente à Usina São Martinho, entre os dias 23 e 24.04.2007. O talhão utilizado no ensaio tem uma área de 6,30 ha e inclinação no sentido noroeste de 3,4 %.

Simulou-se a operação de plantio mecanizado com um trator Case MX 240 (Figura 9) que tracionava uma plantadora de cana, desenvolvida pelo Grupo São Martinho, para duas fileiras de cana de espaçamento de 1,50 m, resultando em passadas espaçadas de 3,00 m, a uma velocidade média de 1,94 m s⁻¹.



Figura 9 - Trator fazendo simulação de plantio, guiado por piloto automático; os receptores de GPS testados estavam instalados sobre a cabine do trator

Os equipamentos utilizados foram dois receptores GPS de navegação marca Garmin, modelos V e CX, que utilizam o código C/A com frequência de atualização de 0,50 Hz, e um receptor RTK L1/L2, marca Trimble®, modelo AgGPS RTK, com frequência de atualização de dados de 5 Hz, a partir de uma estação base, modelo 450 Trimble®, configurada para fazer correções via rádio a cada 1 s. A base estava localizada a 8 km da área selecionada. A coleta de dados foi realizada a cada 0,50 m ou 2 s, priorizando sempre o menor intervalo. O datum configurado em todos os receptores foi o WGS-84.

A referência dos trajetos paralelos foi demarcada através de dois pontos denominados A-B formando uma linha, criada pelo GPS RTK, a partir da qual o piloto automático direcionava o trator sempre em trajetos paralelos. A linha A-B, de referência, marcada no primeiro dia dos ensaios, foi utilizada em todas as simulações realizadas no talhão. O total de percursos paralelos foi de 13 passadas em cada dia, com comprimento individual de 1150 m. No primeiro dia com o início do ensaio as 12:35 h, a frequência de coleta dos receptores V e CX, foi de um ponto a cada 10 s e no segundo dia, de um ponto a cada 5 s tendo início 9:52 h. Devido a problemas com o trator, o ensaio de frequências de coletas não pode seguir o que Monico (2007) e Souza et al (2005) falam sobre o adiantamento de 4 minutos do ensaio no dia seguinte para se ter a mesma posição dos satélites.

Os cálculos dos erros perpendiculares aos trajetos do trator foram obtidos por meio de uma planilha eletrônica desenvolvida por Povh et al. (2007). A planilha para a mensuração dos erros foi desenvolvida no programa Microsoft Excel® e a rotina de

programação foi feita em Visual Basic[®] na forma de macros. A lógica do processo é apresentada na Figura 10.

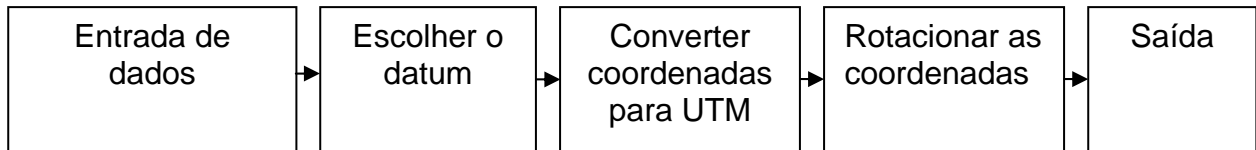


Figura 10 - Fluxograma das etapas de trabalho da planilha

A entrada de dados consiste em fornecer a largura de trabalho da operação agrícola realizada, as coordenadas geográficas dos pontos A e B, e as coordenadas coletadas durante a operação, onde todos esses dados são gerados pelo receptor GPS RTK. Essas coordenadas são inseridas na planilha em formato de graus decimais, formato geralmente exportado pelos receptores GPS de mercado. Os pontos A e B do sistema de orientação e do receptor GPS RTK devem ser gerados em campo ao mesmo tempo. O segundo passo é escolher o datum em que foram coletados os dados. Em seguida as coordenadas são transformadas em coordenadas planas UTM de acordo com as equações da “Defense Mapping Agency” (DMA, 1989). Esta transformação é necessária para se obter os valores de coordenadas em metros e facilitar o cálculo dos erros. A partir das coordenadas dos pontos A e B, também transformados para UTM, calcula-se o ângulo de inclinação do conjunto de dados em relação a uma linha de referência vertical. Como pode ser observado nas Figuras 11a e 11b, existem duas formas dos dados se apresentarem quando inseridos em um Sistema de Informações Geográficas - SIG. Independente da maneira em que os dados se apresentam, a planilha calcula o ângulo α pela Equação 7.

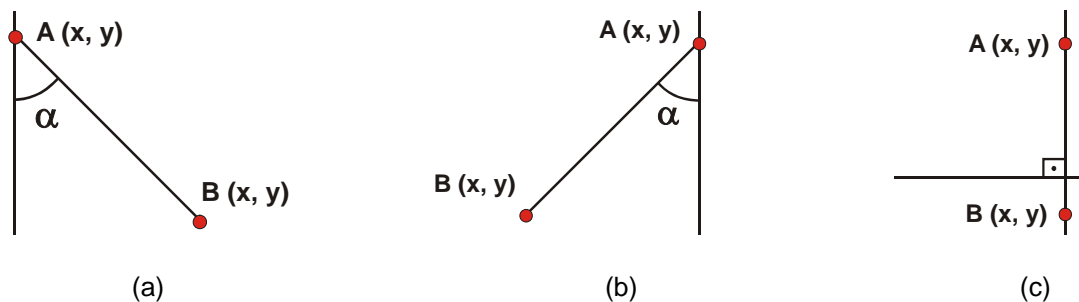


Figura 11 - Ângulo de inclinação do lado direito da linha de referência (a) ângulo de inclinação lado esquerdo (b) ângulo reto (c)

$$\alpha = 90 - \left[\operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{|y_A - y_B|}{|x_A - x_B|} \right) \right] \quad (7)$$

Onde,

tg^{-1} = tangente inversa;

y_A = coordenadas y do ponto A em UTM;

y_B = coordenadas y do ponto B em UTM;

x_A = coordenadas x do ponto A em UTM;

x_B = coordenadas x do ponto B em UTM.

Como as diferenças entre as coordenadas dos pontos estão em módulo na fórmula, não importando a posição dos pontos A e B no campo, podem estar como apresentadas na Figura 11 ou invertidas. A partir dessa inclinação aplicam-se as equações 8 a 11 para rotacionar as coordenadas de modo que as coordenadas X dos pontos A e B se tornem a mesma, ou seja, a linha AB passa a estar perfeitamente na vertical (Figura 11c). As mesmas equações são aplicadas a todos os pontos coletados em campo.

$$x = x_{UTM} \cdot \cos \alpha + y_{UTM} \cdot \operatorname{sen} \alpha \quad (8)$$

$$y = -x_{UTM} \cdot \operatorname{sen} \alpha + y_{UTM} \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

$$x = -x_{UTM} \cdot \cos \alpha + y_{UTM} \cdot \operatorname{sen} \alpha \quad (10)$$

$$y = x_{UTM} \cdot \operatorname{sen} \alpha + y_{UTM} \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

Onde,

x = coordenadas do eixo x rotacionadas;

y = coordenadas do eixo y rotacionadas;

x_{UTM} = coordenadas do eixo x em UTM;

y_{UTM} = coordenadas do eixo y em UTM;

α = ângulo de inclinação dos dados.

Depois que a linha de referência AB é disposta na vertical, são criadas linhas de referência paralelas à linha AB, espaçadas com base na largura de trabalho especificada na configuração de entrada dos dados. A posição das linhas de referência será de acordo com as coordenadas dos dados, ou seja, se estão à esquerda ou à direita da linha AB (Figura 12). Os erros à esquerda da linha A-B são mostrados numericamente por valores negativos e os erros à direita por valores positivos.

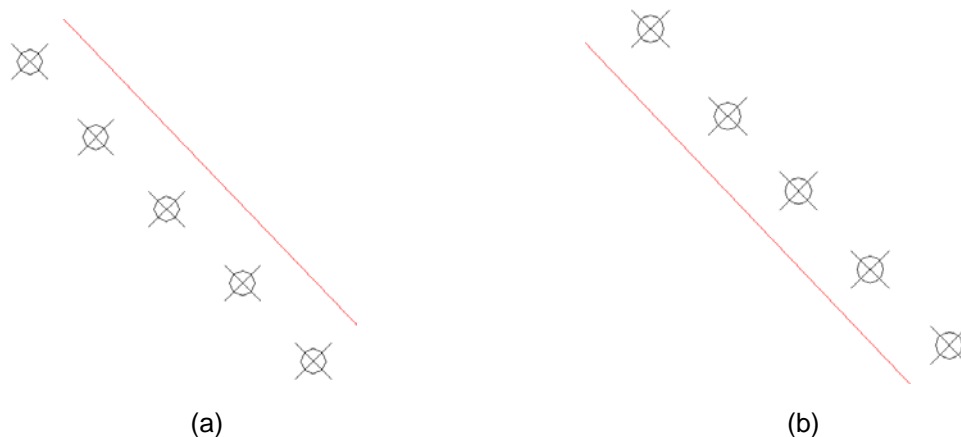


Figura 12 - Valores negativos a esquerda da linha (a), valores positivos a direita da linha

Os cálculos dos erros de acurácia e precisão foram obtidos de acordo com os trabalhos realizados por Buick et al. (2002); Ehsani et al. (2003); Weltzien et al. (2003); Stombaugh et al. (2005).

3.3 Avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática

O trabalho consistiu de três etapas: 1) construção do veículo de ensaios cinemáticos; 2) ajustes e testes dos equipamentos e instrumentação; 3) ensaio cinemático. Para realização dos ensaios com receptores GPS foi escolhido um veículo que tivesse a possibilidade de variar a velocidade e manter-se estável em uma mesma trajetória e trafegasse sobre um gramado. O veículo utilizado foi um mini-tractor que estava sem uso no Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

Adaptou-se um pivô com um eixo girando em torno de um tubo de aço, amarrando uma ponta de uma corda no mini-tractor e outra ponta no pivô (Figura 13a). Para manter o trator girando em torno do pivô, foi amarrada uma corda no volante e

esterçada a roda no sentido oposto à tração da corda. Com isso o veículo percorria movimentos circulares, sem sair da trajetória. A partir daí iniciou-se a construção de uma plataforma instrumentada sobre o veículo, para realização dos ensaios.



Figura 13 - Mini-tractor fazendo o percurso circular (a) repetição da trajetória no mesmo local

Alguns itens foram sendo adicionados, como barra de fixação para travamento da direção no sentido contrário ao da tração da corda, plataforma de madeira para fixação dos equipamentos ensaiados, construção de uma base de concreto para fixação do pivô, troca do eixo rodando sobre o cano por um eixo preso a um rolamento, diminuído assim o atrito e substituição da corda que segurava o mini-tractor por um cabo de aço.

Depois dos acertos para o funcionamento da estrutura, foram feitos alguns testes com receptores GPS. Foi verificado que o sistema necessitava de uma bateria para acionamento dos receptores, sendo então adaptado um alternador para carregamento da bateria.

Para realizar os ensaios de GPS em modo cinemático era necessário algum sensor que medisse distância. Utilizou-se então um detector óptico de pulsos, (encoder incremental Hohner[®]) com rotação máxima de trabalho de 6000 rpm e 240 pulsos por giro, com resolução de 0,005 m. Foi montada uma estrutura pantográfica com uma roda de bicicleta, tipo roda odométrica, para o acionamento do encoder (Figura 14).



Figura 14 - Encoder e a roda de acionamento (roda odométrica)

Para testar o funcionamento do encoder foi demarcado o espaço de 50 m a ser percorrido pelo mini-tractor, entre duas balizas posicionadas no início e no final do percurso (Figura 15). O trator estava equipado com um sensor fotoelétrico de feixe duplo com alinhamento a laser, modelo DT - 30, marca DTECH[®], com velocidade de disparo de 50 ms; durante os testes foi trocado por uma sensor fotoelétrico de tempo de resposta menor (Figura 16a). Ao passar pela primeira baliza o dispositivo era acionado por meio de um relé que disparava contagem dos pulsos, feita por um cronodômetro desenvolvido no Laboratório de Eletrônica e Instrumentação, do Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP; ao passar pela segunda baliza o dispositivo era desacionado. Utilizou-se de cinco repetições em cada velocidade ($0,33 \text{ m.s}^{-1}$; $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,61 \text{ m.s}^{-1}$).

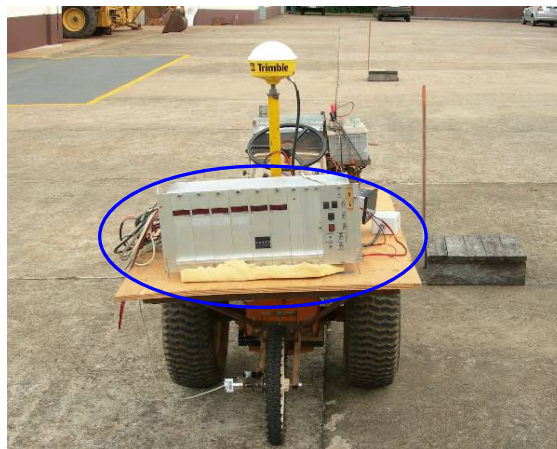


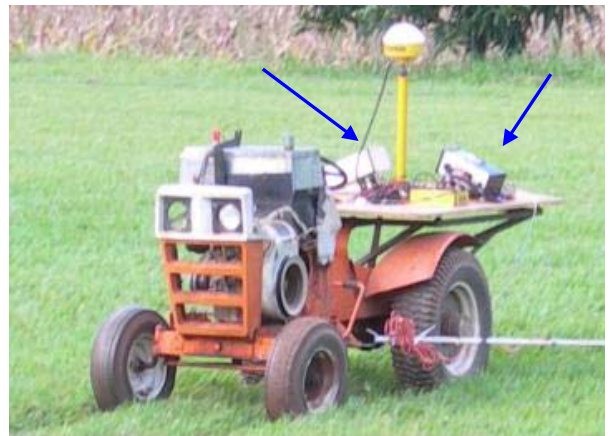
Figura 15 - Cronodômetro e as balizas do local de realização dos testes preliminares

Para coleta de dados foi utilizado um Coletor de Dados Agrícola - CDA (Enalta[®]), adaptado para essa aplicação e responsável por armazenar as informações do GPS, coletando dados de velocidade, latitude, longitude, altitude, tempo, número de satélites, satélites ativos. Este permite obter informações sobre o sinal do encoder, contando o número de pulsos a cada atualização da mensagem do GPS, com a seqüência do arquivo “National Marine Electronics Association” – NMEA, em formato GGA, VTG ou GSA.

Devido à enorme quantidade de dados, em curto espaço de tempo de coleta e para não correr risco de perda de dados, foram adaptados dois coletores (Figura 16b) executando diferentes funções. Um executa a contagem dos pulsos do encoder e voltas e outro foi utilizado para gravação dos dados. Os coletores recebem as informações do GPS através de um cabo (sniffer) que faz a comunicação entre as duas unidades coletoras adaptadas.



(a)



(b)

Figura 16 - Sensor fotoelétrico BA2M-DDT Autonics (a) coletores sobre a plataforma instrumentada(b)

Após os testes de funcionamento do encoder e dos coletores e dos demais itens de instrumentação, iniciaram-se os ensaios que foram realizados num gramado do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP (22°42'48”S e 47°37'42”W) (Figura 17). Foi utilizado um mini-tractor com motor de ciclo Otto de dois tempos, de 2,57 kW de potência, movido à gasolina, com rotação máxima de 3500 rpm, com transmissão mecânica de 6 marchas. Os instrumentos usados para o ensaio foram um sensor

fotoelétrico modelo BA2M-DDT-P (PNP) marca Autonics® com tempo de resposta de 1 ms, um detector óptico de pulsos, um receptor de GPS (Trimble AG 132), uma baliza topográfica e os dois coletores.



Figura 17 - Localização do círculo descrito pelo veículo de ensaio

O local de realização dos ensaios é de topografia plana com cobertura de grama batatais e com algumas árvores próximas. Foi feito um levantamento para medição da altura média e distância das árvores e construções, com uma estação total marca Pentax®, modelo R100 (Figura 20a), para estabelecer o ângulo de obstrução do local de ensaios. Na Tabela 2 tem-se uma descrição detalhada do ângulo de obstrução e distâncias em todas as direções.

Tabela 2 - Descrição dos pontos de obstrução do percurso do veículo nos ensaios cinemáticos

Direção	Ângulo de obstrução (Graus)	Distância dos obstáculos (m)	Altura dos obstáculos (m)
Norte	12	58,24	15,00
Sul	24	70,00	30,84
Leste	28	8,62	3,70
Oeste	16	32,46	8,47

Para o cálculo do erro de trajeto foi estabelecido um marco de referência no centro do percurso (sobre o pivô de giro do mini-tractor), com um receptor L1/L2 Hiper GGD Topcon®, geodésico, coletando dados pelo método de posicionamento estático, com uma máscara de elevação de 15°, durante 1:30 h, com um intervalo amostral de 15 s e pós-processados para determinação das coordenadas. As estações utilizadas foram: Cachoeira Paulista, Cananéia, Ubatuba, Curitiba (UFPR), Presidente Prudente (UNESP) e Varginha. A coordenada de referência tem como função dar referência para o cálculo dos erros. Para o transporte das coordenadas de referência foi construída uma planilha no software Microsoft Excel®. Os dados, com coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) foram transformados para UTM. As coordenadas eram passadas para a planilha eletrônica juntamente com os pulsos contados em cada coordenada, com os dados do perímetro da roda que acionava o encoder, os pulsos por volta da roda e o raio do percurso. A partir desses dados foram determinadas as distâncias percorridas e calculou-se o Erro de Trajeto - ET (Equação 20), que expressa o erro exato (acurácia) em relação a referência em modo cinemático. O procedimento de cálculo do Erro de Trajeto é demonstrado nas Equações 12 a 20.

$$D = \frac{Pr \cdot Np}{240} \quad (12)$$

Em que:

D = distância (m)

Pr = Perímetro da roda (m)

Np = número de pulsos do encoder

$$\alpha = \frac{D}{R} \quad (13)$$

Em que:

α = Ângulo (rad)

R = Raio (m)

$$PN = \sin(\alpha) \cdot R \quad (14)$$

$$PE = \cos(\alpha) \cdot R \quad (15)$$

Em que:

PN = Posição norte (m)

PE = Posição leste (m)

$$PRN = PN + CRN \quad (16)$$

$$PRE = PE + CRE \quad (17)$$

Em que:

PRN = Posição de referência norte (m);

PRE = Posição de referência leste (m);

CRN = Coordenada de referência norte (m);

CRN = Coordenada de referência leste (m).

$$EN = PRN - CGPSN \quad (18)$$

$$EE = PRE - CGPSE \quad (19)$$

Em que:

EN = Erro na coordenada norte (m);

EE = Erro na coordenada leste (m);

CGPSN = coordenada do GPS ensaiado norte (m);

CGPSE = coordenada do GPS ensaiado leste (m).

$$ET = \sqrt{(EN^2 + EE^2)} \quad (20)$$

Em que:

ET = Erro de trajeto

A Figura 18 demonstra como é obtido o erro de trajeto, e erros nas coordenadas N e E.

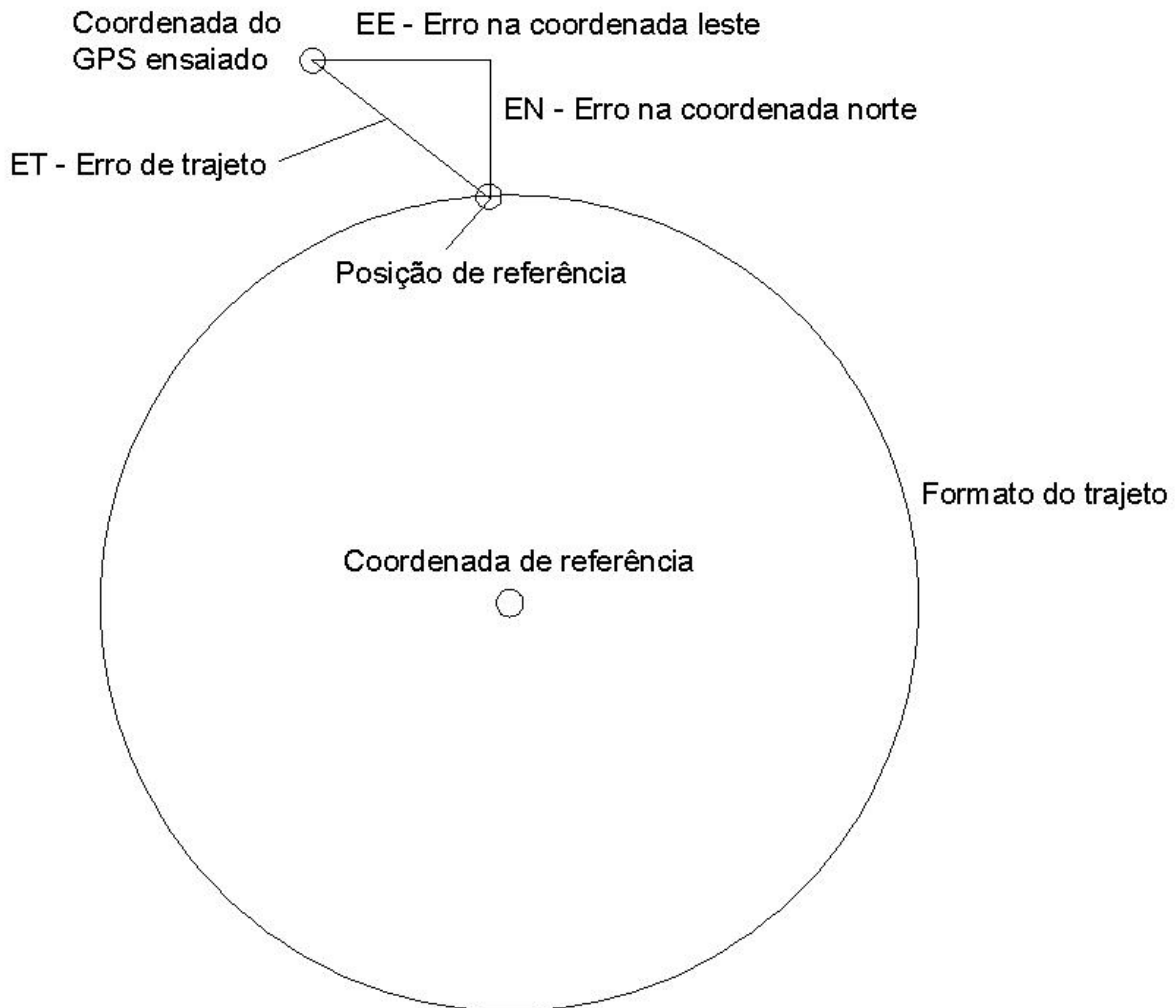


Figura 18 - Croqui para obtenção dos erros de trajeto e de coordenadas N e E

Os cálculos dos erros de acurácia e precisão foram obtidos de acordo com os trabalhos realizados por Buick et al. (2002); Ehsani et al. (2003); Weltzien et al. (2003); Stombaugh et al. (2005) utilizando as equações 2 a 6.

Para contagem das voltas e a referência inicial para o cálculo dos erros foi demarcado um ponto de referência para instalação da baliza topográfica (Figura 20b) onde o sensor fotoelétrico passa, inicia uma nova volta. Para determinar esse ponto foi utilizada a mesma Estação Total citada na página 47 (Figura 20a) e o programa AutoCAD®. No gramado já estavam demarcados os pontos 1 e 2 (Figura 19), a partir de um receptor L1/L2. Com as coordenadas em UTM, os dados foram passados para o programa AutoCAD e com as ferramentas disponíveis neste foi possível medir a distância do ponto 1 ao ponto 3 e adicionar 14,96 m que é o raio do percurso no sentido

leste, da coordenada E do ponto 1. Depois de estabelecida uma reta ligando o ponto 1 ao ponto 2 foi medido o ângulo entre o ponto 3 e a reta ligando o ponto 1 no ponto 2, encontrado o ângulo de $109^{\circ} 27' 20''$. O passo seguinte foi ir até o ponto 1, estacionar a Estação Total e visar ré no ponto 2 e girar a Estação Total no sentido anti-horário até chegar no ângulo de $109^{\circ} 27' 20''$ e marcar o ponto 3 (Figura 19).

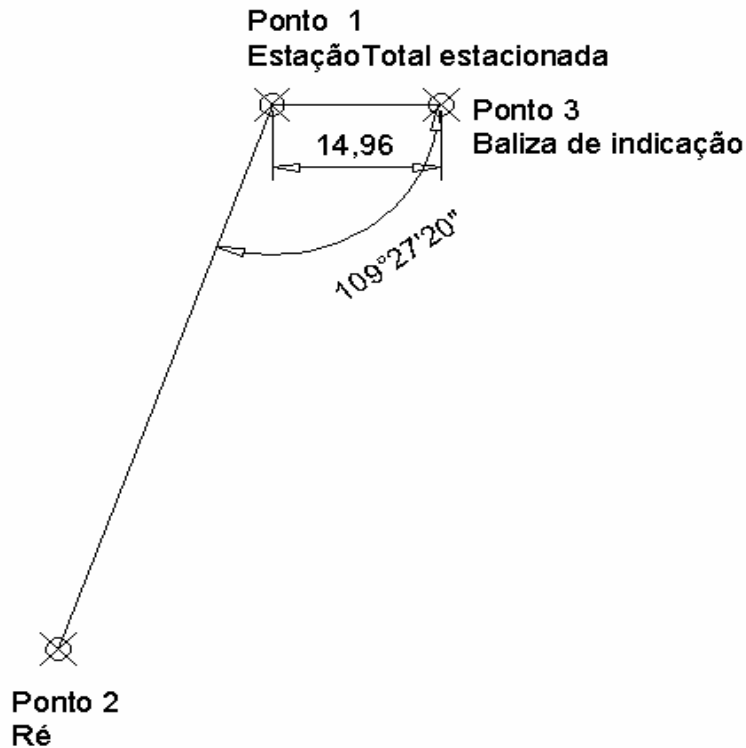


Figura 19 - Croqui do procedimento para marcação do ponto 3, local da fixação da baliza topográfica



(a)



(b)

Figura 20 - Estação total estacionada no ponto 1 (a) baliza topográfica localizada no ponto 3 (b)

Para verificação de que o veículo não estava saindo da trajetória foram colocados quatro piquetes de madeira (Figura 21), um em cada direção (norte, sul, leste e oeste), com distância de 14,86 m a partir do pivô, com o uso da mesma Estação Total. Depois de colocados os piquetes, a cada dia, antes do início dos ensaios, era verificado se os piquetes ou o cabo de aço não haviam sofrido alteração de posição.

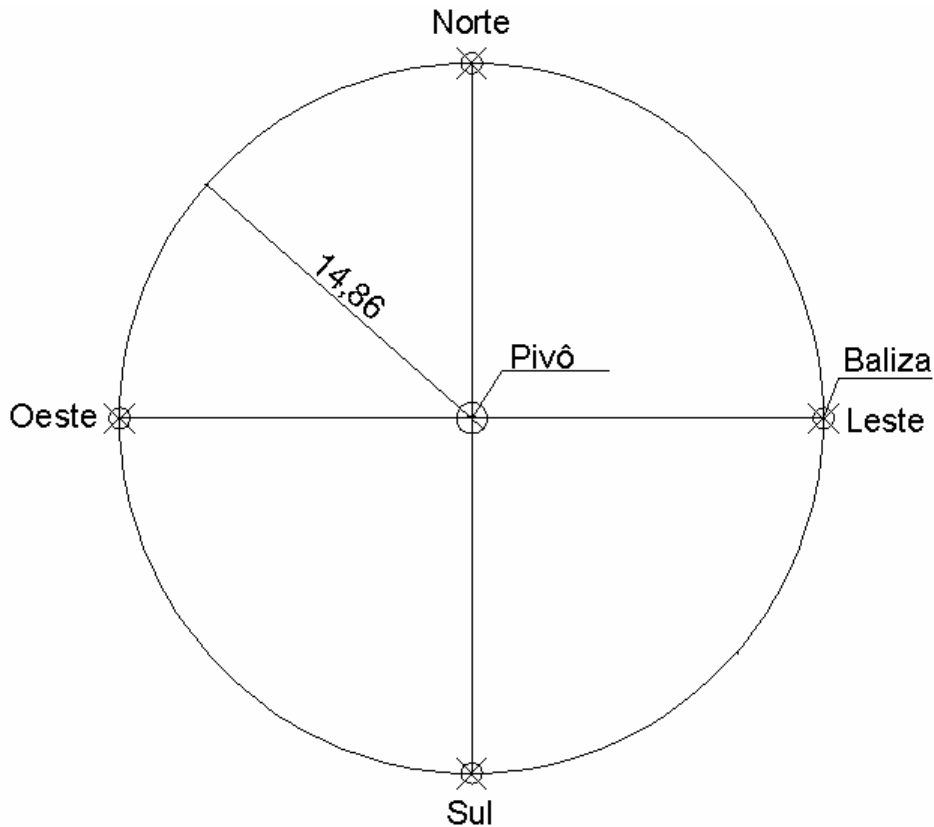


Figura 21 - Localização dos piquetes e baliza topográfica

Segundo Souza et al. (2005), na coleta de dados em dias consecutivos os efeitos dos mesmos tratamentos devem apresentar o mesmo padrão, quando a geometria do levantamento permanece inalterada.

Considerou-se que o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais, a posição dos satélites se repete a cada dia, 4 minutos antes que a do dia anterior (MONICO, 2007). A partir dessas afirmações e visando testar o conjunto da instrumentação, o procedimento de transformação dos dados e o método de cálculo dos erros, foi realizada uma série de percursos arranjados dia a dia, adiantando seu

início em 4 minutos em relação ao dia anterior, de forma que fosse permitido que esses ocorressem em dias consecutivos, embora nesse caso não tenha sido realizado um ensaio com rigor de delineamento estatístico com repetições.

Foram realizados três ensaios: o primeiro ensaio a variável analisada foi a variação da velocidade de avanço do veículo com a configuração do filtro do receptor GPS em intensidade normal de filtragem (Tabela 3), o segundo ensaio a variável analisada foi a variação da velocidade de avanço do veículo com o filtro do receptor GPS desativado (Tabela 4) e o terceiro ensaio a variável analisada foi o sentido de rotação do veículo, horário e anti-horário com o filtro do receptor GPS ativado em intensidade normal (Tabela 5). Segundo Segantine (2005) o princípio destes filtros é usar conceitos estatísticos para comparar uma medida atual com uma medida que foi previamente estimada. Durante os cálculos é realizada uma comparação estatística, entre os valores novos calculados e os previamente estimados. Com essa comparação, é possível eliminar dados discrepantes (SEGANTINE, 2005). Há receptores com a opção de configuração de várias intensidades de filtragem e aumentando a intensidade, aumenta-se a precisão (BUICK, 2002). A Tabela 3 descreve a seqüência de como foi realizado o ensaio, comparando os dados do dia 09.05 com 10.05.

Tabela 3 -.Descrição do ensaio tendo a velocidade de avanço do veículo como variável e receptor GPS com filtro ativado em intensidade normal

Datas	Horários	Velocidades (m.s ⁻¹)
*09.05 - 10.05	*07:20 -07:16	*0,38 - 1,26
09.05 - 10.05	09:10 - 09:06	1,18 -1,63
09.05 - 10.05	16:30 - 16:26	1,57 - 0,30

*Seqüência.

Na Tabela 4 o ensaio do dia 11 é comparado com o do dia 12; a variável analisada é a velocidade, porém agora com filtro desativado.

Tabela 4 - Descrição do ensaio com a velocidade de avanço do veículo como variável e tendo o filtro do receptor desligado

Datas	Horários	Velocidades (m.s ⁻¹)
*11.05 - 12.05	*15:08 - 15:04	*0,40 - 1,14
11.05 - 12.05	15:37 - 15:33	1,07 - 1,40
11.05 - 12.05	16:31 - 16:27	1,55 - 0,40

*Seqüência.

A Tabela 5 descreve a execução do ensaio cuja, variável analisada é o sentido de rotação, sendo sentido-horário (SH) e sentido anti-horário (AH). No dia 13.05 foram feitos os ensaios no sentido-horário e no dia 14.05 sentido anti-horário. A velocidade de comparação de um dia com outro foram semelhantes. O receptor estava em configuração com filtro de intensidade normal.

Tabela 5 - Descrição do ensaio cujo sentido de rotação é a variável, com o filtro do receptor GPS ativado em intensidade normal

Datas	Horários	Velocidade (m.s ⁻¹)	Tratamentos
*13.05 - 14.05	*17:06 - 17:02	*0,39 - 0,37	*S H - S A
13.05 - 14.05	18:40 - 18:36	1,09 - 1,24	S H - S A
13.05 - 14.05	19:17 - 19:13	1,46 - 1,63	S H - S A

*Seqüência.

Antes de iniciar os ensaios, os coletores de dados e o receptor de GPS eram ligados, ficavam assim por 5 minutos e então se dava partida ao veículo, dando três voltas; depois iniciava-se a coleta de dados por um tempo de 25 minutos. Dos 25 minutos de coleta de dados eliminavam-se os 5 minutos iniciais e os 5 minutos finais, aproveitando 15 minutos de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios estáticos de receptores de GPS avaliando o desempenho e o funcionamento das configurações e correções diferenciais

A Figura 22 mostra a variação média do PDOP e do número de satélites do dia 15.04.2008 a 20.04.2008 a partir da estação base GPS que utiliza um receptor Trimble® ProXR L1/CA com uma taxa de coleta de 5s, gerando arquivos de hora em hora nos formatos RINEX e SSF. Localizada no campus ESALQ/USP de coordenadas 22° 42' 37.8505"S e 047° 38' 06.2757"W instalada no centro de informática do campus Luiz de Queiroz - CIAGRI. O programa utilizado para gerar o PDOP e o número de satélites foi o GPS Pathfinder Office 3.10 marca Trimble®, usando arquivos no formato SSF foi feita uma média entre os cinco dias de ensaio.

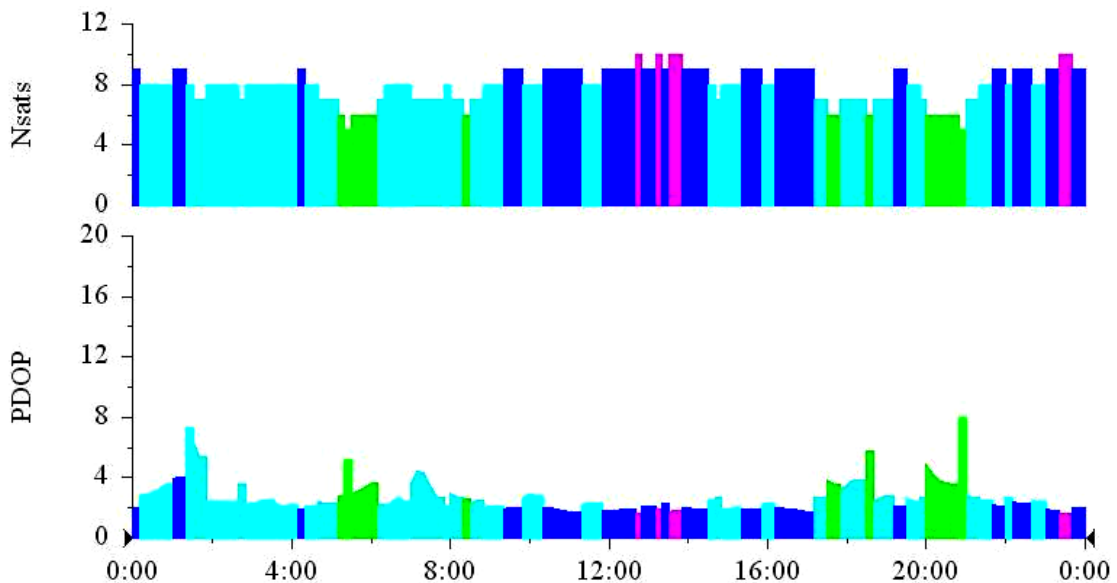


Figura 22 - Variação média do PDOP e do número de satélites do dia 15.04.2008 a 20.04.2008

Os receptores L, V e CX quando sintonizam a correção diferencial WAAS ou EGNOS, indicam nas colunas de intensidade de sinal dos canais a letra “D” mostrada na Figura 24. As correções diferenciais WAAS e EGNOS estarão ativadas somente se o número do canal em que a letra “D” aparecer for maior que 33. O número que aparece

abaixo da letra “D” somado com a constante 87 resulta no número do PRN, que indica qual o satélite geoestacionário utilizado (YEAZEL, 2008).

Tabela 6 - Satélites geoestacionários que utilizam do sistema WAAS e EGNOS

Nome do satélite geoestacionário	Correção diferencial	Número do canal	PRN
Telesat	WAAS	51	138
Intelsat	WAAS	48	135
AOR-E	EGNOS	33	120
Artemis	EGNOS	37	124

Fonte: (FAA, 2008; DIFFERENTIAL GPS..., 2006).

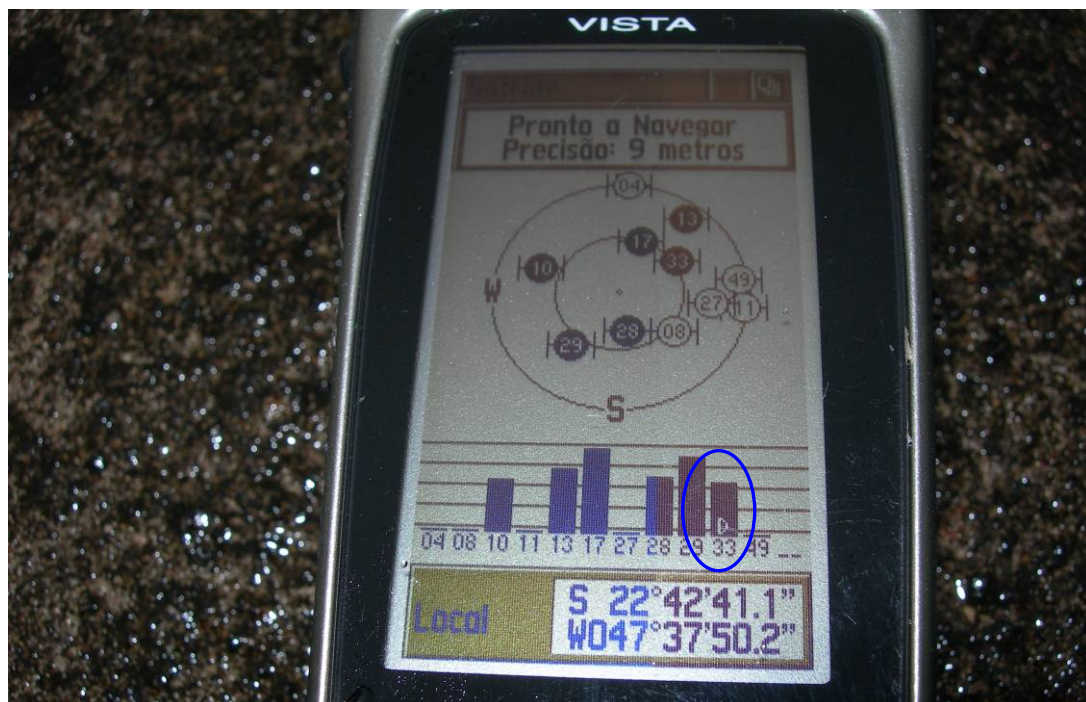


Figura 23 - Receptor Garmin com ativação do sistema EGNOS, com a letra D na coluna de indicação da qualidade de sinal do canal 33, neste caso indicando que está recebendo o sinal do satélite AOR-E de PRN - 120

Para visualização do comportamento dos dados obtidos nos ensaios, foram elaborados gráficos com eixos nos sentidos norte e leste, mostrando o marco de referência, a coordenada média e dispersão dos dados, apresentados no Anexo 1 a 9, com os gráficos de dispersão de pontos de todos os receptores de GPS ensaiados

apresentados separadamente. A Figura 23 mostra a dispersão de todos os receptores juntos. As coordenadas em UTM foram deduzidas de X m no sentido L-O e Y m no sentido N-S, para obter coordenadas com valores numéricos menores. Para se converter essas coordenadas para seus valores originais basta somar 229758 no eixo X e 7485999 e no eixo y.

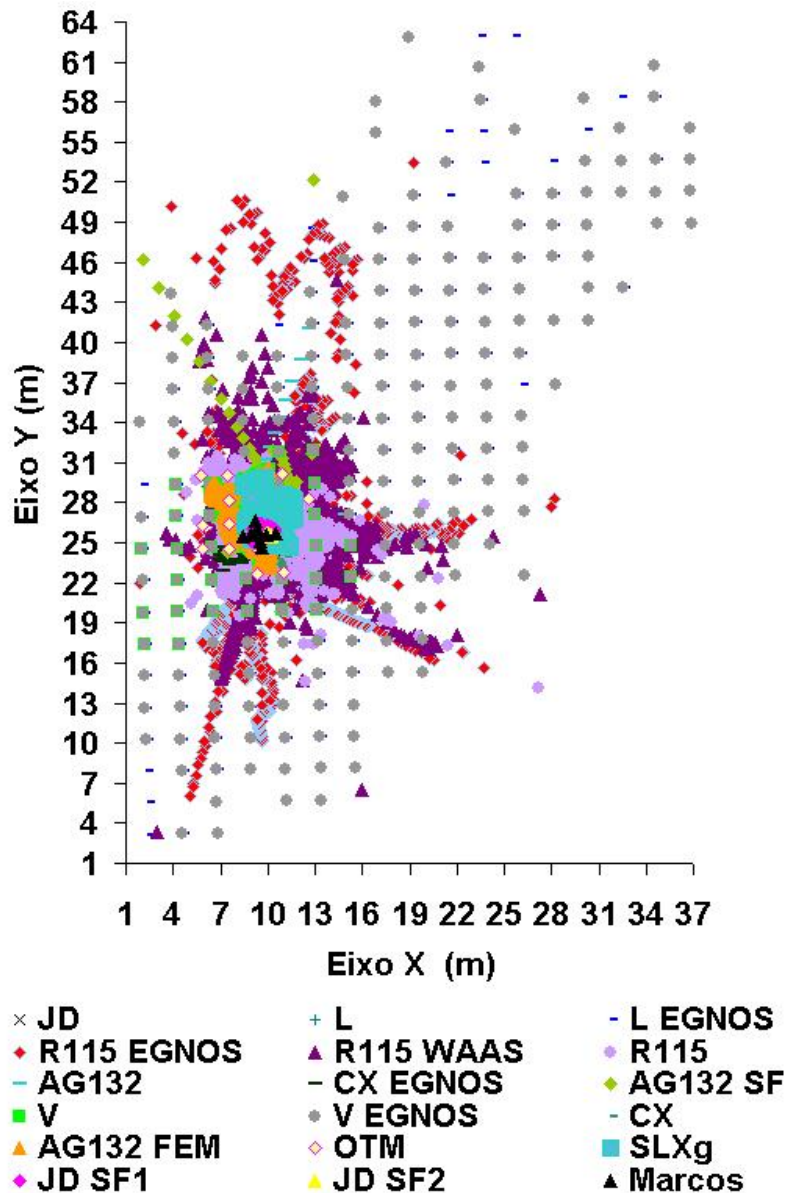


Figura 24 - Dispersão dos dados de todos os receptores ensaiados em relação aos marcos de referência

O receptor L e V com correção EGNOS apresentaram a maior dispersão de dados em relação aos demais receptores. O receptor V teve a distribuição de dados semelhantes ao do L, enquanto o receptor CX resultou em uma distribuição de posições

mais concentrada. Visualmente a distribuição dos dados, tanto com correção diferencial EGNOS, quanto sem, resultaram em dados sem espalhamento expressivo.

A correção diferencial EGNOS ativada no receptor R115 e WAAS apresentou uma maior dispersão de dados em relação ao receptor sem correção diferencial. O receptor OTM apresentou erros pontuais, sempre no mesmo local, da mesma forma que os receptores V e L sem correção diferencial EGNOS. Isso se deve ao número limitado de casas decimais, dando a falsa impressão de serem dados com baixa variabilidade devido a posicionamento aproximado e agrupado (BUICK, 2002).

O receptor JD com a correção diferencial SF1 e com a correção SF2 apresentou dados com alta concentração no marco de referência em comparação com os dados sem correção diferencial.

Nos gráficos dos Anexos 10 ao 26 são mostradas as distribuições dos dados interpolados com o programa Surfer[®] utilizando o interpolador vizinho mais próximo. Construindo os gráficos em três dimensões para todos os receptores GPS utilizados nos ensaios. Esses gráficos demonstram quantas vezes é repetida a mesma coordenada (sobreposição de pontos). Os receptores OTM, V e L obtiveram 1180, 1255 e 869 pontos sobrepostos tendo-se o formato de concentração semelhantes em forma de degrau em relação aos demais receptores, isso é devido ao número limitado de casas decimais das coordenadas (Anexos 19, 12 e 10). As correções diferenciais SF1 e SF2 usadas no receptor JD tiveram uma grande sobreposição de pontos em relação aos demais receptores mostrando grande concentração de pontos em um mesmo local (Anexos 24 a 26). A SF2 mostrou grande diferença na forma de concentração dos dados com 257 pontos sobrepostos e alta resolução em relação a SF1 com 15 pontos sobrepostos. Já o receptor R115 (Anexos 16 a 18) não apresentou diferença na concentração de dados com e sem correção diferencial, tendo dados bem dispersos com baixa sobreposição com o máximo de 4 pontos sobrepostos sendo baixa em relação aos demais receptores.

Nos Anexos 27 ao 43 são apresentados os gráficos que mostram a variação média temporal dos erros de altura, erro circular padrão e erro de acurácia, ao longo do período de coleta de dados, de 20 h.

Os receptores que utilizaram as correções diferenciais EGNOS e WAAS demonstraram maior variação nos erros circular padrão, de altura e de acurácia. Os receptores que operaram com as correções diferenciais SF1 e SF2 apresentaram uma menor variação dos erros. Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os erros de acurácia e precisão.

Tabela 7 - Síntese dos erros de acurácia e precisão de todos receptores ensaiados de forma estática

Receptor	Correção diferencial	EP (m)	RMS (m)	1σ (m)	2σ (m)	Erros				CEP (m)
						E (m)	N (m)	σ E (m)	σ N (m)	
L	Não	2,11	2,49	1,02	2,04	1,11	1,52	1,07	0,89	1,55
L	EGNOS	7,27	10,46	7,51	15,03	4,22	5,43	4,69	6,34	5,69
V	Não	2,76	3,11	1,44	2,88	1,80	1,86	1,16	1,29	1,45
V	EGNOS	6,90	10,04	7,29	14,59	3,71	5,21	4,83	6,05	6,42
CX	Não	0,85	1,02	0,56	1,13	0,41	0,62	0,31	0,62	0,55
CX	EGNOS	0,81	1,02	0,61	1,23	0,43	0,58	0,36	0,63	0,59
R115	Não	2,02	2,39	1,27	2,55	1,23	1,37	1,01	1,12	1,26
R115	EGNOS	3,66	5,15	3,62	7,24	1,78	2,70	1,73	3,62	3,15
R115	WAAS	2,85	3,56	2,12	4,42	1,53	2,04	1,42	2,03	2,03
OTM	Não	1,62	1,92	1,03	2,06	0,83	1,10	0,91	0,97	1,11
AG132	Não	1,34	1,80	1,20	2,40	0,54	1,13	0,37	1,23	0,95
AG132-SF	Não	1,15	1,77	1,34	2,68	0,73	0,73	0,67	1,28	1,14
AG132-FEM	Não	1,24	1,70	1,16	2,32	0,66	0,90	0,62	1,13	1,03
SLXg	Não	1,68	1,55	0,65	1,30	0,83	1,04	0,67	0,79	0,85
JD	Não	1,83	2,19	1,20	2,40	0,80	1,46	0,67	1,26	1,13
JD	SF1	0,51	0,57	0,25	0,51	0,39	0,28	0,26	0,18	0,39
JD	SF2	0,14	0,15	0,04	0,08	0,07	0,10	0,06	0,04	0,06

Os erros de RMS, indicativo de acurácia, variaram de 0,15 m a 10,76 m e 1σ , indicativo precisão, variaram de 0,04 m a 7,51 m, mostrando que o maior erro de RMS e 1σ foi observado com o receptor L com EGNOS ativado. Os menores erros, tanto de acurácia como de precisão, foram do receptor JD com SF2.

O receptor CX que utiliza código C/A demonstrou desempenho surpreendente em relação aos receptores que utilizam portadora L1 com código C/A, resultando em erros de acurácia e precisão menores que todos os receptores L1/CA sem uso de correções diferenciais.

Da Silveira (2004) encontrou erros de acurácia variando de 1,80 m a 3,70 m e erros de precisão de 1,08 m a 2,11 m, usando aparelhos semelhantes aos usados nos

ensaios. Para Stombaugh et al. (2002) em ensaio estático de receptores GPS, os erros de RMS variaram de 0,99 m a 3,49 m.

Todos os receptores sintonizados com as correções diferenciais WAAS e EGNOS, exceto o receptor CX, apresentaram aumento nos valores de EP e RMS que são indicativos de acurácia, em relação à configuração padrão dos mesmos receptores. Já os indicativos de precisão 1σ , 2σ , CEP de todos os receptores com as correções WAAS e EGNOS tiveram aumento nos erros. Segundo Machado et al. (2007a), os ensaios estáticos de receptores GPS, realizados na região de Piracicaba - SP, mostram que os erros de acurácia e precisão com a sintonização do sistema EGNOS foram superiores aos erros sem correção diferencial. E que os sinais diferenciais EGNOS e WAAS se mostraram pouco confiáveis e não recomendáveis para a região, pela dificuldade de sintonia e recepção. De acordo com SULLIVAN et al.(2001), em avaliação de vários receptores de GPS usados em agricultura, alguns deles sintonizados com sistema WAAS, em um ensaio de longa duração, resultaram em erros de RMS inferiores 1,00 m. O trabalho foi conduzido nos Estados Unidos, onde o sistema WAAS efetivamente está disponível. A hipótese para esse aumento dos erros com a ativação do sistema WAAS e EGNOS é de que no Brasil não há estações terrestres desses sistemas.

O uso das correções diferenciais SF1 e SF2 proporcionaram diminuição em todos os erros de precisão e de acurácia em relação aos demais receptores. Segundo Da Silveira (2004), em ensaio estático com vários receptores, as correções diferenciais permitiram aumento significativo no desempenho dos receptores analisados em relação aos aparelhos sem correção diferencial.

O aumento na intensidade de filtragem do receptor AG132 - FEM teve diminuição dos erros de precisão 1σ , 2σ e RMS de acurácia. Os erros de acurácia EP e CEP de precisão mostraram não seguir tendência quanto ao aumento da intensidade de filtragem. Segundo Stombaugh et al. (2003), testando o uso de filtro em ensaio estático de receptor GPS, encontraram erros de RMS de 0,99 m e sem filtro de RMS de 1,06 m, obtendo o menor erro em receptor com ativação de filtro.

Os erros de sentido norte foram maiores na maioria dos receptores; somente o receptor JD com correção SF1 apresentou erros no sentido leste - oeste maiores que no sentido norte - sul e o receptor AG132 - SF apresentou erros iguais nos dois sentidos. O desvio

padrão foi maior na direção leste - oeste somente nos receptores L sem correção e JD com SF1 e JD com SF2. No restante dos aparelhos o desvio padrão na direção norte - sul foi maior que a direção leste - oeste.

Ayers et al. (2004) encontraram erros médios e desvio padrão dos erros de receptores GPS, maiores na direção norte - sul que na direção leste - oeste. A explicação de esses erros serem maiores no sentido norte - sul pode estar, como mostram alguns trabalhos, no fato de que há diferença significativa entre EDOP que é o DOP da direção E e NDOP, que é o DOP da direção N, principalmente em regiões de média latitude (WU et al., 2006; BUICK, 2004). Os erros de altitude e a descrição estatística são descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Desempenho dos receptores na determinação da altitude geométrica ou elipsoidal, no ensaio estático

Receptores	Correção diferencial	Erros			1 σ (m)	2 σ (m)	CV (%)
		mínimo	médio	máximo			
L	Não	-4,71	3,64	7,10	4,90	9,80	0,87
L	(EGNOS)	0,96	6,09	16,57	4,35	8,70	0,71
V	Não	-6,96	4,62	14,08	4,90	9,80	0,87
V	(EGNOS)	-3,71	6,55	12,37	4,02	8,04	0,71
CX	Não	-4,60	4,11	9,78	3,39	6,78	0,60
CX	(EGNOS)	1,46	5,07	10,30	2,19	4,38	0,38
R115	Não	-1,51	4,30	14,71	4,93	9,86	0,87
R115	(EGNOS)	-24,61	5,65	15,02	9,85	19,70	1,75
R115	(WAAS)	-16,28	5,76	13,81	6,75	13,50	1,19
OTM	Não	1,43	4,68	9,03	2,20	4,40	0,39
AG 132	Não	1,69	4,11	6,15	2,60	5,20	1,47
AG132-FEM	Não	-2,18	3,94	8,83	2,55	5,10	0,45
AG 132-S	Não	-1,39	4,74	9,27	2,84	5,68	0,50
SLXg	Não	-2,19	2,64	6,33	2,20	4,40	0,39
JD.	Não	9,00	14,73	26,10	4,46	8,92	0,77
JD	SF1	2,24	3,48	4,69	0,75	1,50	0,13
JD.	SF2	3,36	3,67	3,90	0,16	0,32	0,02

*CV - Coeficiente de variação

Os erros de altura entre todos os receptores variaram de -24,61 m a +26,10 m, com uma média de erro variando de 2,64 m a 14,73 m. O receptor JD, sem correção, resultou no maior erro (14,73 m) e um desvio padrão (4,46 m) em relação à altitude de referência. Já com as correções diferenciais SF1 e SF2, esse mesmo receptor apresentou as menores variações de altura. A correção SF1 apresentou um menor erro

em relação ao referencial quando comparada à correção SF2. No entanto o sinal de correção SF2 resultou em uma menor variação, com CV 0,02%.

O maior desvio padrão foi do receptor R115 com a ativação do sinal EGNOS, com 9,85 m, que também obteve o maior coeficiente de variação, com 1,75 %. O receptor SLXg resultou no menor erro entre todos os receptores, de 2,64 m. Coelho (2003) encontrou erros variando de -21,29 m a + 9,37 m, com média de -8,72 m para GPS de navegação, em declividade de 0 a 1 %.

Alguns dos receptores, em combinação com o coletor e o programa de coleta de dados, apresentaram variação nos intervalos de coleta, não seguindo rigorosamente aquele intervalo programado. Essa informação é apresentada de forma sintética na Tabela 9 e detalhadamente nos Anexos 43 ao 53 e mostram a variação da média temporal do desvio do intervalo de tempo de coleta de dados, durante as 20 horas de ensaios para todos os receptores ensaiados. Esse fato adiciona uma variável quando se deseja avaliar o desempenho desses receptores, não sendo possível, para alguns deles, a fixação exata do intervalo de coleta.

Tabela 9 - Descrição dos erros de tempo entre os intervalos de coleta dos receptores GPS ensaiados estaticamente

Receptor	Correção diferencial	Erros			σ (ms)	CV (%)
		Mínimo	Médio	Máximo		
R 115	Não	710	900	2250	326,00	36,00
R 115	EGNOS	679	887	3549	629,00	71,00
R 115	WAAS	655	1132	3565	721,00	64,00
OmmiStar	Não	884	918	947	16,92	1,84
AG 132	Não	1990	1999	2000	2,62	0,13
AG 132 (S)	Não	1990	1998	2000	3,16	0,16
AG 132 (FEM)	Não	1971	1991	2000	10,42	0,52
J D	Não	978	995	1000	5,89	0,59
J D	SF1	978	990	1000	9,01	0,90
J D	SF2	973	992	1000	7,67	0,77
SLXg	Não	959	977	1000	12,42	1,27

Todos os receptores foram configurados para taxa de coleta a cada 15 segundos, mas nos arquivos foram encontrados erros de atraso variando de 857 a 1999 milisegundos, com uma média de 1311 milisegundos, em cada intervalo de 15 segundos da taxa de coleta, com uma média de hora em hora.

O receptor que teve o maior erro médio foi o AG132, com 1999 milisegundos e o menor erro foi do receptor Raven, sem correção diferencial, com 857 milisegundos. O receptor Raven manteve o erro estável a maior parte do tempo, mas com picos de erros chegando a 3565 milisegundos. Com a ativação das correções WAAS e EGNOS o receptor Raven aumentou esse descompasso em relação ao mesmo receptor sem correção diferencial. As correções SF1 e SF2 resultaram no menor erro de intervalos de tempo de coleta em relação ao receptor sem correção diferencial.

Os receptores da marca Garmin utilizam um sistema de arquivamento dos dados diferente dos demais. Eles guardam os arquivos em uma memória interna, não apresentando erros de tempo de intervalo de coleta. Os receptores L1, código CA, não possuem memória interna e utilizam um PDA e um programa para a gravação dos dados.

Esses erros de atraso na coleta de dados podem ser devido ao programa que atua no PDA, que quando registra os dados pelo tempo programado, coleta a sentença do arquivo NMEA quando ela não está no início, tendo que esperar a atualização da sentença seguinte para fazer arquivamento dos dados. Isso pode ser notado pelo fato do receptor Raven trabalhar em frequência de atualização mais alta (10 Hz) e apresentar o menor erro entre os intervalos de coleta quando comparado ao restante dos receptores que trabalham com frequência de 1 Hz. Portanto, em receptores que trabalham com frequências mais elevadas o programa de coleta de dados tem que esperar menos pelo início da nova sentença.

4.2 Avaliação do desempenho de receptores de GPS código C/A utilizando receptor RTK como referência em condição cinemática

Em testes preliminares, ligando os receptores de GPS diretamente em um computador com o software Microsoft Windows Hyper Terminal[®], foi verificado que os tempos das sentenças de atualizações de dados tinham erros inconstantes e que a frequência de atualização dos receptores era de 0,5 Hz, enquanto o receptor RTK trabalhava em 5 Hz. Sendo assim, não foi possível o sincronismo do tempo para o cálculo em duas dimensões, leste e norte, portanto os cálculos foram feitos somente para erros de paralelismo no sentido de direção leste - oeste.

Durante a realização dos ensaios o HDOP variou de 0,80 a 1,00 no dia 23.04 e no dia 24.04.2007 manteve-se constante em 1,00. Esses dados foram obtidos no momento dos ensaios, sendo fornecidos pelo receptor RTK.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados dos indicadores de desempenho dos receptores de GPS ensaiados. Esses indicadores são EM, RMS, 1σ , 2σ . No Anexo 55 ao 64 são apresentados os gráficos que representam esses indicadores de forma mais detalhada. Observa-se que a média de erros de paralelismo do receptor V foi de 2,98 m; no receptor C o erro médio foi de 2,80 m. O sentido de caminamento do trator aproximadamente a 45 graus da direção norte-sul, os erros máximos mostrados foram todos do lado esquerdo (sentido oeste), tendo picos de 6,03 m. O receptor V apresentou erros à direita (sentido leste) e à esquerda (sentido oeste) da linha de referência.

A linha central do histograma mostra a região com erros próximos a zero. No receptor V os erros variaram de 0 m a 5,00 m e a classe de maior erro está entre 2,50 m e 3,00 m, representando 18,65 %. Observa-se que para o receptor CX há uma distribuição de erros de 1,00 m a 4,50 m, com pico na classe de 2,00 m a 2,50 m, com 37,40 % dos erros. Analisando os trajetos verifica-se que 30,69 % dos dados apresentam um erro de até 2,50 m com o receptor V. Para o receptor C esse valor sobe para 43,40 %. Já no dia seguinte, com taxa de coleta de uma posição a cada 5 s, com o receptor V, 80,48 % dos dados apresentaram erro de até 2,50 m e com o receptor C o valor sobe para 95,01 %.

Tabela 10 - Indicadores de desempenho dos receptores de GPS código C/A ensaiados utilizando receptor RTK como referência em condição cinemática

Receptor	Intervalo de coleta (s)	EMP (m)	RMS (m)	1σ (m)	2σ (m)
V	10	2,98	1,58	0,73	1,46
C	10	2,80	1,47	0,34	0,68
V	05	1,70	0,96	0,73	1,46
C	05	1,57	0,84	0,30	0,60

*EMP – Erro médio de paralelismo

Com o aumento na frequência de coleta de dados houve diminuição no EMP e RMS, que são indicativos de acurácia, e 1σ , 2σ , que são indicativos de precisão dos dois receptores ensaiados. O receptor C obteve os menores erros, tanto de acurácia como de precisão, nas duas frequências ensaiadas, em relação ao receptor V. Ayers et al. (2004), ensaiando receptores semelhantes aos ensaiados, montados sobre a cabine de um caminhão, encontraram erro médio de 1,90 m e σ de 1,19 m.

Usando um receptor RTK como referência, Ehsani et al. (2003) testaram vários modelos de receptores da mesma marca daqueles aqui ensaiados, e outros aparelhos da mesma categoria, em cima da cabine de uma caminhonete, encontrando RMS variando de 0,70 m a 1,30 m e σ de 0,10 m a 0,15 m. Stombaugh et al. (2002), em uma plataforma circular de ensaio, com receptores da mesma categoria, encontraram RMS variando de 0,72 m a 3,31 m e Stombaugh et al. (2005), em uma pista de ensaio, avaliaram um receptor semelhante, tendo o RMS variando 0,85 m a 3,00 m nos percursos retos da pista de ensaio.

A metodologia utilizando RTK como referência mostrou-se de fácil manuseio e de rápida manipulação e processamento dos dados. No entanto não permite calcular os erros na direção do deslocamento. Para futuros trabalhos deve-se trabalhar de alguma forma para sincronizar os tempos dos receptores a serem ensaiados com o receptor de GPS RTK e fazer ensaios com diversas frequências de coleta, tendo como variáveis a distância e o tempo.

Os receptores de navegação ensaiados em ensaio cinemático mostraram que podem ser usados para determinadas aplicações agrícolas como monitoramento de produtividade, cálculo de área para fins gerenciais e outras atividades que requerem acurácia de 1,00 m a 3,00 m, de acordo com Buick (2002). Não são indicados para orientação de veículos agrícolas (barra de luz) que requerem acurácia da ordem de 0,30 m, bem como controle de tráfego, que necessita de acurácia da ordem de 0,02 m a 0,04 m.

4.3 Avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática

Todos os erros encontrados, tanto de precisão como de acurácia, não levaram em consideração a dilatação e expansão do cabo de aço e a variação da pressão de ar no pneu da roda de acionamento do encoder (roda odométrica).

Os gráficos que mostram os percursos definidos pelos receptores de GPS ensaiados são apresentados no Anexo 65 a 73. Na Figura 25a o trajeto de referência é definido pela cor vermelha e o trajeto obtido com o receptor e suas configurações, é representado na cor preta (Figura 25b).

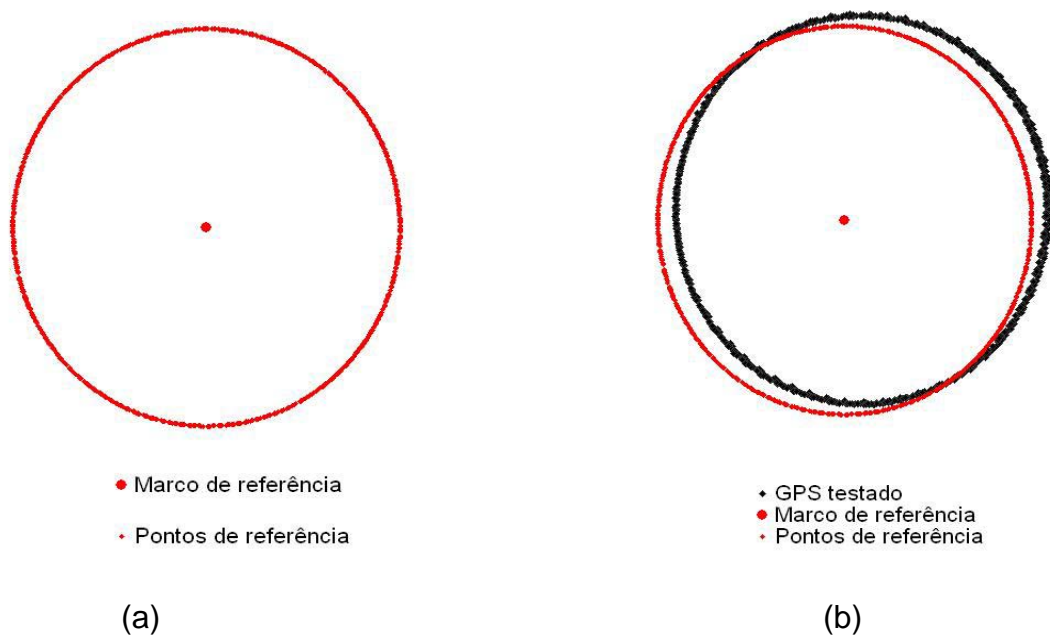


Figura 25 - Coordenadas de referência para cálculo dos erros de acurácia e precisão (circulo vermelho) (a) exemplo dos resultados de um tratamento mostrando as coordenadas de referência e os pontos coletados do GPS (circulo preto) (b)

Nas velocidades mais elevadas nota-se que, devido ao tempo de coleta ser constante em 15 minutos e o intervalos de coleta serem constantes em 1 Hz, ocorreram falhas entre um ponto e outro. Isso é devido ao intervalo de tempo de coleta; com velocidade baixa, a resolução de pontos é mais alta, e o oposto em velocidades elevadas. A Tabela 11 descreve os erros de acurácia e precisão apresentados pelo receptor AG132, tendo a velocidade como variável, com o filtro ativado em intensidade normal.

Tabela 11 - Resultado dos indicadores de desempenho do receptor de GPS ensaiado, utilizando filtro em modo normal de intensidade, com variação da velocidade de deslocamento do veículo

Tr	PDOP	Vel (m s ⁻¹)	ET (m)	RMS (m)	1 σ (m)	2 σ (m)	CEP (m)	Erros			
								Mín (m)	Máx (m)	E (m)	N (m)
1	2,13	0,38	0,62	0,65	0,19	0,38	0,22	0,02	1,63	0,59	0,16
2	4,54	1,26	0,86	0,64	0,24	0,48	0,39	0,04	1,10	0,53	0,55
3	2,35	1,18	0,89	0,92	0,22	0,44	0,41	0,46	1,51	0,57	0,62
4	2,26	1,63	0,62	0,70	0,31	0,62	0,45	0,02	1,35	0,29	0,50
5	2,30	1,57	1,11	1,15	0,29	0,58	0,49	0,43	1,86	0,47	0,95
6	1,90	0,30	1,08	1,08	0,07	0,14	0,11	0,88	1,26	0,26	1,04

*Tr - tratamento, Vel - velocidade, ET - erro de trajeto, Erro Mín – erro mínimo, Erro Máx – erro máximo, Erro E – erro na coordenada leste, Erro N - na coordenada norte.

O ET e o RMS, indicativos de acurácia em relação à referência, não mostraram tendência de erros por influência de velocidade. Com a elevação da velocidade nota-se aumento do 1 σ , 2 σ e, CEP que são indicativos de erros de precisão.

Stombaugh et al. (2005), em ensaio cinemático de receptores de GPS, encontraram RMS variando 1,60 m a 5,80 m em um trajeto simulando operações agrícolas.

Os erros de direção tenderam a ser maiores no sentido norte; somente no tratamento 1 houve erro maior no sentido leste.

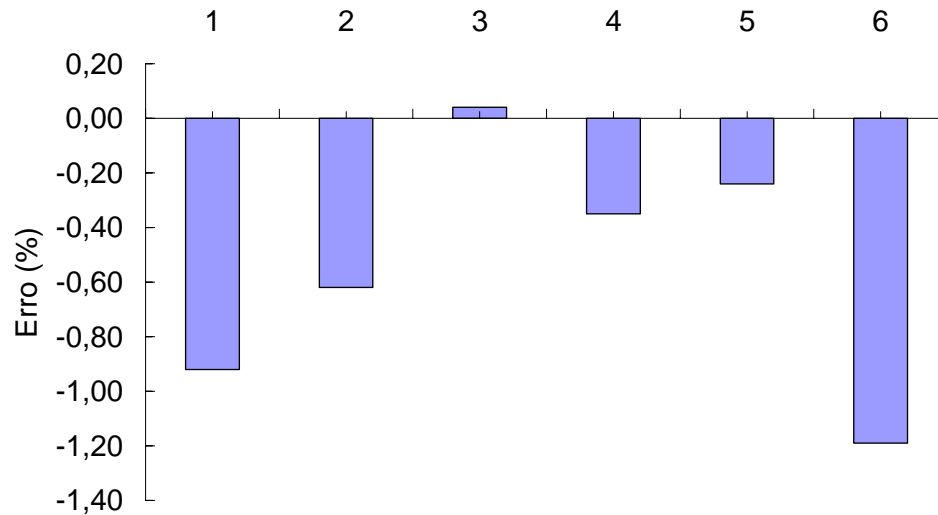


Figura 26 - Erros de velocidade do receptor GPS configurado com filtro em intensidade normal com variação da velocidade de avanço do veículo

O GPS teve um erro máximo de 0,04 % e um mínimo de -1,19 % em relação aos pulsos fornecidos pelo encoder, aqui definido como a referência do sistema. Esses erros não consideram possíveis derrapagens da roda de acionamento do encoder e somente no tratamento 3 essa velocidade resultou em valor maior que a referência; no restante, a velocidade foi inferior à da referência. Com o aumento da velocidade de avanço do veículo com o filtro ativado em intensidade normal do GPS, houve diminuição dos erros de velocidade, somente no tratamento 3 houve aumento.

A Tabela 12 descreve as análises de acurácia e precisão, com a variável analisada sendo a velocidade com o filtro desativado. O Anexo (68 ao 70) mostra os gráficos dos tratamentos descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultado de desempenho obtidos com o receptor GPS, com variação da velocidade, tendo o filtro do receptor ensaiado desativado

Tr	PDOP	Vel (m.s ⁻¹)	ET (m)	RMS (m)	1 σ (m)	2 σ (m)	CEP (m)	Erros			
								Mín (m)	Máx (m)	E (m)	N (m)
1	2,26	0,40	1,06	1,07	0,17	0,34	0,23	0,74	1,49	0,80	0,69
2	2,50	1,14	1,25	1,26	0,20	0,40	0,39	0,78	1,69	1,18	0,29
3	1,86	1,07	3,16	3,16	0,18	0,36	0,29	2,67	3,73	0,64	3,09
4	2,13	1,40	0,85	0,89	0,27	0,54	0,40	0,25	1,30	0,75	0,30
5	1,92	1,55	1,84	1,87	0,33	0,66	0,50	1,26	3,41	1,71	0,62
6	2,05	0,40	0,98	1,00	0,22	0,44	0,38	0,47	4,69	0,87	0,37

Os tratamentos com a configuração do receptor de GPS sem a ativação do filtro e variando a velocidade de deslocamento (Tabela 12) demonstraram resultados semelhantes aos tratamentos com variação de velocidade com o filtro de intensidade normal ativado (Tabela 11). O aumento de velocidade de percurso influenciou nos erros de precisão, fazendo-os aumentar, enquanto os erros de acurácia foram flutuantes.

Ao comparar os ensaios descritos na Tabela 11 e Tabela 12, desconsidera-se que foram feitos em horários e dias diferentes e não respeitando as afirmações de Monico (2007) sobre a repetição da posição dos satélites no dia seguinte, com 4 minutos de antecedência. Foi verificado que os erros de RMS variaram de 0,64 m a 1,15 m e 1σ variando de 0,07 m a 0,31 m nos tratamentos de variação de velocidade com filtro ativado (Tabela 11). O RMS variou de 0,89 m a 3,16 m com 1σ variando de 0,17 m a 0,33 m com tratamentos de variação de velocidade com filtro desativado (Tabela 12). A ativação do filtro resultou em diminuição nos erros de acurácia e precisão.

Stombaugh et al. (2002), em ensaio cinemático de receptores de GPS em uma plataforma de percurso circular, com velocidade constante de $3,14 \text{ m.s}^{-1}$, testaram a ativação e desativação de filtro; encontraram erros de acurácia maiores em receptor com filtro ativado. Os autores descrevem que para testes mais detalhados para avaliar o desempenho dos filtros dos receptores GPS deve se testar o receptor simulando percursos curvos e retos; com esses tipos de percursos tem-se variação brusca de sentido podendo ser mais eficientes para testes de filtros internos e aproximar mais do ambiente agrícola que o receptor é utilizado. Stombaugh et al. (2005) construíram uma plataforma de ensaio simulando operações agrícolas com retas e curvas e separaram os erros por partes do percurso. Verificaram que em curvas fechadas um dos receptores, aquele com filtro interno, apresentou atraso para responder, ocorrendo aumento de erros.

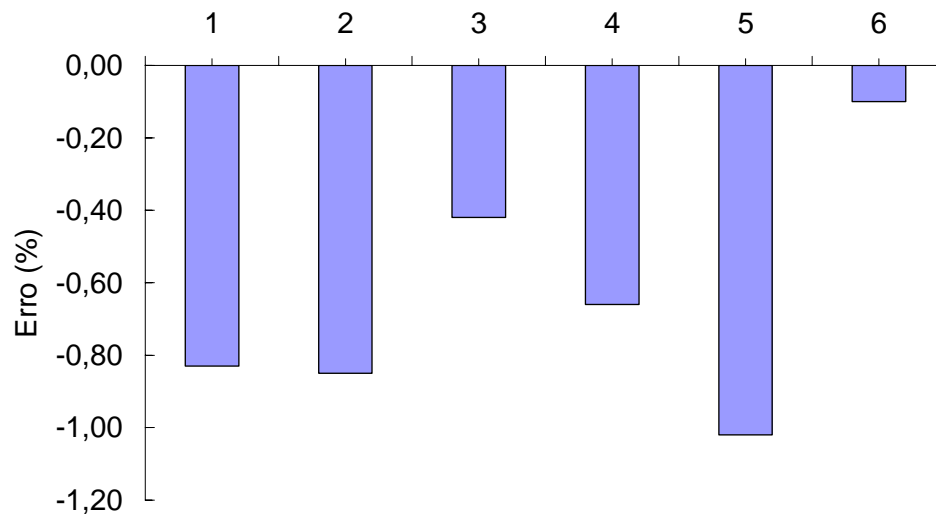


Figura 27 - Erros de velocidade do GPS configurado com filtro desativado com variação da velocidade de avanço do veículo

Os erros de velocidade foram todos negativos, ou seja, as velocidades obtidas com o receptor ensaiado foram menores do que aquelas obtidas com o encoder, variando de - 0,10 % a -1,02 %. Com o aumento da velocidade de avanço do veículo, houve aumento nos erros de velocidade do GPS com o filtro desativado.

A Tabela 33 descreve os erros de precisão e acurácia sendo a variável analisada o sentido de rotação, com o receptor em configuração padrão com filtro de intensidade normal. Os Anexos 71 a 73 mostram os gráficos dos tratamentos descritos na Tabela 13.

Tabela 13 - Síntese dos resultados dos erros do receptor ensaiado com variação do sentido do trajeto

Tr	PDOP	Vel (m.s ⁻¹)	ET (m)	RMS (m)	1 σ (m)	2 σ (m)	CEP (m)	Erros			
								Mín (m)	Máx (m)	E (m)	N (m)
1 SH	1,83	0,39	1,96	1,99	0,35	0,70	0,46	1,07	2,88	1,68	0,95
2 SA	1,82	0,37	1,27	1,29	0,23	0,26	0,29	0,79	1,67	0,22	1,25
3SH	2,12	1,09	1,31	1,33	0,25	0,50	0,39	0,78	1,88	1,24	0,34
4 SA	2,20	1,24	0,72	0,79	0,31	0,62	0,42	0,01	1,24	0,56	0,35
5 SH	2,39	1,46	1,79	1,82	0,32	0,64	0,52	1,14	2,40	1,51	0,89
6 SA	2,53	1,63	1,02	0,77	0,25	0,50	0,46	0,06	1,45	0,64	0,68

Os erros de precisão não apresentaram nenhuma tendência quanto ao sentido de percurso, mas os erros de acurácia RMS e ET foram maiores no sentido horário. Os erros no sentido horário foram maiores na direção leste, do que no sentido anti-horário.

Já na direção norte os erros foram alternados. Ehsani et al. (2003), testando o erro de trajeto com receptor L1/CA, trafegando em duas direções, leste-oeste e norte-sul, encontraram erros de trajeto maiores nas coordenadas norte-sul, quando o ensaio era realizado no sentido de caminhar leste-oeste.

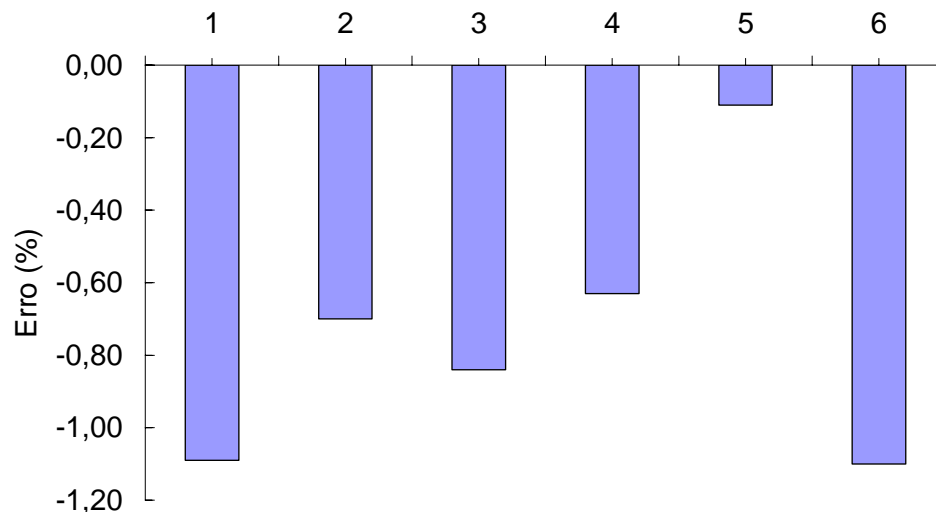


Figura 28 - Erros de velocidade do GPS configurado com filtro em intensidade normal com variação do sentido de rotação do veículo

Os erros de velocidade foram todos menores que a referência, variando de - 0,60 % a -1,10 %.

Com variação no sentido de rotação do mini-tractor foram alternados os erros de velocidade do receptor não seguindo tendências quanto a direção. Molin et al. (2005), testando um receptor GPS, obtiveram erros de velocidade 41 % inferiores sob condição de aceleração e 18 % superiores em condição de desaceleração, não encontrado diferença em condição de velocidade constante, quando comparado com um encoder e modelos comerciais de radares.

A metodologia para determinação de desempenho de receptor de GPS em condição cinemática possibilitou a coleta de dados e realizar as análises de precisão e acurácia. Neste trabalho necessitou-se de aparelhos de instrumentação de alta frequência de coleta de dados e como não existem coletores disponíveis comercialmente, tiveram que ser desenvolvidos e adaptados. Observa-se que se tem necessidade de um tempo maior de desenvolvimento para o seu aprimoramento. Há

necessidade de melhorias no aumento da capacidade de memória, resistência do hardware e o programa que faz a contagem e armazenamento dos dados. Ocorreram problemas constantes de travamento e demora excessiva no descarregamento de dados. Apesar de todos os problemas, o coletor cumpriu o objetivo, que era de sincronizar os dados coletados dos receptores de GPS com os pulsos adquiridos do encoder. Em trabalhos futuros devem ser analisados receptores por um período maior de tempo, incluindo repetições, para estabelecer parâmetros para possível normatização para ensaios de receptores usados em agricultura. Sugere-se construir um veículo que atinja velocidades maiores e que tenha possibilidade de melhor escalonamento de velocidade e que as mantenha constantes, bem como considerar a possibilidade de projetar um percurso que simule operações agrícolas, que contenha tanto retas paralelas como curvas, como o citado por Stombaugh et al. (2005).

5 CONCLUSÕES

Com referência aos ensaios conduzidos com receptores em condição estática com ativação de correções diferenciais, observou-se que as correções diferenciais EGNOS e WAAS na região de Piracicaba, SP, não melhoram a acurácia e a precisão do posicionamento, causando, por vezes a sua degradação. A utilização das correções diferenciais via satélite proporcionou diminuição nos erros de acurácia e precisão.

O uso de receptores para determinação de altitude deve ser ponderado, bem como a finalidade e a resolução necessárias para determinadas atividades, pois os receptores de uso agrícola e de navegação ensaiados apresentaram grande oscilação de erros de altitude. Para trabalhos que dependem de intervalos de tempo exatos deve se escolher bem o receptor a ser adotado, pois nos receptores ensaiados essa variação foi elevada.

Com relação aos ensaios conduzidos avaliando o desempenho de receptores de GPS código C/A utilizando receptor RTK como referência, em condição cinemática, observou-se que o aumento na frequência de coleta de dados nos dois receptores resultou em diminuição dos erros de acurácia e precisão. A metodologia funcionou bem para o cálculo de erros em uma dimensão, por ser rápida e necessitar de pouca instrumentação, além do receptor RTK, mas tem a desvantagem de se permitir o

cálculo dos erros em apenas uma dimensão. Outra limitação do método é que o receptor RTK possui seu próprio erro, não sendo possível ensaiar receptores de alta acurácia.

A técnica de condução de ensaios cinemáticos utilizando um veículo girando em torno de um pivô demonstrou que a metodologia funciona, pois possibilitou o cálculo de erros de trajeto, mas necessita de melhorias, principalmente na robustez do coletor, para serem realizados ensaios mais longos e ser possível fazer comparações entre diferentes tratamentos e com vários receptores ao mesmo tempo.

REFERÊNCIAS

AGROTEC. **DGPS**: Aplicação aérea de precisão. Disponível em: <<http://www.agrotec.etc.br>>. Acesso em: 10 jan. 2008.

AYERS, P; WU, C; ANDERSON, A. B. Evolution of autonomous and differential GPS for multi-pass vehicle identification. 2004. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N^o 041061, 2004. Disponível em: <<http://www.asabe.org>> Acesso em: 10 maio. 2007.

BAIO, F. **Metodologia para ensaio de sistemas de direcionamento via satélite em percursos retos e curvos**. 2005. 100 p. Tese (Doutor em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2005.

BALASTREIRE, L.A. **Agricultura de precisão**. Piracicaba: O autor, 1998. 81p.

BALASTREIRE, L.A.; BAIO, F.H.R. Avaliação da acurácia cinemática de um sistema de posicionamento global diferencial, utilizada na agricultura de precisão. **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: Os autores, 2000. p. 173-181.

BUICK, R. GPS guidance-making an informed decision. In: CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2002, Madison. **Abstracts...** Madison: [s.n.], 2002. p.1979-2004.

CHOSA, T.; OMINE, M.; HOSAKAWA, H.; YAZAKI, K.; SEKIGUCHI, M. Development of a platform to test the dynamic accuracy of a GPS receiver. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 8., 2006, Mineapolis. **Abstracts...** Mineapolis: [s.l.: s.n.], 2006.

COELHO, A. S. **Avaliação do desempenho de receptores GPS em levantamentos altimétricos, para fim de sistematização de terras**. 2003. 145p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DA SILVEIRA, A.C. **Avaliação de desempenho de aparelhos receptores de GPS**. 2004.176p. Dissertação (Mestrado em Maquinas Agrícolas) - Faculdade de engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

DIFFERENTIAL GPS. Disponível em: <<http://www.gpsinformation.org/dale/dgps.htm>> . Acesso em: 11 nov. 2006.

EHSANI, M. R; SULLIVAN, M. D; ZIMMERMAN, T. L; STOMBAUGH, T. Evaluating the dynamix accuracy of low cost GPS receivers. 2003. AYERS, P; WU, C; ANDERSON, A. B. Evolution of autonomous and differential GPS for multi-pass vehicle identification. 2004. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N ° 031014, 2003. Disponível em: <<http://www.asabe.org>> Acesso em: 15 maio. 2007.

ESA. EUROPEAN SPACE AGENCY. Disponível em: <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>. Acesso em: 03 mar. 2008.

FAA. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Disponível em: <http://www.gps.faa.gov/programs/waas/for_pilots.htm> Acesso em: 08 jan. 2008.

FUGRO. World wide. Disponível em:<<http://www.fugro.com.htm>. Acesso em: 2 ago.2008.

GORGULHO, M. **G.P.S:** O Sistema de Posicionamento Global. Disponível em:<http://www.gpstm.com/port/apostila_port.htm. Acesso em: 12 jul. 2006.

GRIFFIN, T.; LAMBERT, D.; DEBOER, L. Economics of lightbar and auto-guidance GPS navigation technologies. Disponível em: <<http://www.aragriculture.org/precisionag/reserch/research.htm>> Acesso em: 10 maio. 2007.

HAN, S.; H.K, NOH.; ZHANG, Q.; SHIN, B.S. Dynamic performance evaluation of DGPS receivers for parallel tracking. 2002. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N°023107, 2002. Disponível em: <<http://www.asabe.org>> Acesso em: 15 maio. 2007.

HARBUCK, T. L.; FULTON, J.P.; MCDONALD, T.P.; BRODBECK, C.J. Evaluation of GPS autoguidance systems over varying time periods. 2006. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N° 061042, 2006. Disponível em: <<http://www.asabe.org>> Acesso em: 10 maio. 2007.

HEIDMAN, B. C.; ABIDINE, A. Z.; UPADHYAYA, S. K.; HILLS, D. J. Application of RTK GPS based auto guidance system in agricultural production. In: CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE ,3., 2002, Madison. **Abstract...** St. Joseph: ASA/CSSA/SSSA, 2002.p.1125-1134.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, J.; COLLINS, J. **GPS:**Teory and Practice. 3rd ed. New York:s.l.: 1994. s.n.

INSIDE GLOBAL NAVIGATION SATELITE SYSTEM. Disponível em:<http://www.insidegnss.com>. Acesso em: 03 mar. 2008.

KAWABATA NETO, M. **Utilização do modulo cretalink para a transmissão, em tempo real, de sinais de correção para sistemas GPS diferenciais (DGPS).** 2005. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

KRUEGER, C.P. **Módulo II: Normas técnicas, geodésia e posicionamento por satélite.** Curitiba: Departamento Editorial, 2004. 111p.

KRUEGER, C.P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho.** 1996. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

LIMA, T. C. B; UMEZU, C. K; CAPPELLI, N.L; NUNES, E. F. Equipamento microprocessado para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.537-545, maio. 2006.

MACHADO, T.M.; POVH, F.P.; MOLIN, J.P. Acurácia e avaliação do funcionamento das correções diferenciais waas e egnos na região de Piracicaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2007a, Bonito. **Anais eletrônicos...** Jaboticabal: SBEA, 2007a.1 CD-ROM.

MACHADO, T.M.; POVH, F.P; SALVI, J.V.; MOLIN, J.P. Acurácia de barra de luz utilizando planilha eletrônica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4, 2007, Viçosa. **Anais eletrônicos...** Viçosa: UFV, 2007b. 1 CD-ROM.

MOLIN, J.P. Orientação de aeronave agrícola por DGPS comparada com sistema convencional por bandeiras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 62-70, 1998a.

MOLIN, J.P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.3, p.121-32, mar. 1998b.

MOLIN, J.P.; RUIZ, E.S.R. Accuracy of DGPS for Ground Application in Parallel Swaths. 1999. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N°991043, 1999. Disponível em: <<http://www.asabe.org>> Acesso em: 17 maio. 2007.

MOLIN, J.P; CARREIRA, P.T. Metodologia para ensaios cinemáticos de receptores de GNSS utilizando um GPS RTK como referência. **Revista Brasileira de Agroinformática**, [s.l.] , v. 8, n.1, p.53-62, 2006. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/downloadapac.htm>. Acesso em: 18 jul. 2008.

MOLIN, J.P; SOUZA, A.B.M.; FONTANA, G.; NAGUMO, G. K. Análise comparativa de sensores de velocidade de deslocamento em função da superfície. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 768-773, 2005. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/downloadapac.htm>. Acesso em: 28 jul. 2008.

MOLIN, J. P; SALVI, J.V; POVH, F.P; MACHADO, T.M; MENEGATTI, L. A. Avaliação do paralelismo, alinhamento e espaçamento entre fileiras de cana-de-açúcar em plantio mecanizado realizado com piloto automático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2008, Piracicaba. **Anais eletrônicos...** Piracicaba: ESALQ – USP, 2008. 1 CD-ROM.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: Descrição, fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: UNESP, 2007. 476 p.

POVH, F.P.; SPEKKEN, M.; SALVI, J.V.; MACHADO, T.M.; MOLIN, J.P. Metodologia para análise de paralelismo em sistemas de orientação utilizando planilha eletrônica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2007, Viçosa. **Anais eletrônicos...** Viçosa: UFV, 2007. 1 CD-ROM.

PRADO, A.do.; KRUEGER, C.P. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.55, n.1, p.29-38, out. 2003.

QIU, W.; WATKING, G.A.; SOBOLIK, C.J.; SHEARER, S.A. A feasibility study of a direct injection for variable rate herbicide application. Transactions of the **ASABE**, St. Joseph, v. 41, n.2, p.291-299, Mar/Apr. 1998.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. Revista, Atualizada e Ampliada, Juiz de Fora: [s.n.], 2002. 220p.

ROCHA, C.H.B. Uso eficiente do GPS de navegação no cadastro de feições lineares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. p.1-7.

SEEBER, G. **Satellite geodesy**: foundations, methods and applications. Berlin;New York: Walter de Gruyter, 1993. 356p.

SILVA, T. M.L.S. **Análise de erros em receptores de GNSS**. 2007. 65 p. Dissertação (Mestrado em engenharia eletrônica e de computadores) - Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

SOUZA, E. M; POLEZEL, W. G. C; MONICO, J. F.G. Avaliação do nível de multicaminho no posicionamento relativo GPS e sua atenuação através da análise de multiresolução. **Boletim de Ciências. Geodésicas**, Curitiba, v. 11, n. 2, p.221-234, jul-dez. 2005.

SEGANTINE, P.C.L. **GPS**: sistema de posicionamento global. São Carlos: Suprema, 2005. 381 p.

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.

STAFFORD, J. V. Essential technology for precision agriculture. In: PPRECISION AGRICULTURE, 1996, Madison. **Abstract...** St Joseph: ASA/CSSA/SSSA, 1996 p. 595-604.

STOMBAUGH, T.; COLE, J.; SHEARER, S.; KOOSTRA, B. A Test facility for evaluating dynamic GPS accuracy. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2005, Berlin. **Abstract...** St. Joseph: Wageningen Academic Publishers, 2005.p. 605-612.

STOMBAUGH, T.; SHEARER, S.; FULTON, J. Standards for comparison of GPS receiver performance. In: CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2002, Madison. **Abstract...** St. Joseph: ASA/CSSA/SSSA, 2002.p.1049-1059.

SULLIVAN, M.; EHSANI, M.R.; WALKER, J.T.; LEVISON, P.; LANG, L. Accuracy and availability of WAAS for precision agriculture. 2001. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N° 01-1155, 2001. Disponível em: <<http://www.asabe.org>>Acesso em: 10 jan. 2007.

TAYLOR, R.K.; SCHROCK, M.D.; BLOOMFIELD, J.; BORA, G.; BROCKMEIER, G.; BURTON, W.; CARLSON, B.; GATTIS, J.; GROENING, R.; KOPRIVA, J.; OLLEN, N.; NEY, J.; SIMMELINK, C.; VONDRACED, J. Dynamic testing of GPS receivers. 2003. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N ° 031013, 2003. Disponível em: <<http://www.asabe.org>>Acesso em: 10 maio.2007.

TOPCON. Disponível em:<<http://www.topcon.com>>Acesso em: 10 jul. 2008.

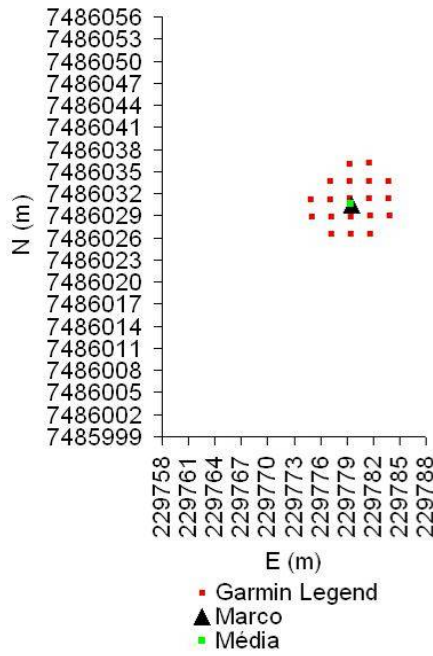
TUCKER, M.A; VELLIDIS, G; THOMAS; PERRY, C.D; POCKNEE, S; KVIEN, C; WELLS, N. Evaluation of DGPS RTK based agricultural vehicle guidance systems. In: CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE,3, 2002, Madison. **Abstract...** St. Joseph: ASA/CSSA/SSSA, 2002. p.1114-1124.

WELTZIEN, C.; NOACK, P.; PERSSON, K.; GPS receiver accuracy test – dynamic and static for best comparison of results. EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE,4, 2003, Berlin. **Abstract...** St. Joseph: Wageningen Academic Publishers, 2003. p. 717-722.

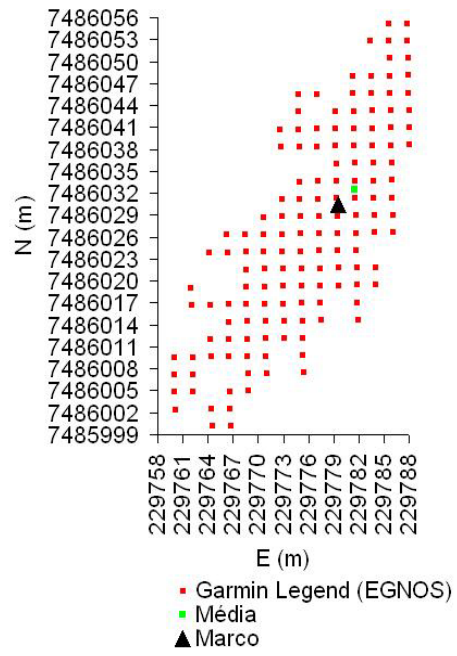
WU, C.; AYERS, P.D.; ANDERSON, A.B. Influence of travel direction on GPS accuracy for vehicle tracking. 2006. **ASABE**, St. Joseph, Meeting Paper N° 051088, 2006. Disponível em: <<http://www.asabe.org>>Acesso em: 15 maio 2008.

YEAZEL, J. WAAS and its reation to enabled hand-held GPS receivers. Disponível em: <<http://gpsinformation.net/exe/waas.html>>. . Acesso em: 10 maio. 2008.

ANEXOS

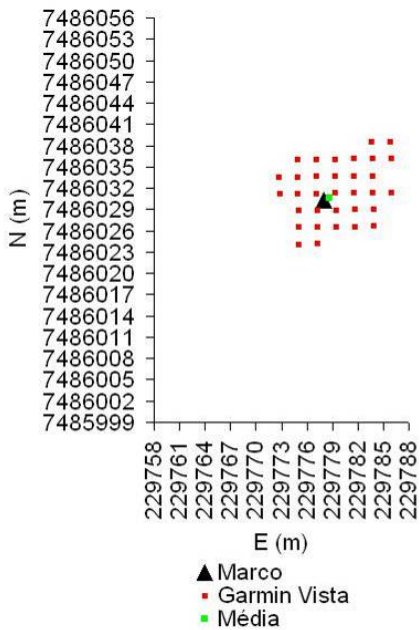


(a)

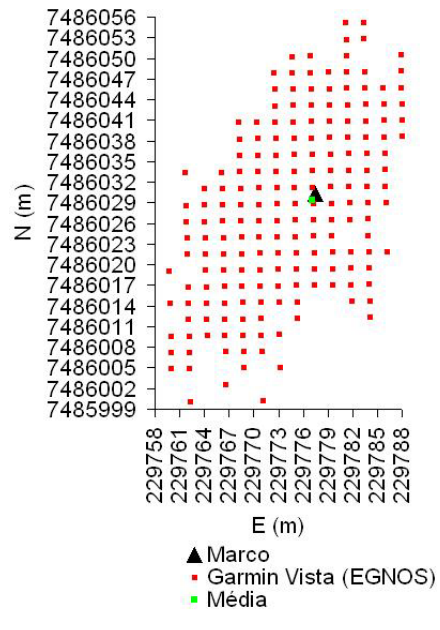


(b)

Anexo 1- Dispersão da posição obtida com o receptores L sem correção diferencial (a) L com correção diferencial EGNOS(b)

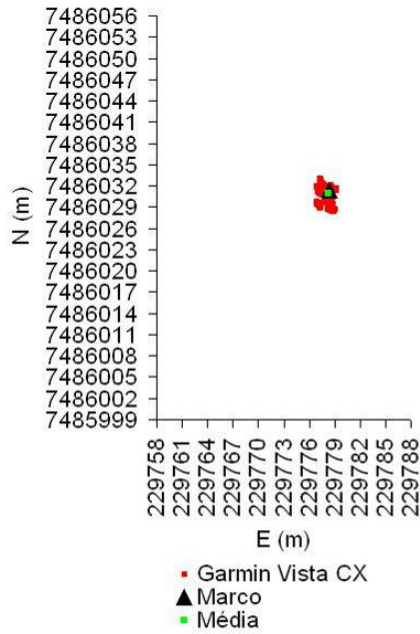


(a)

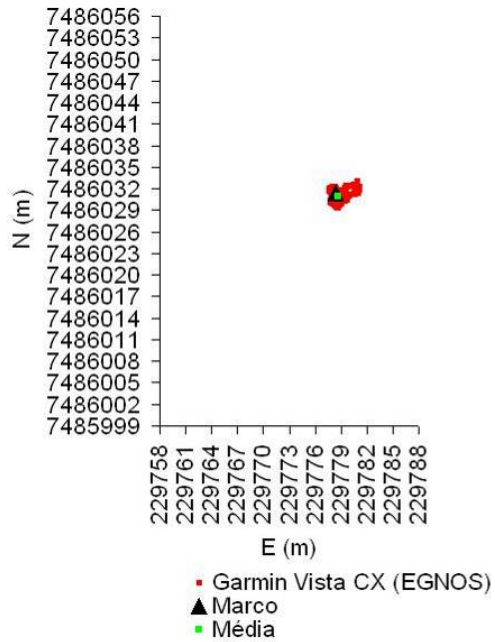


(b)

Anexo 2 - Dispersão da posição obtida com o receptor V sem correção diferencial (a) receptor V com correção diferencial EGNOS (b)

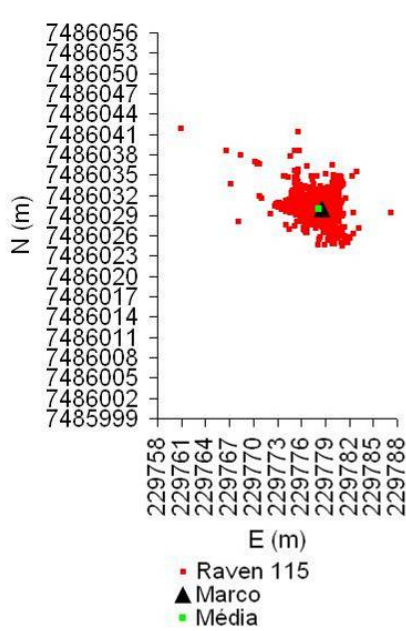


(a)

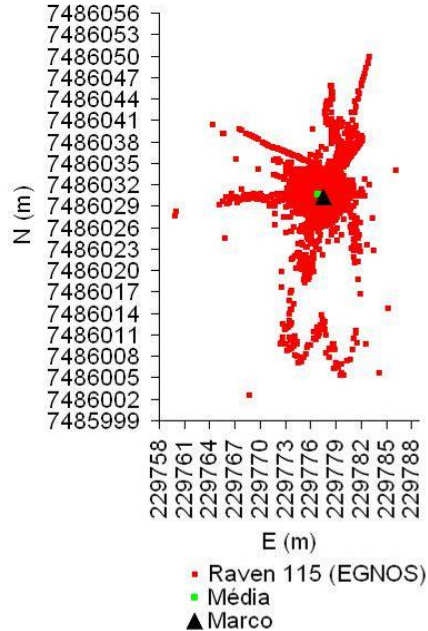


(b)

Anexo 3 - Dispersão da posição obtida com o receptor CX sem correção diferencial (a) receptor CX com correção diferencial EGNOS (b)

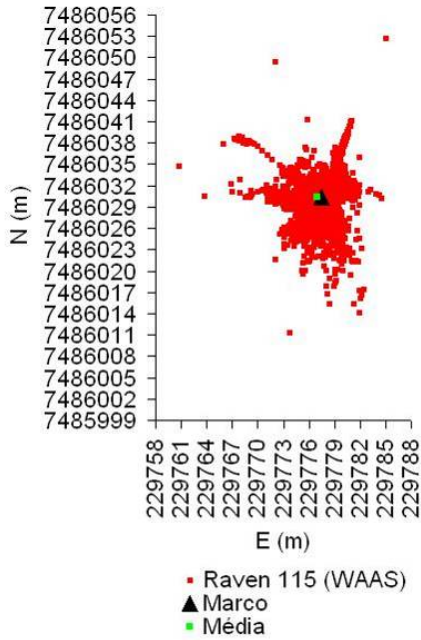


(a)

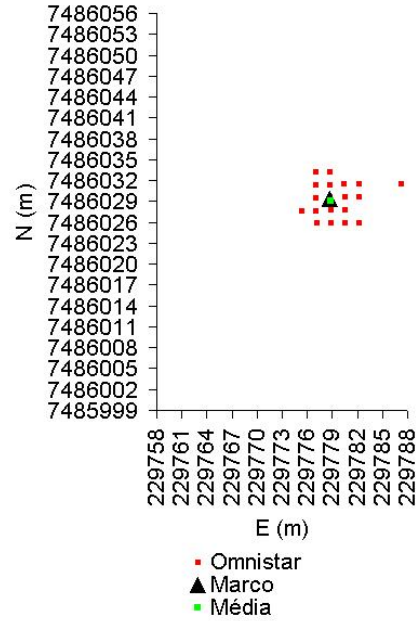


(b)

Anexo 4 - Dispersão da posição obtida com o receptor R115 sem correção diferencial (a) receptor R 115 com correção diferencial EGNOS(b)

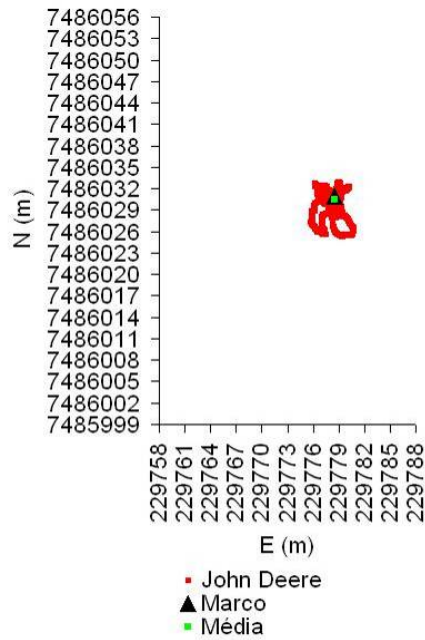


(a)

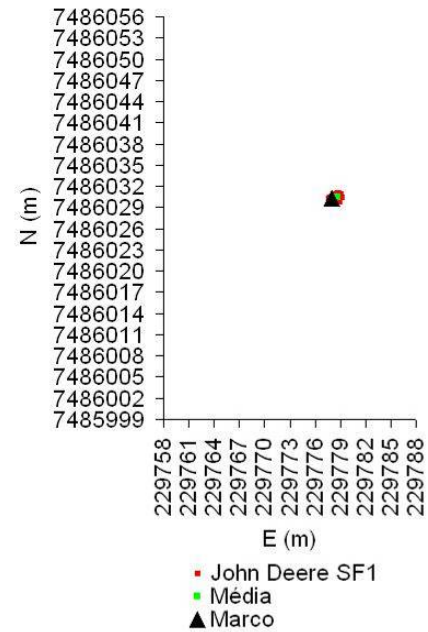


(b)

Anexo 5 - Dispersão da posição obtida com o receptor R115 com correção diferencial WAAS (a) O TM sem correção diferencial (b)

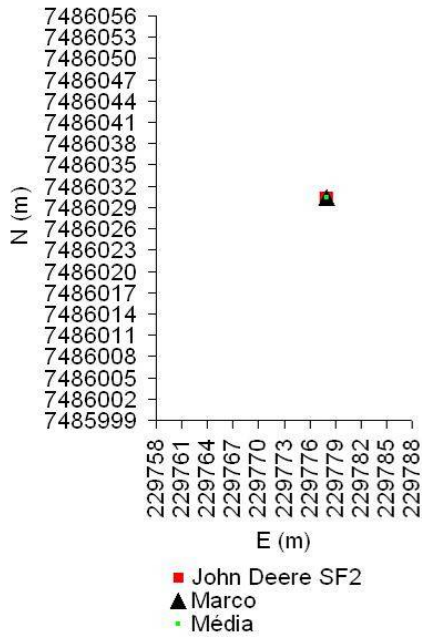


(a)

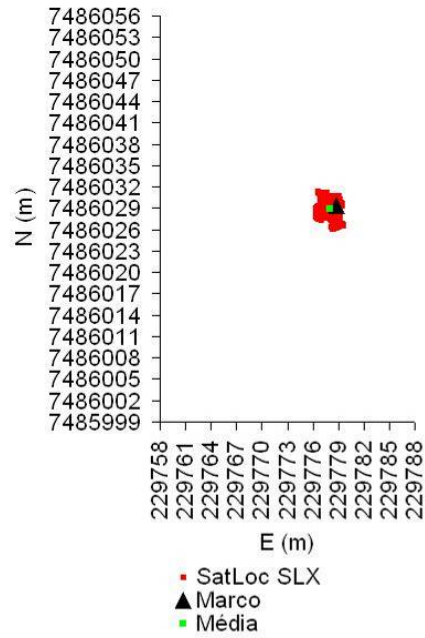


(b)

Anexo 6 - Dispersão da posição obtida com os receptores JD (a) JD com correção diferencial SF1 (b)

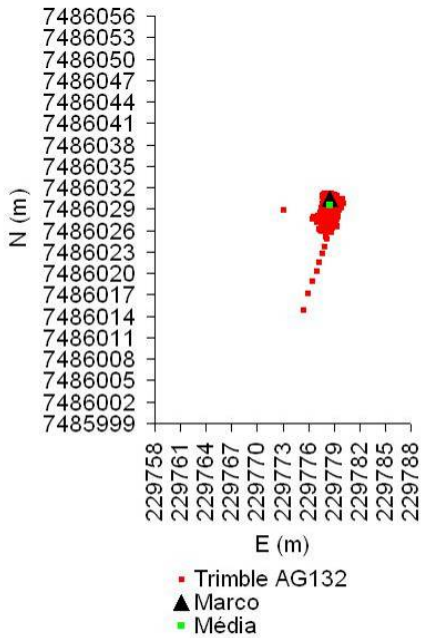


(a)

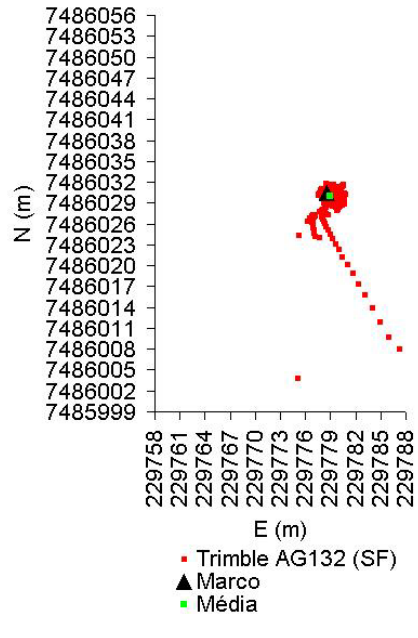


(b)

Anexo 7 - Dispersão da posição obtida com os receptores JD com correção diferencial SF2 (a) SLXg sem correção diferencial (b)

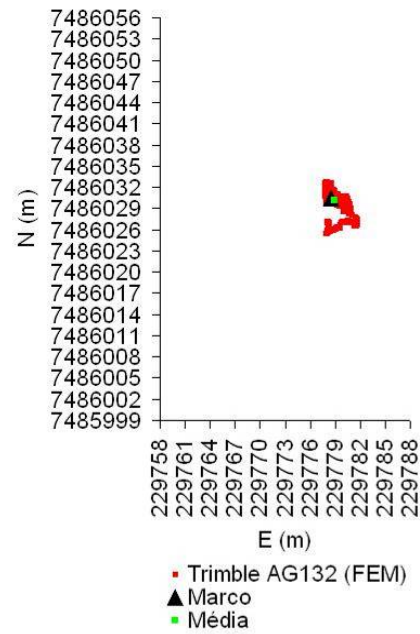


(a)

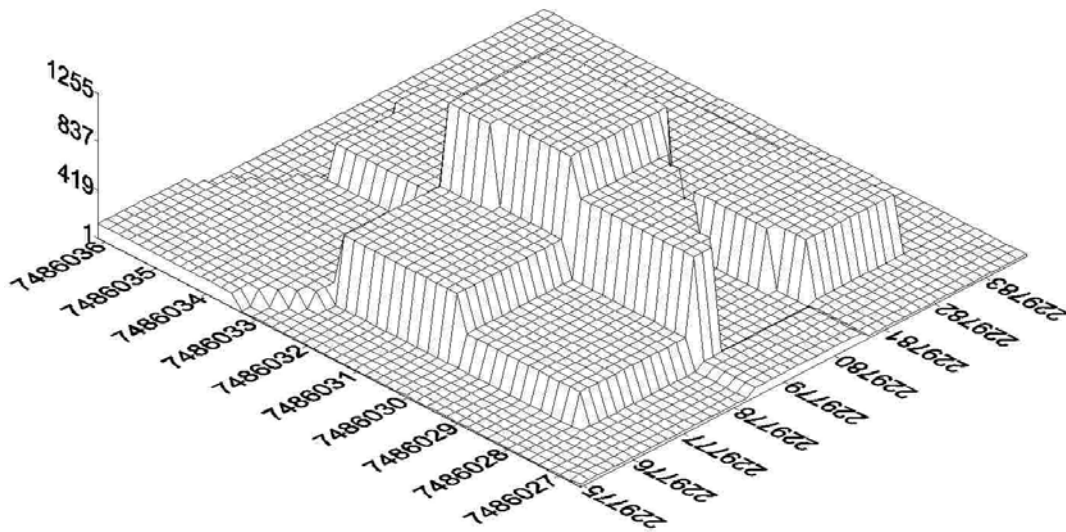


(b)

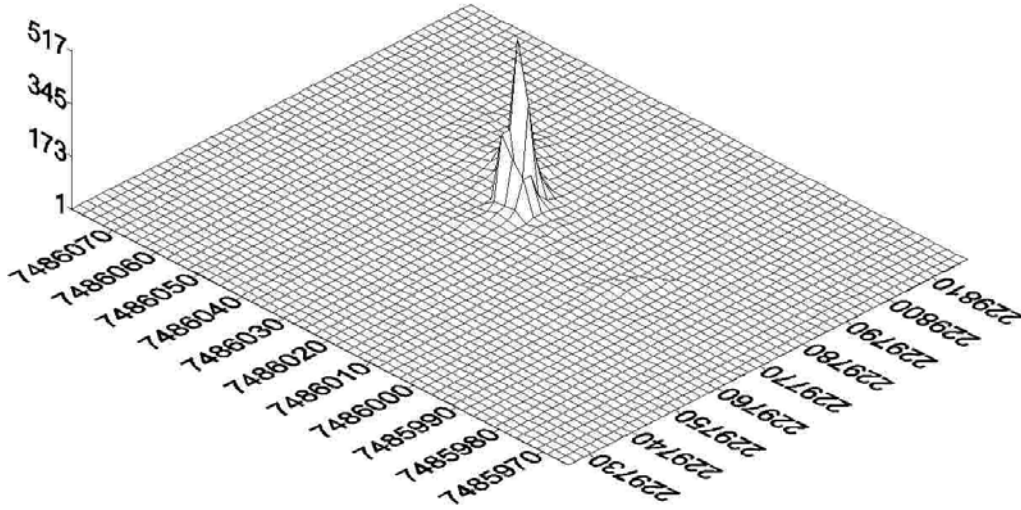
Anexo 8 - Dispersão da posição obtida com os receptores AG132 configuração padrão (a) AG132 sem filtro (b)



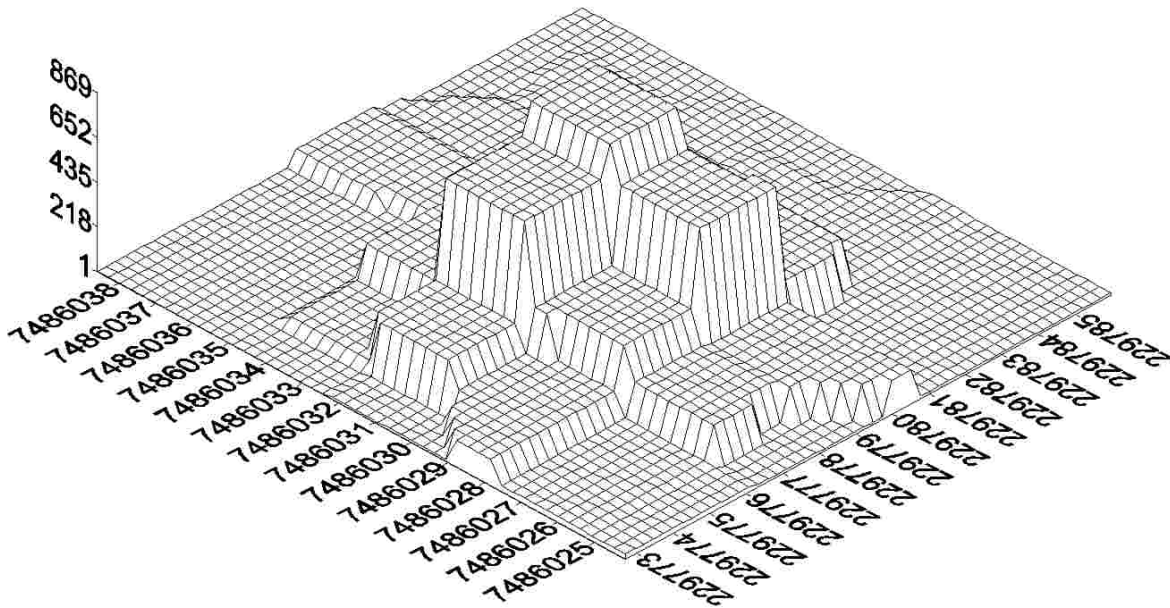
Anexo 9 - Dispersão da posição obtida com o receptor AG132 com filtro estático máximo



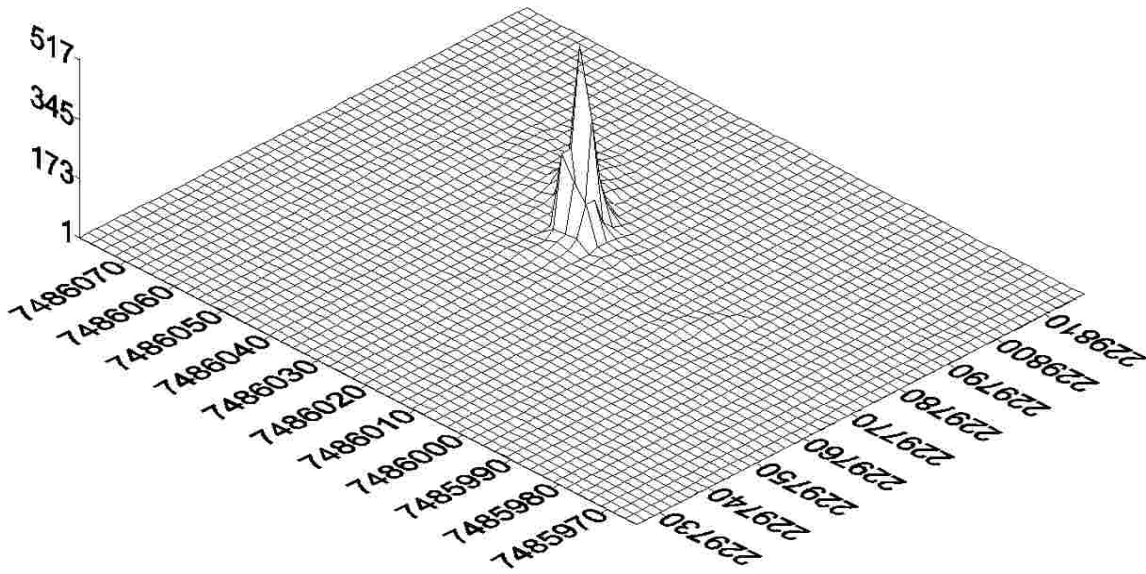
Anexo 10 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor L



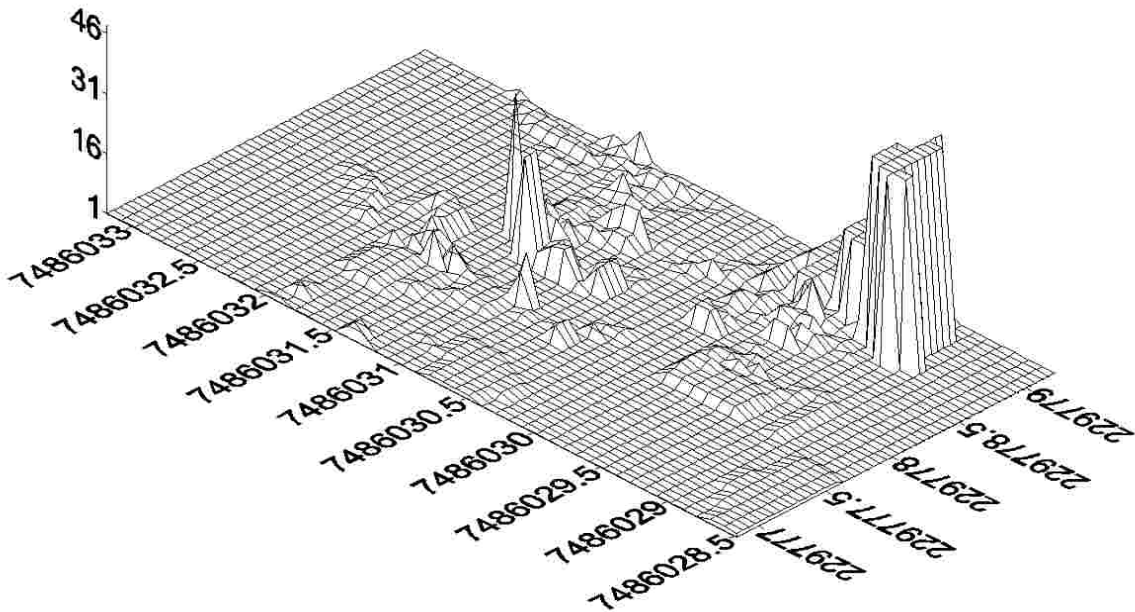
Anexo 11 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor L com correção diferencial EGNOS



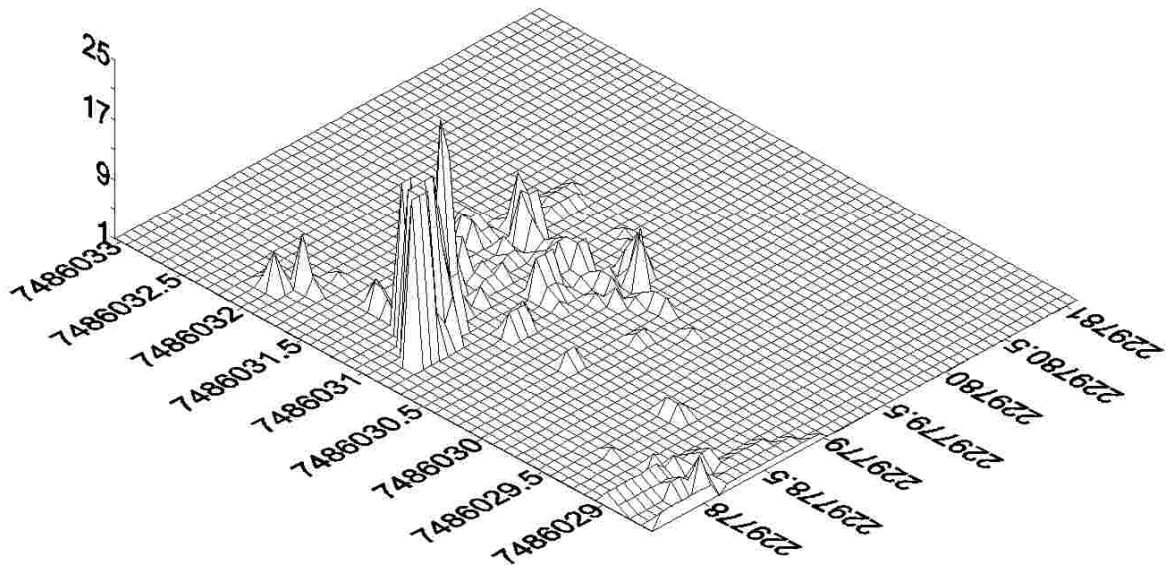
Anexo 12 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor V



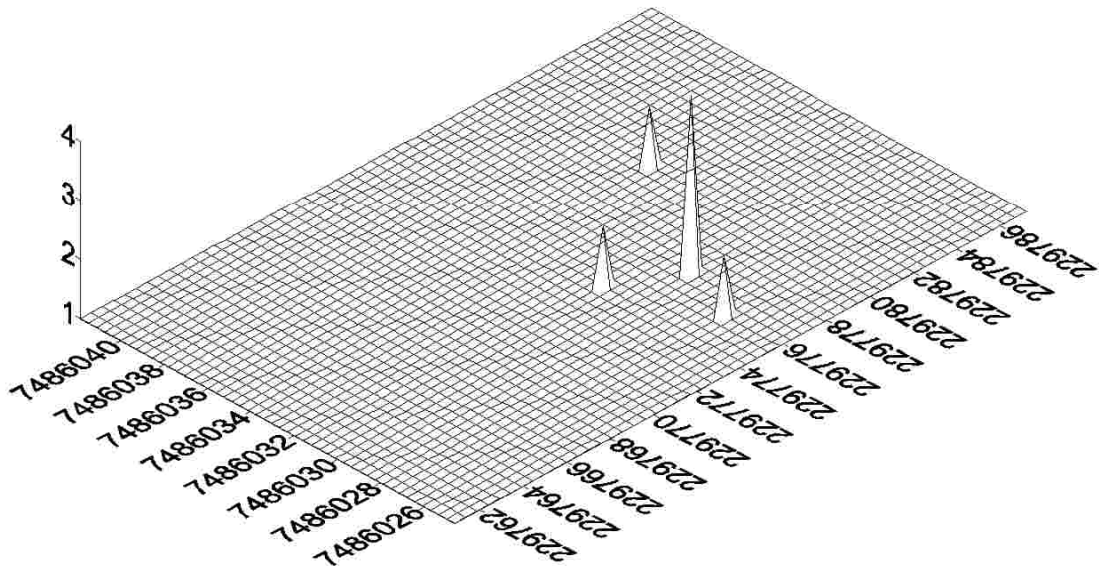
Anexo 13 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor V com correção diferencial EGNOS



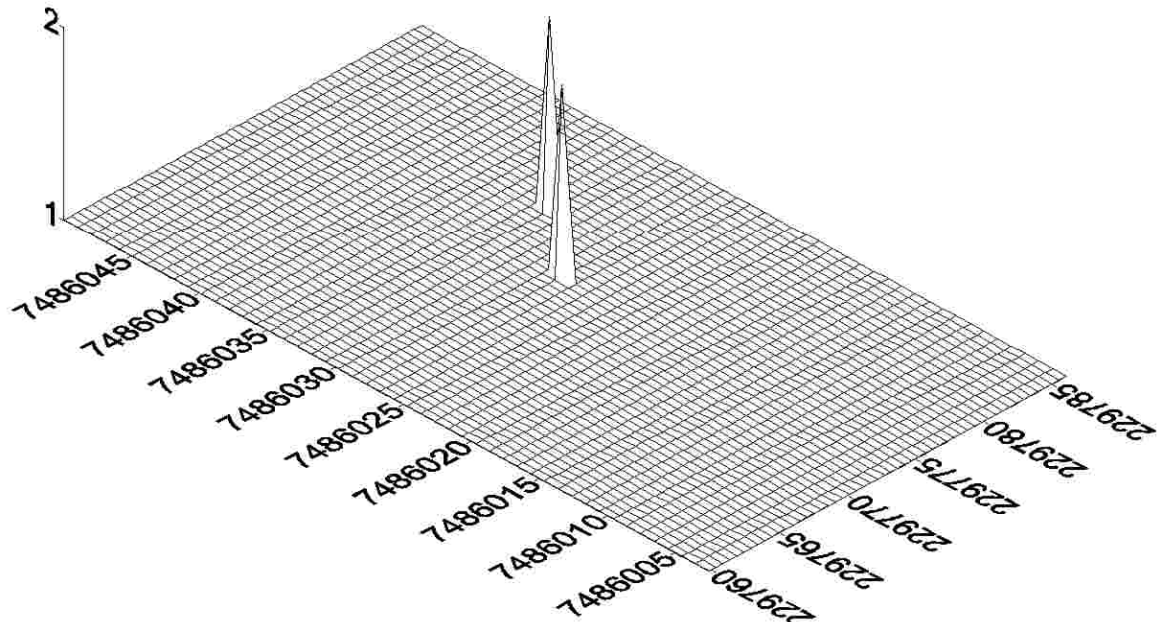
Anexo 14 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor CX



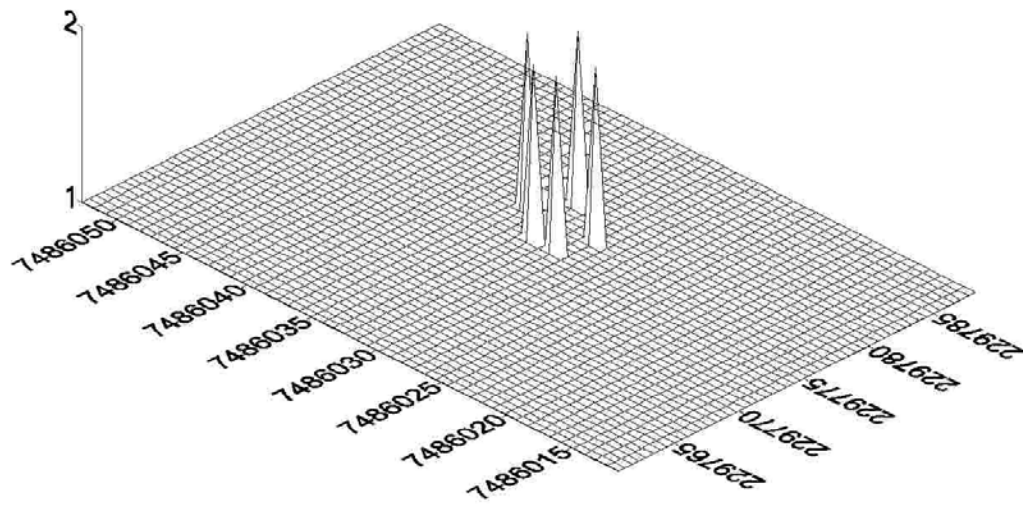
Anexo 15 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor CX com correção diferencial EGNOS



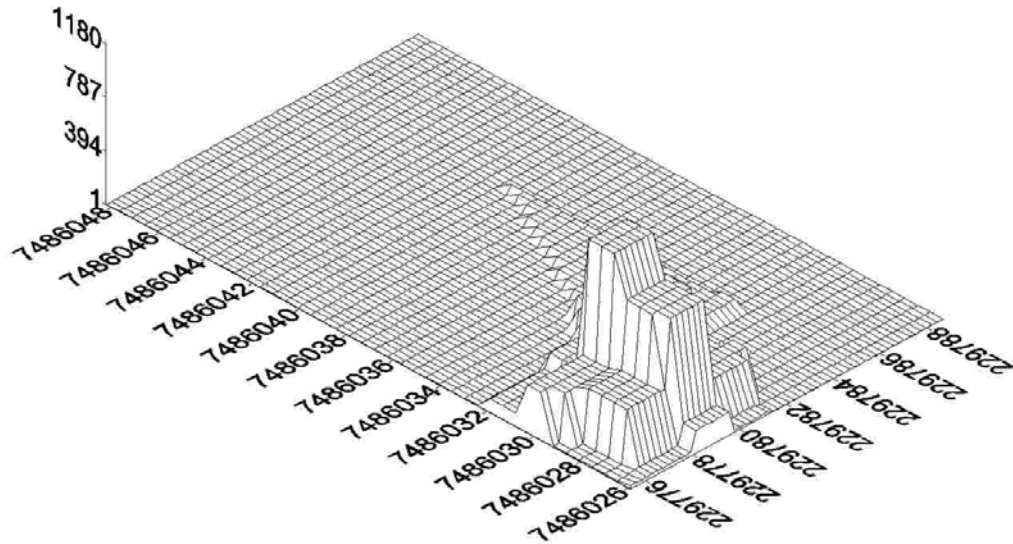
Anexo 16 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor R115



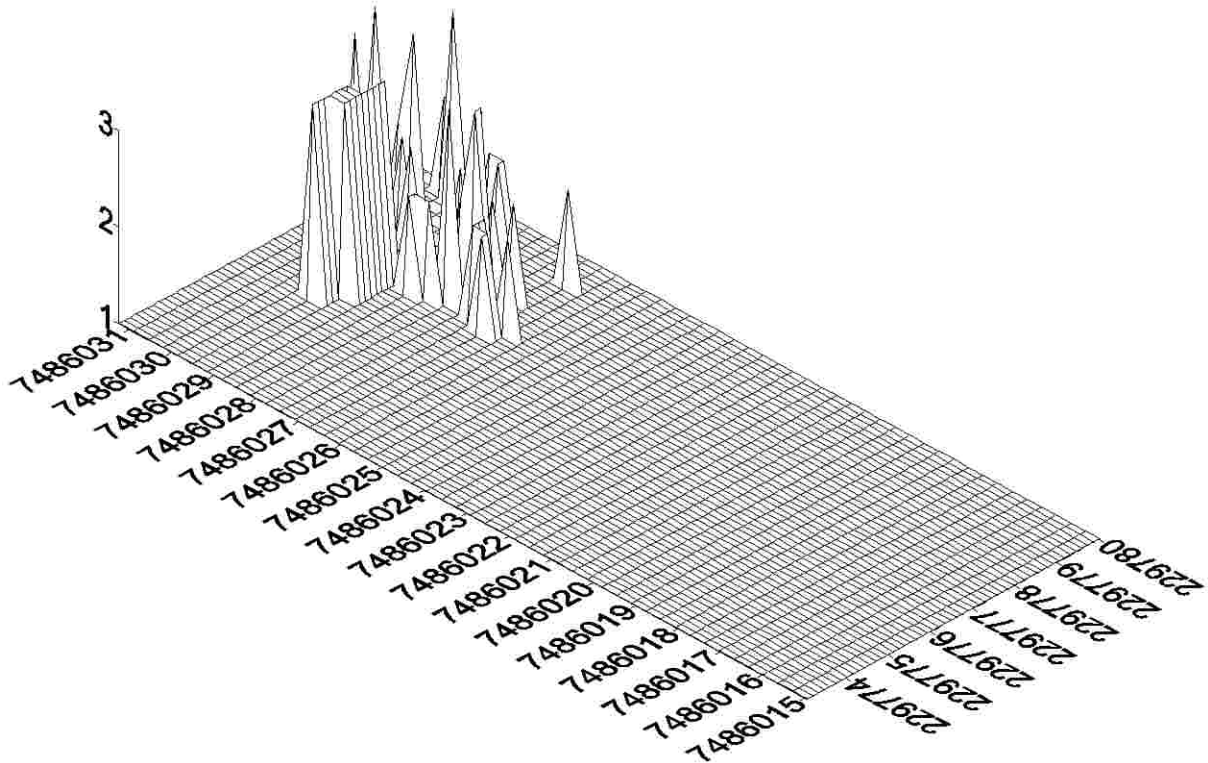
Anexo 17- Distribuição de dados em três dimensões do receptor R115 com correção diferencial EGNOS



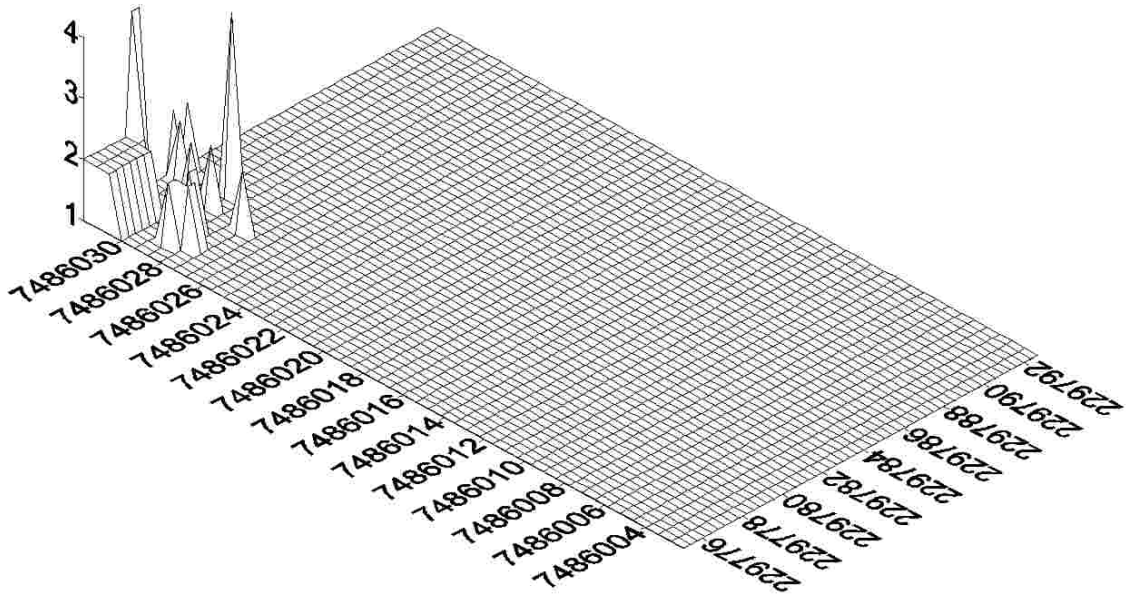
Anexo 18 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor R115 com correção diferencial WAAS



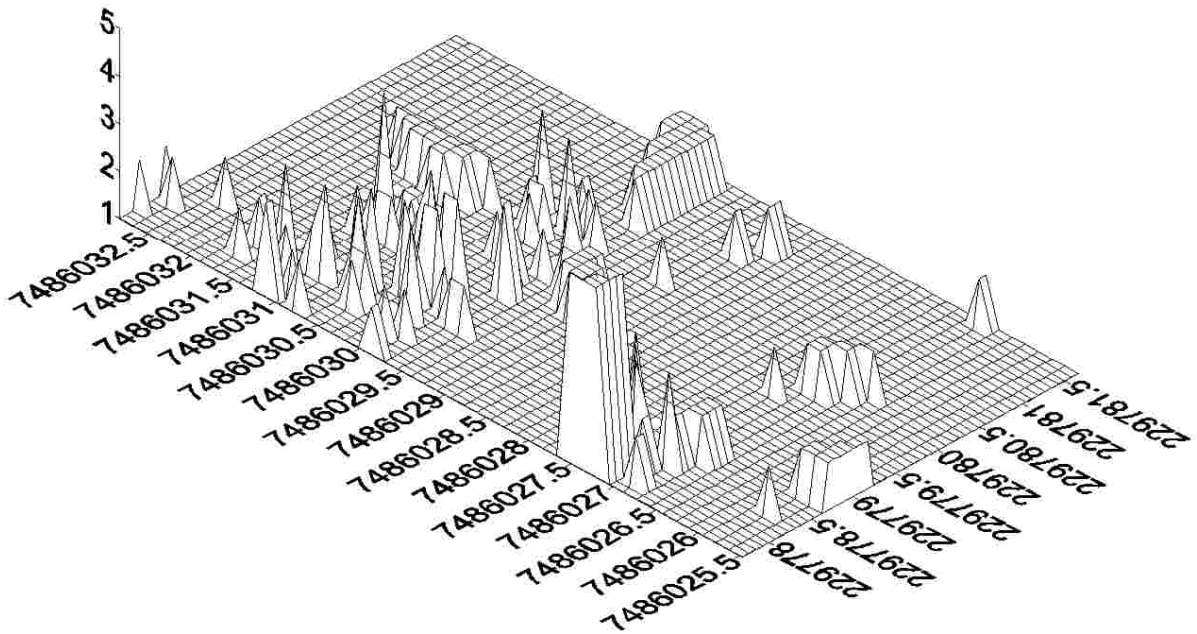
Anexo 19 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor OTM



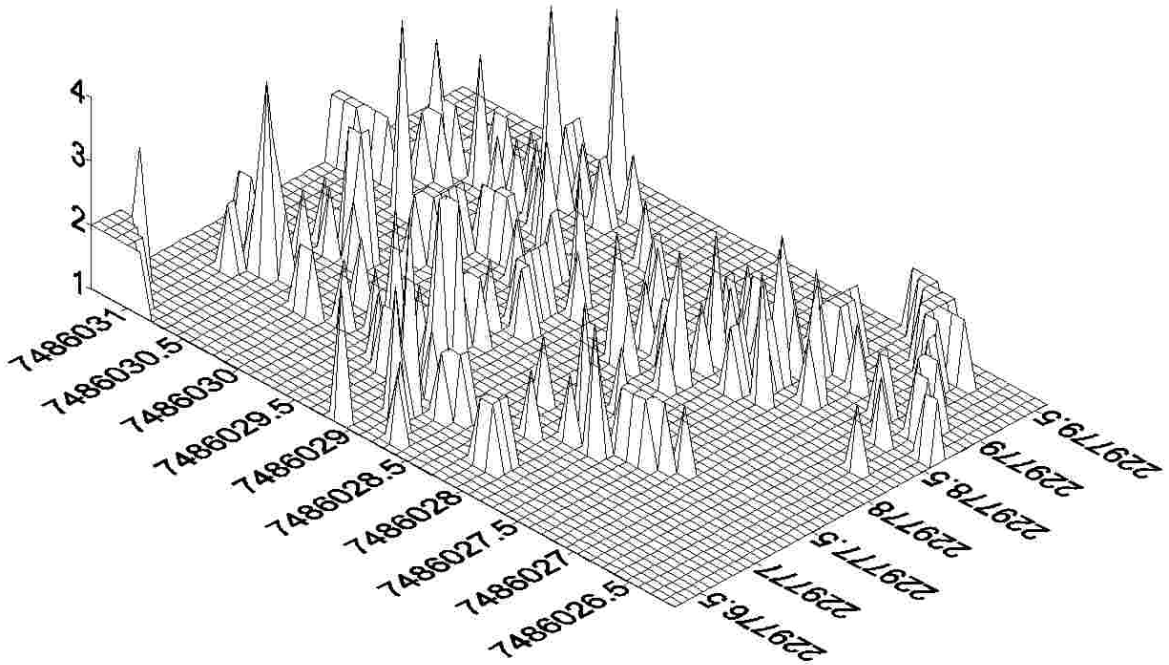
Anexo 20 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor AG132



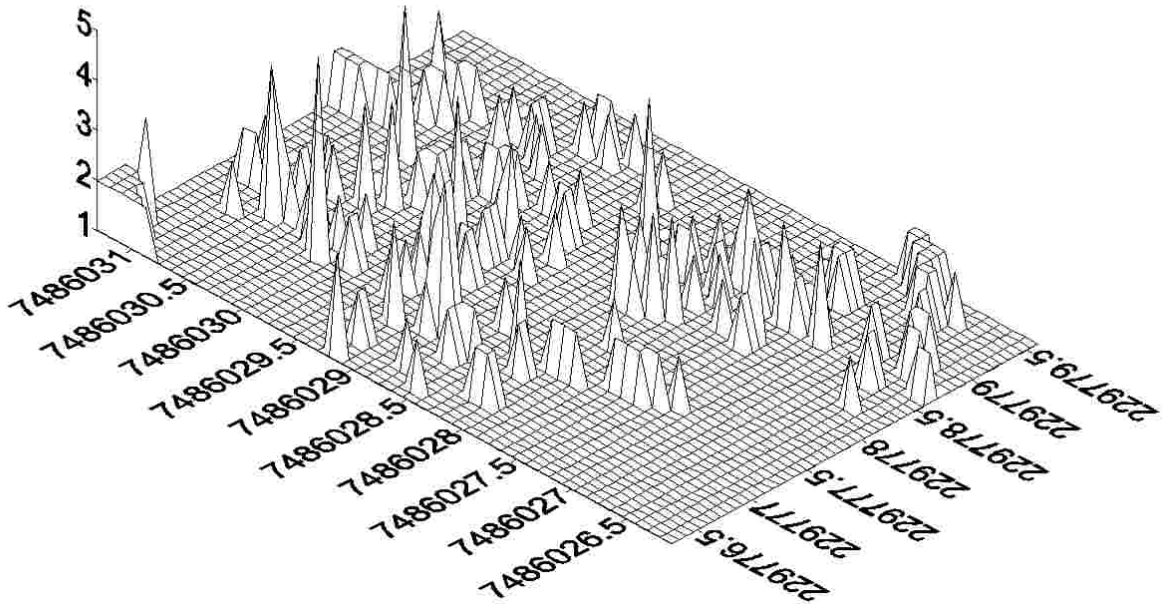
Anexo 21 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor AG132 sem filtro



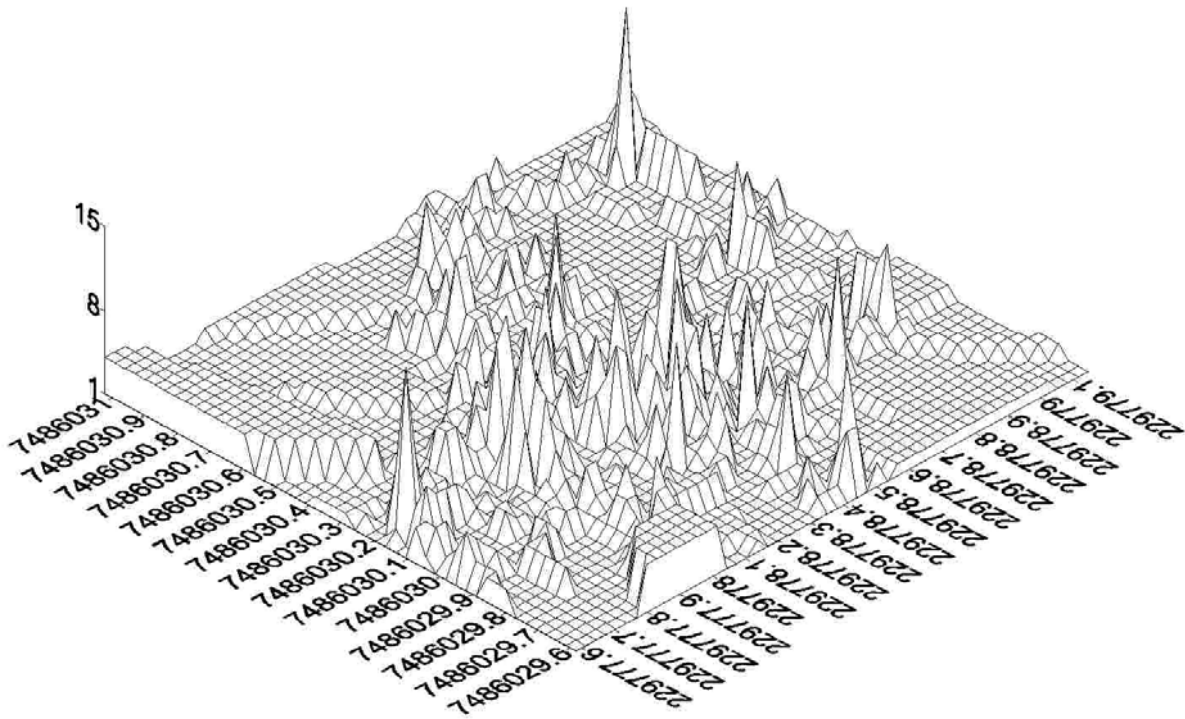
Anexo 22 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor AG132 com filtro estático máximo



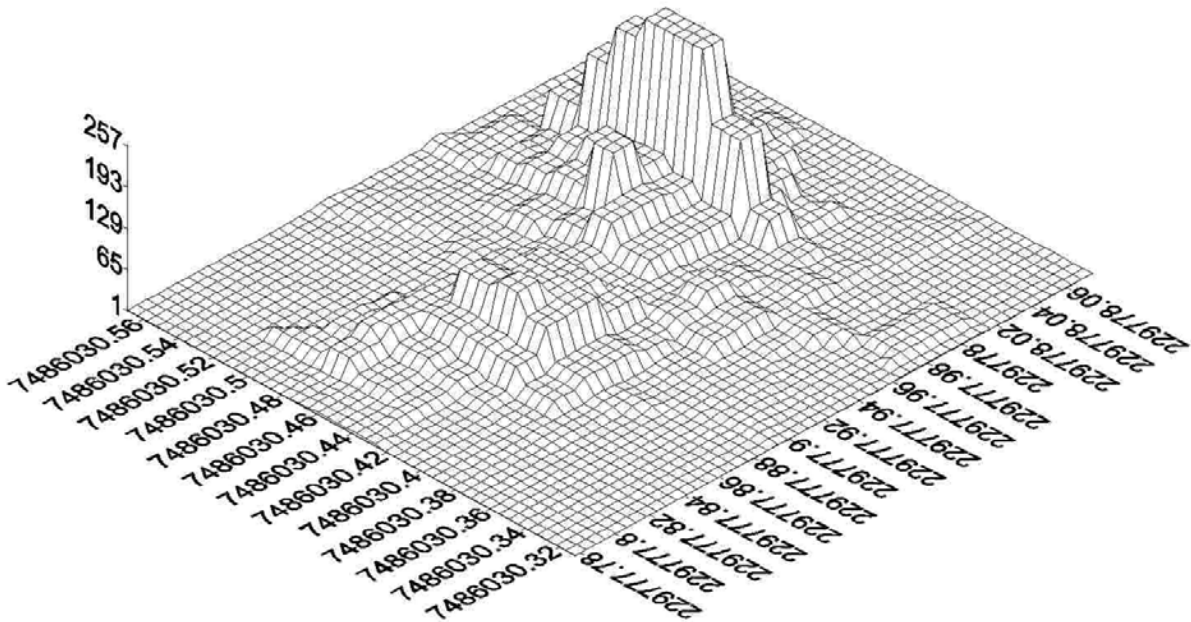
Anexo 23 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor SLXg



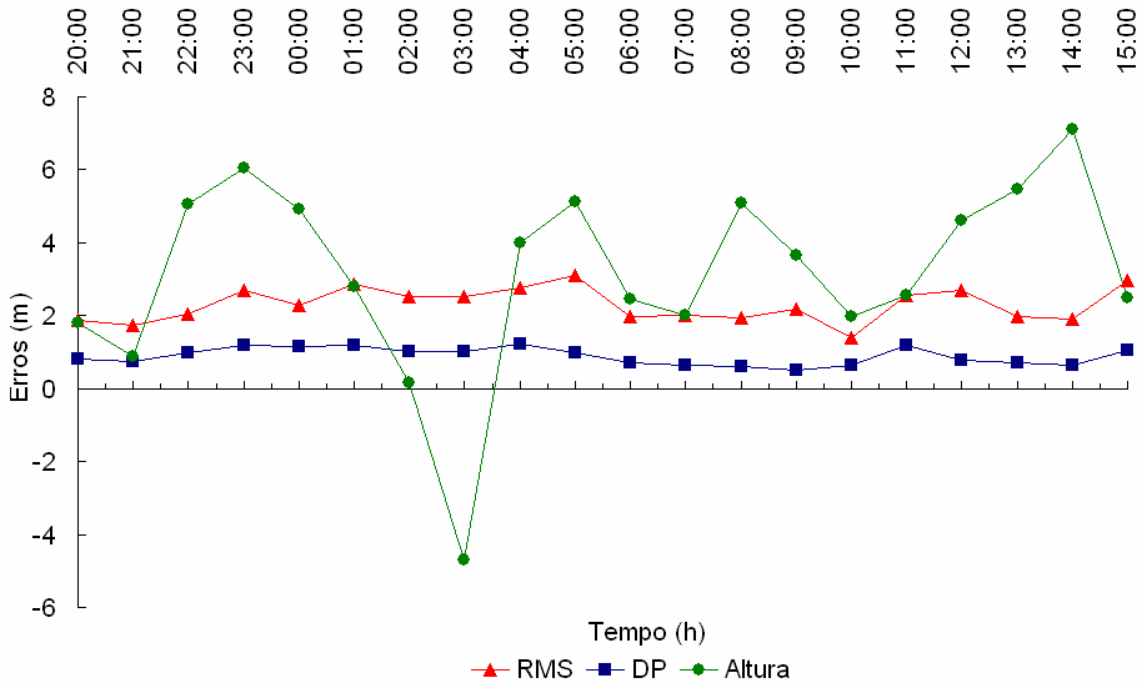
Anexo 24 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor JD



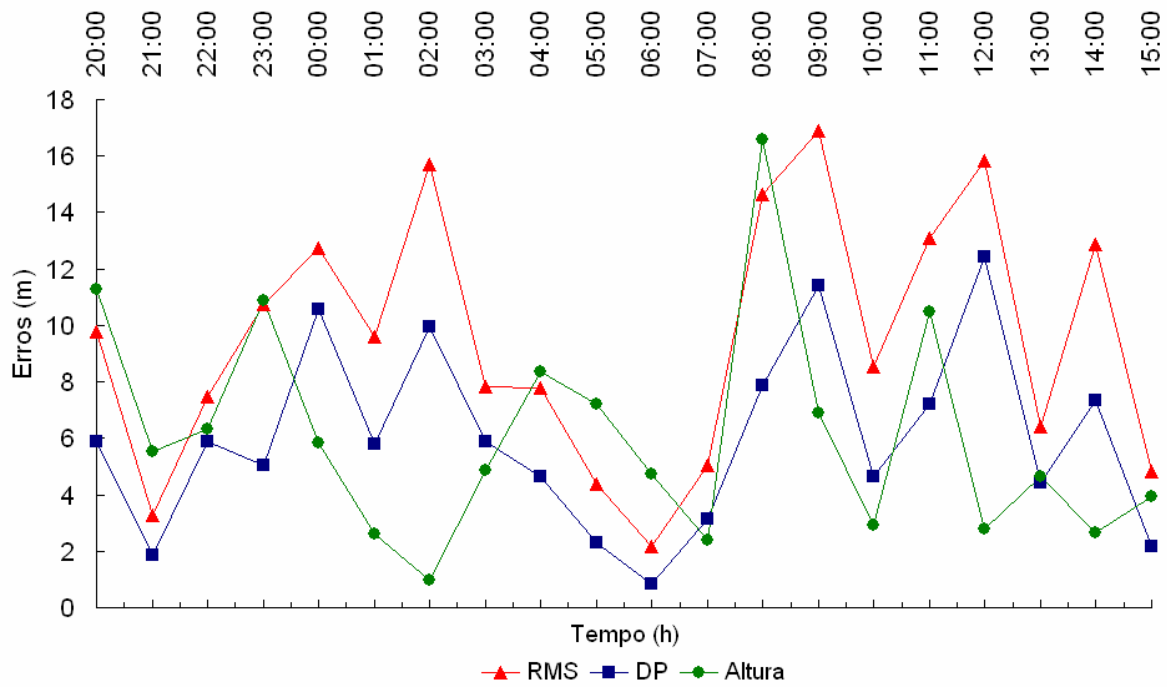
Anexo 25 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor JD com SF1



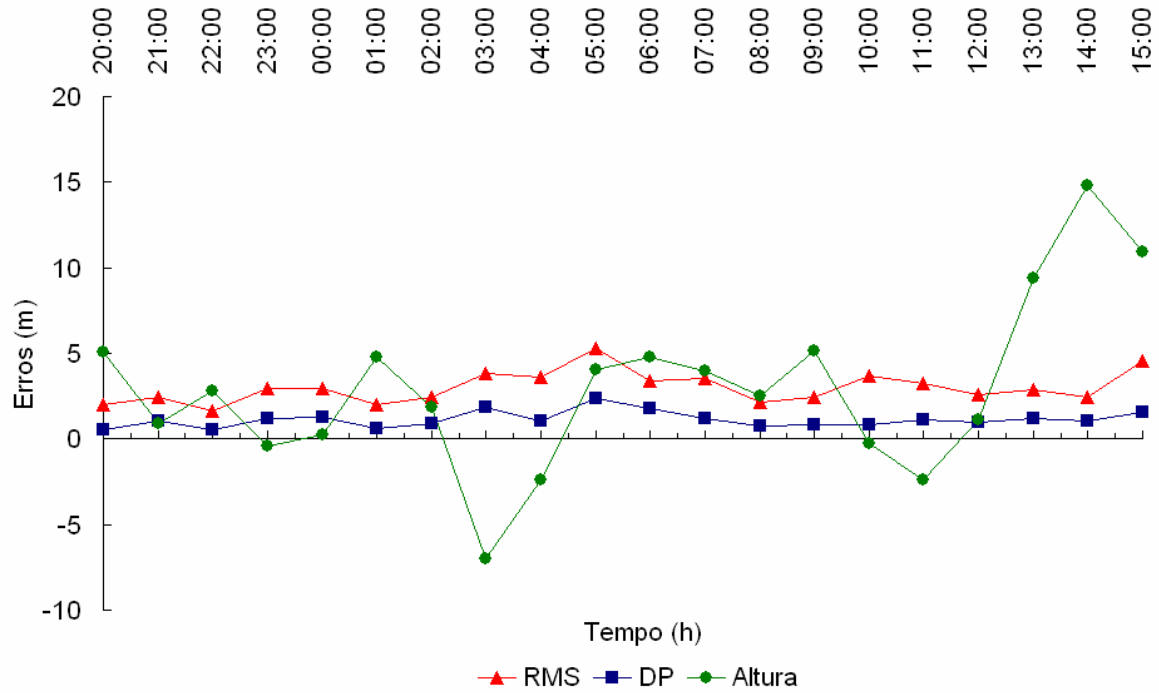
Anexo 26 - Distribuição de dados em três dimensões do receptor JD com SF2



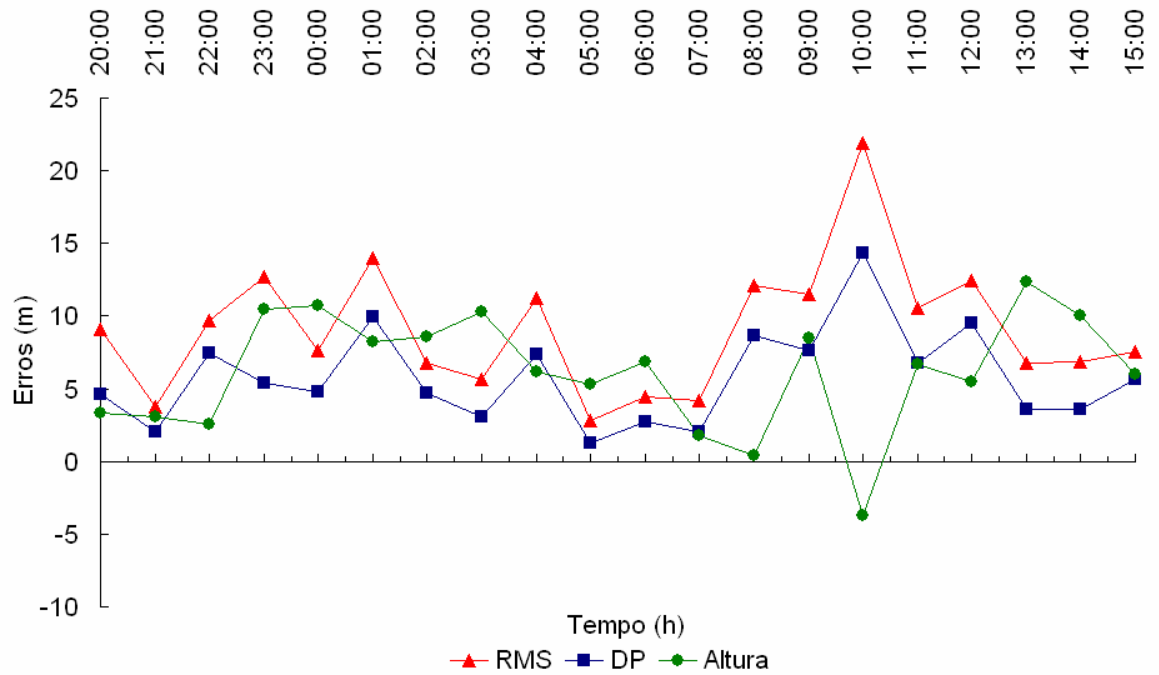
Anexo 27 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor L



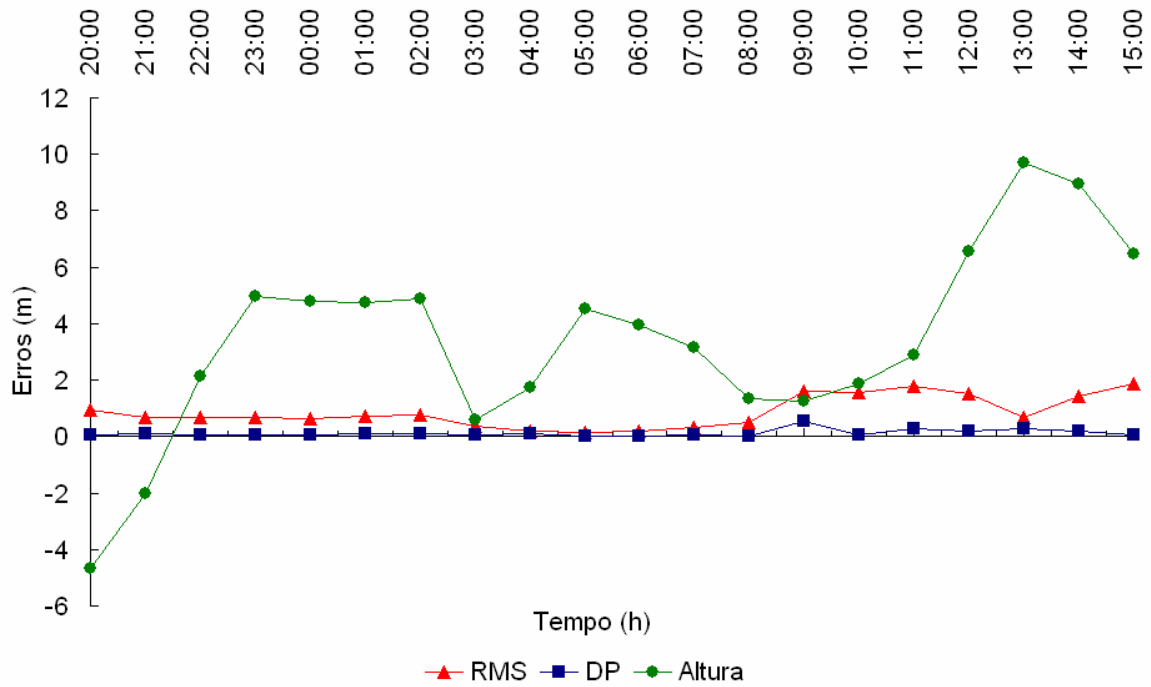
Anexo 28 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor L com correção diferencial EGNOS



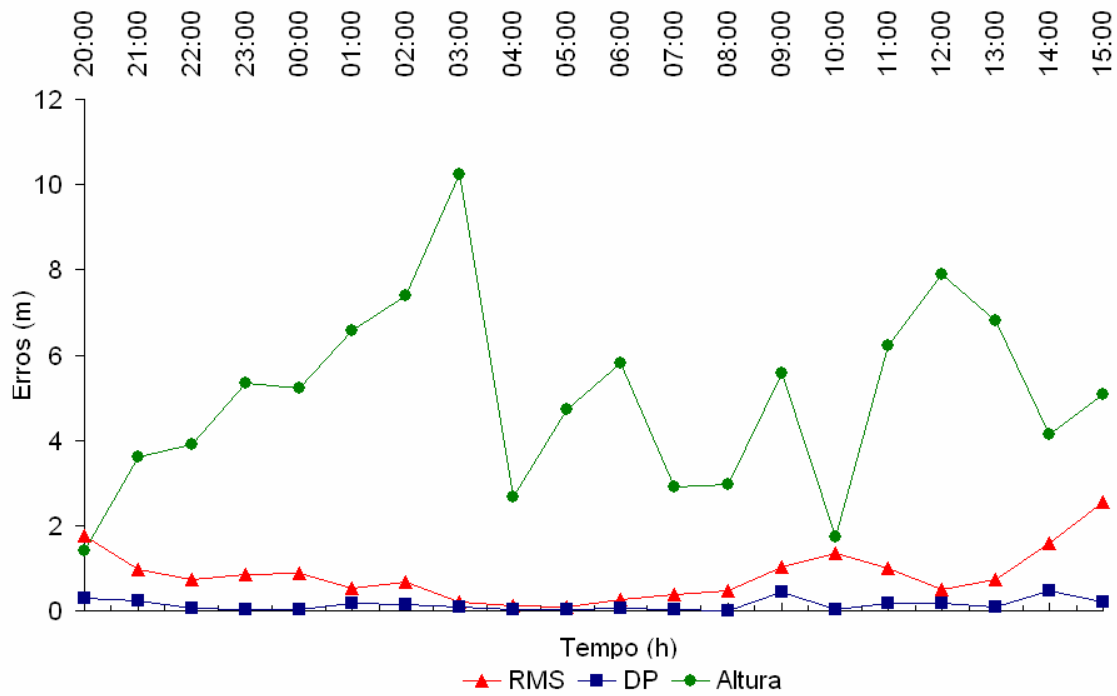
Anexo 29 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor V



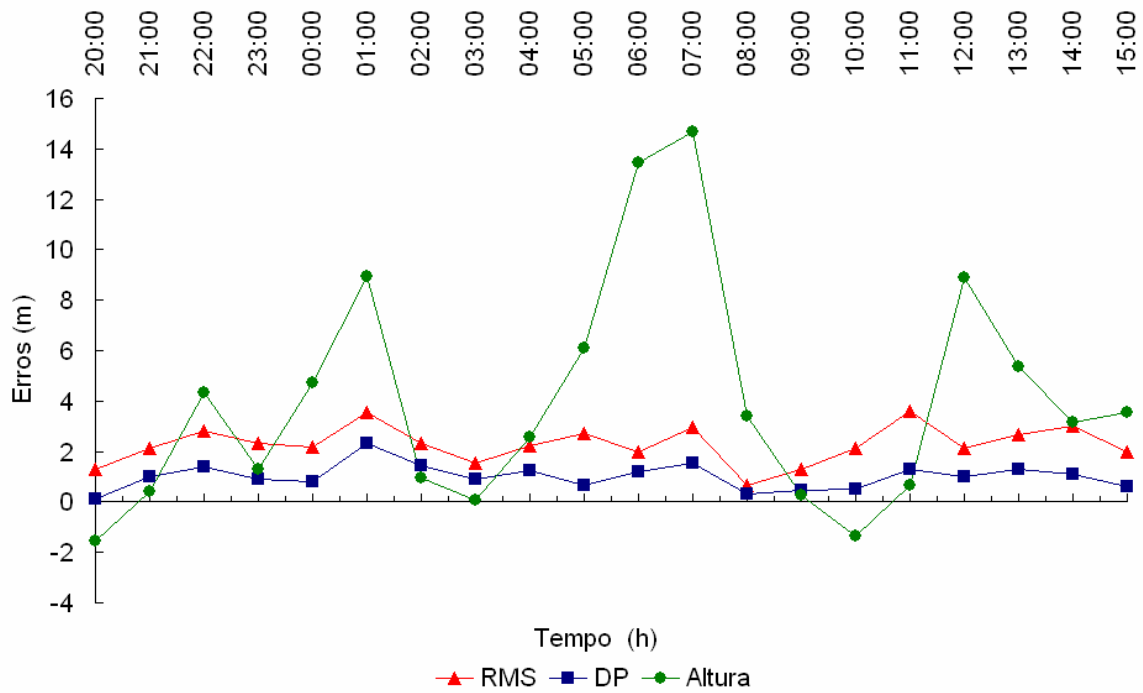
Anexo 30 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor V com correção diferencial EGNOS



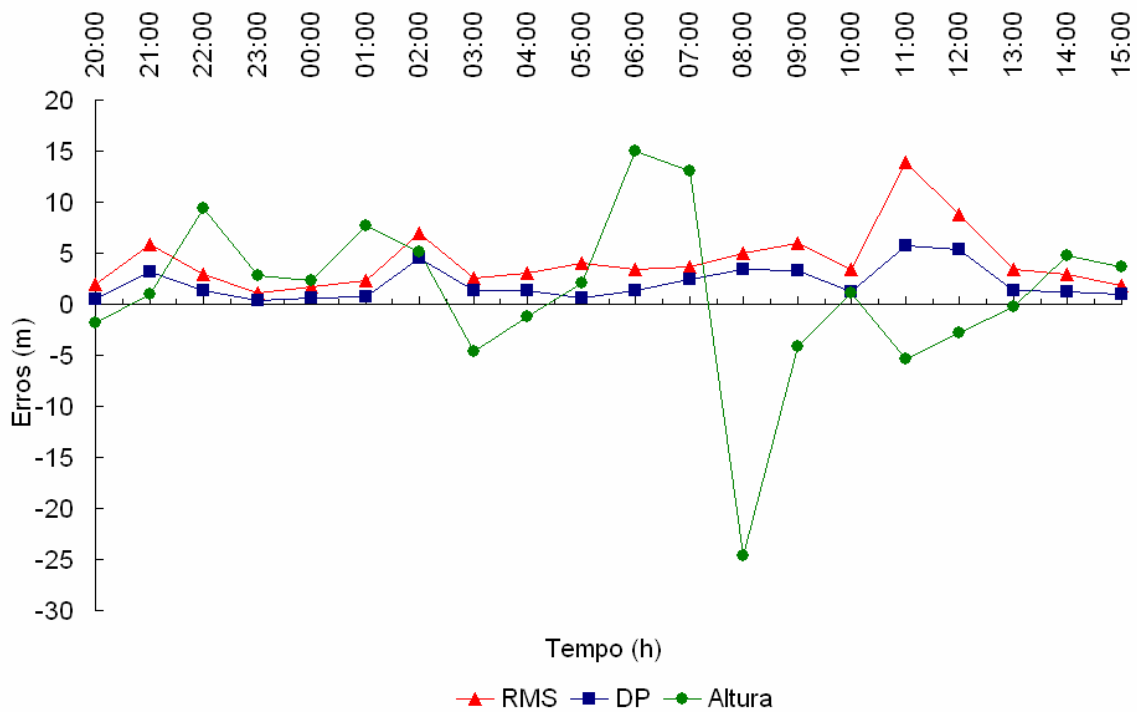
Anexo 31 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor CX



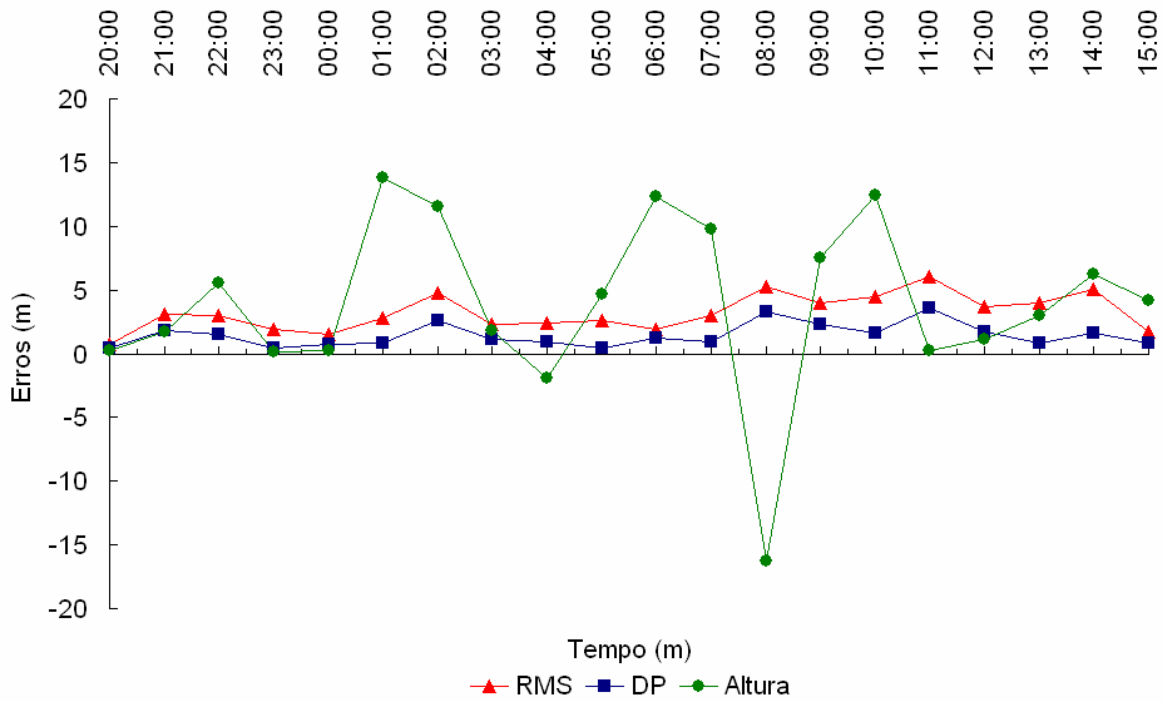
Anexo 32 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor CX com correção diferencial EGNOS



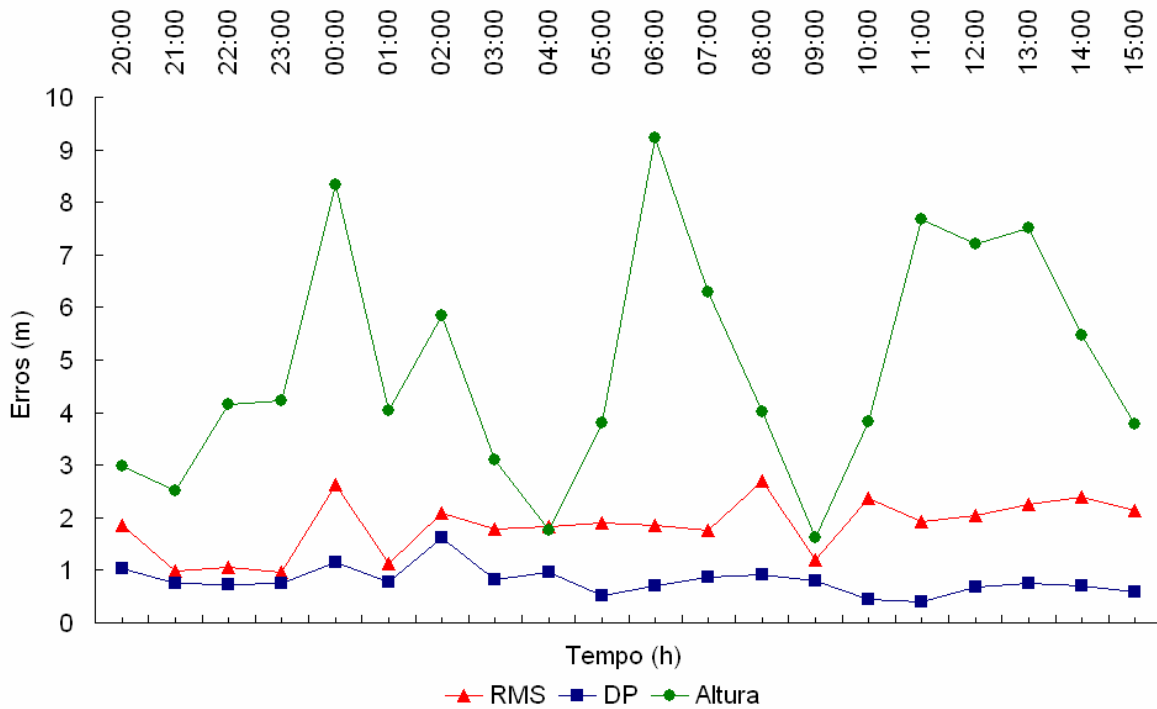
Anexo 33 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor R115



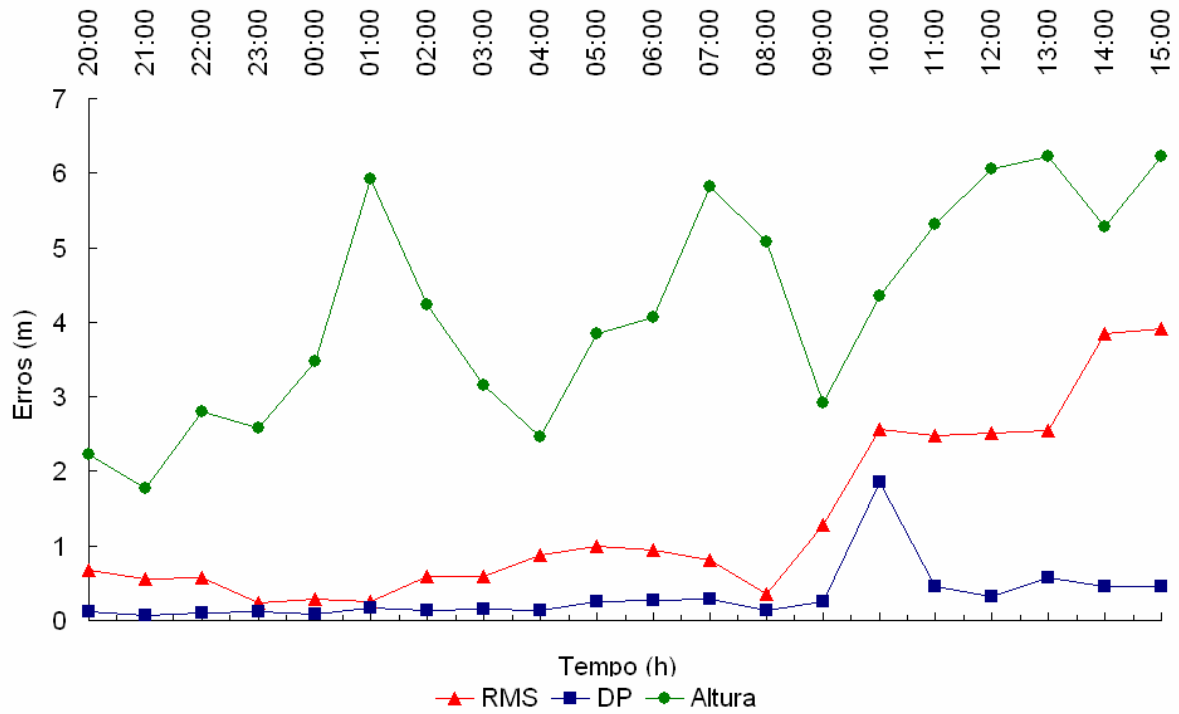
Anexo 34 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor R115 com correção diferencial EGNOS



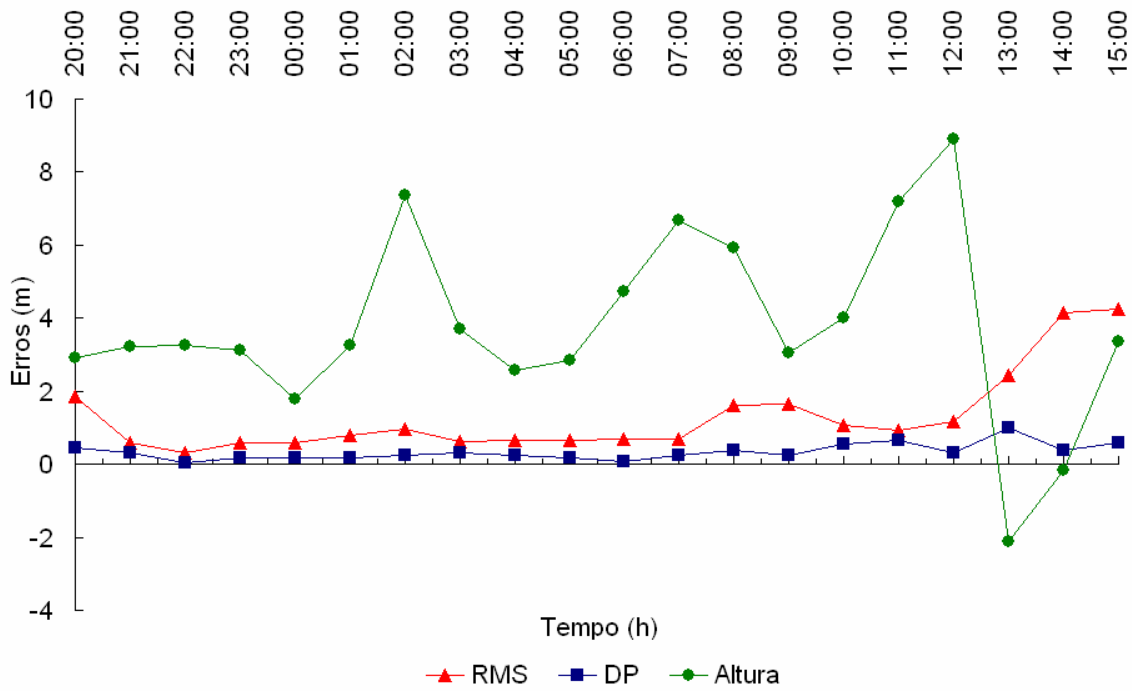
Anexo 35 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor R115 com correção diferencial WAAS



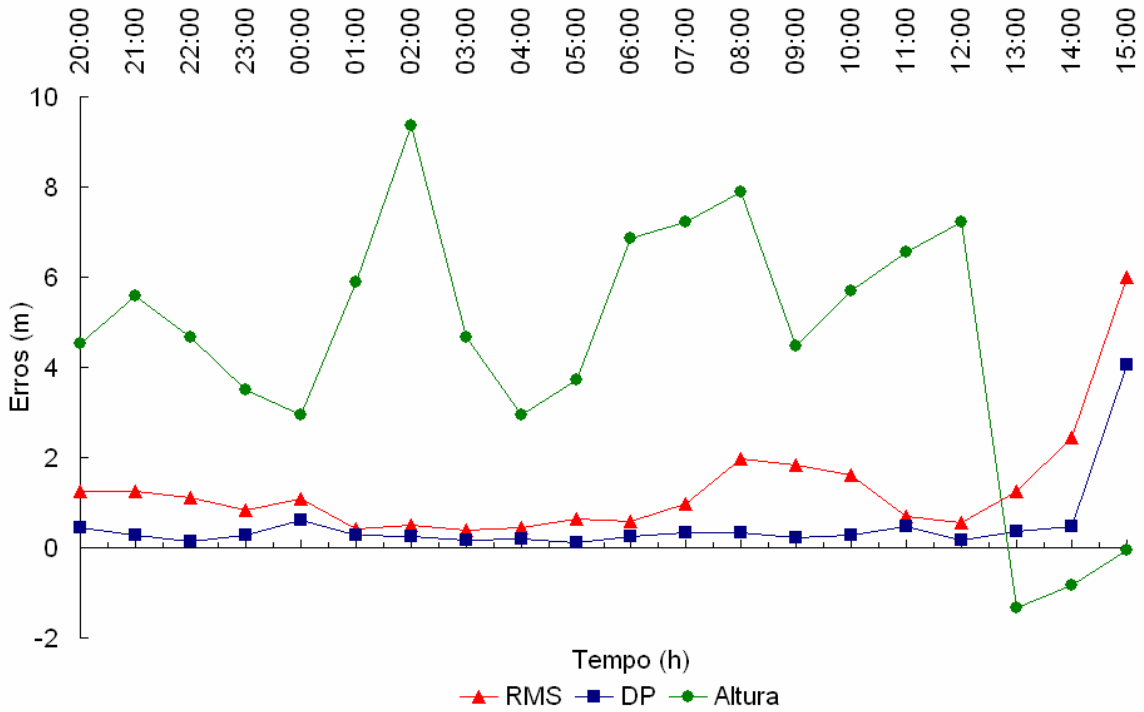
Anexo 36 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor OTM



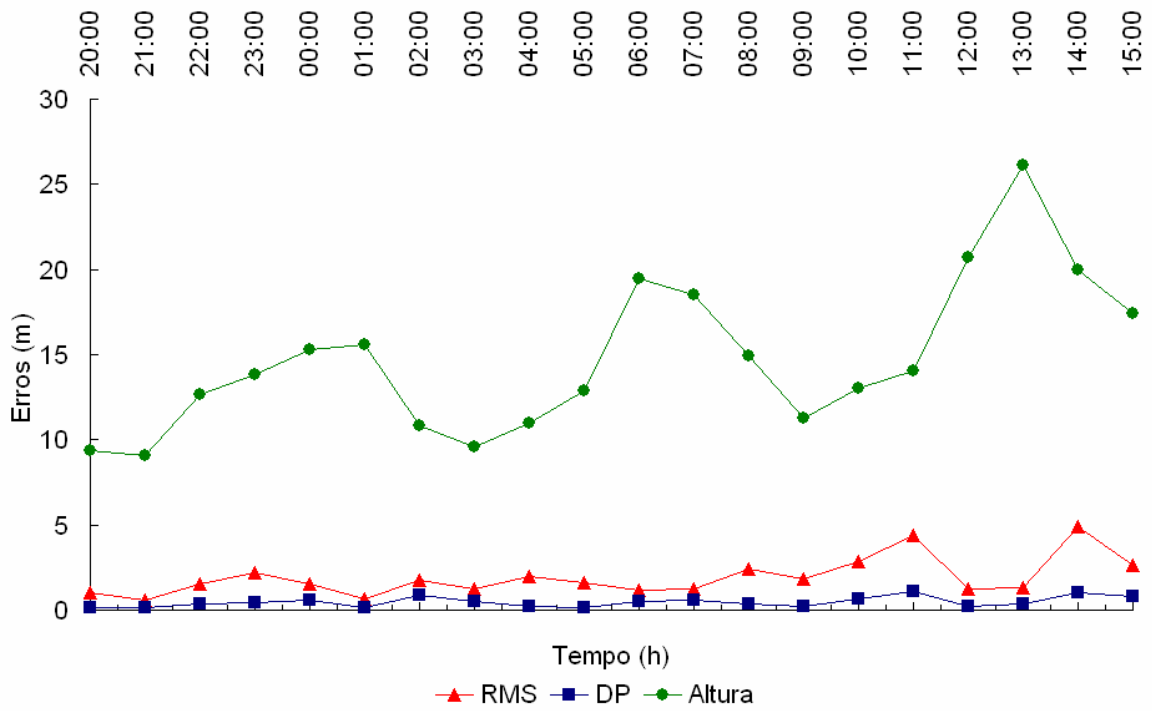
Anexo 37 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor AG132



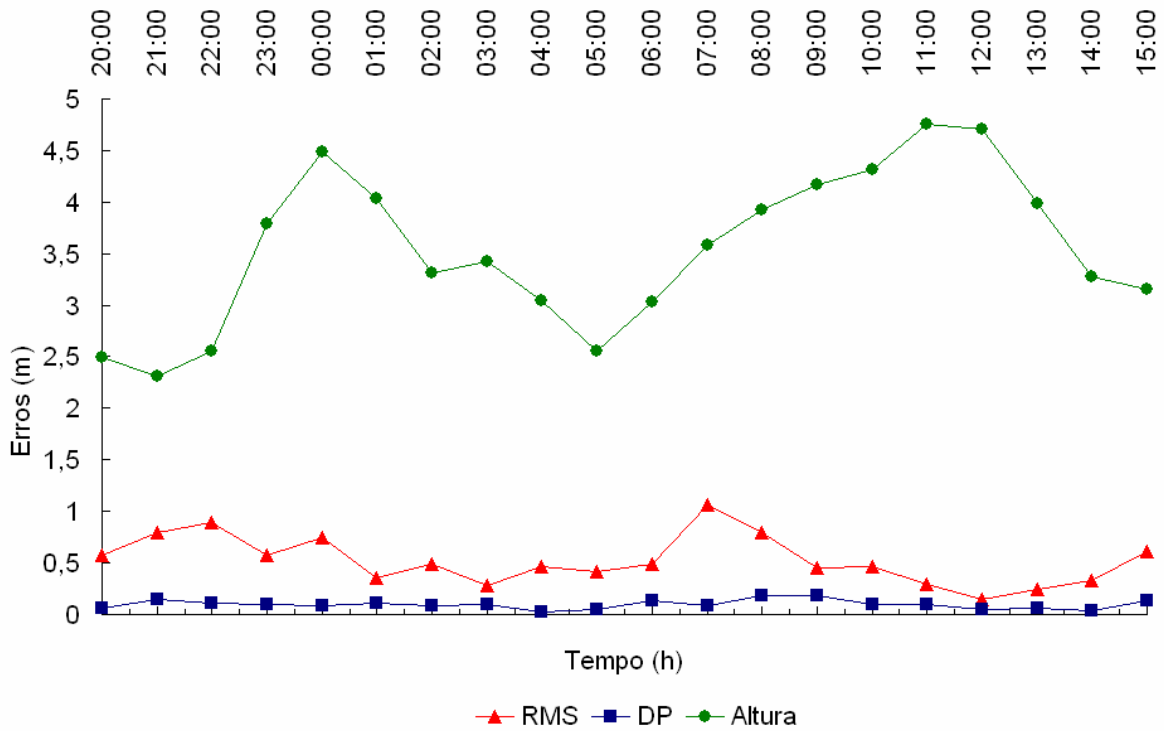
Anexo 38 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor AG132 com filtro estático máximo



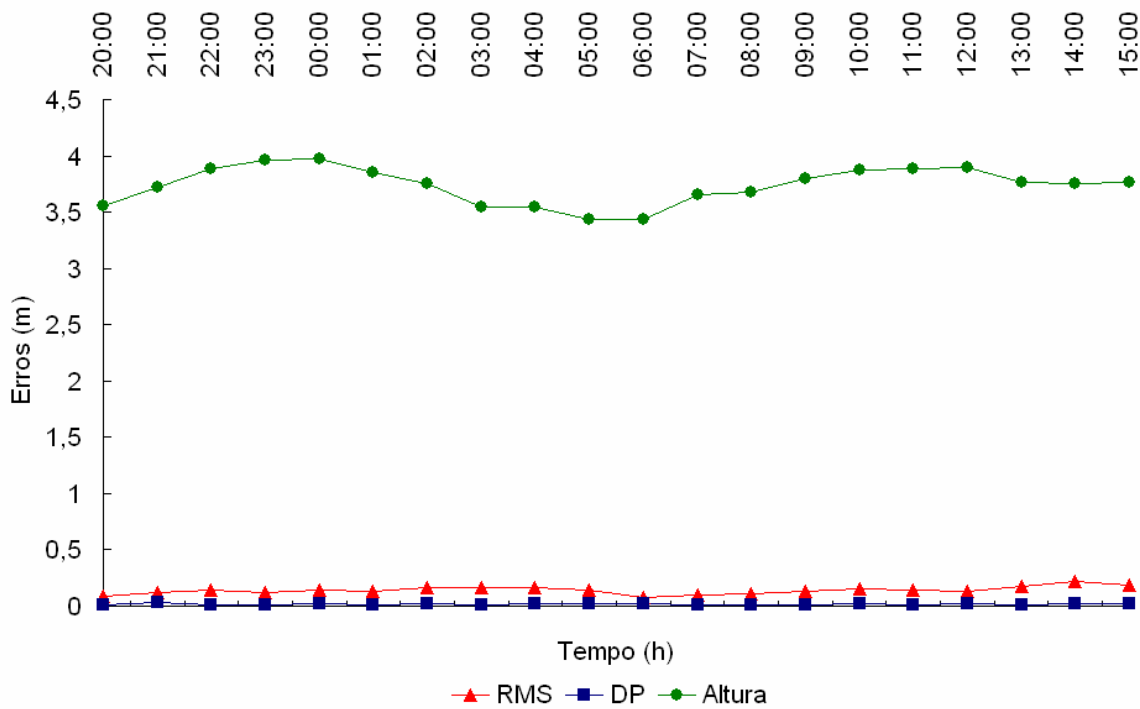
Anexo 39 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor AG132 sem filtro



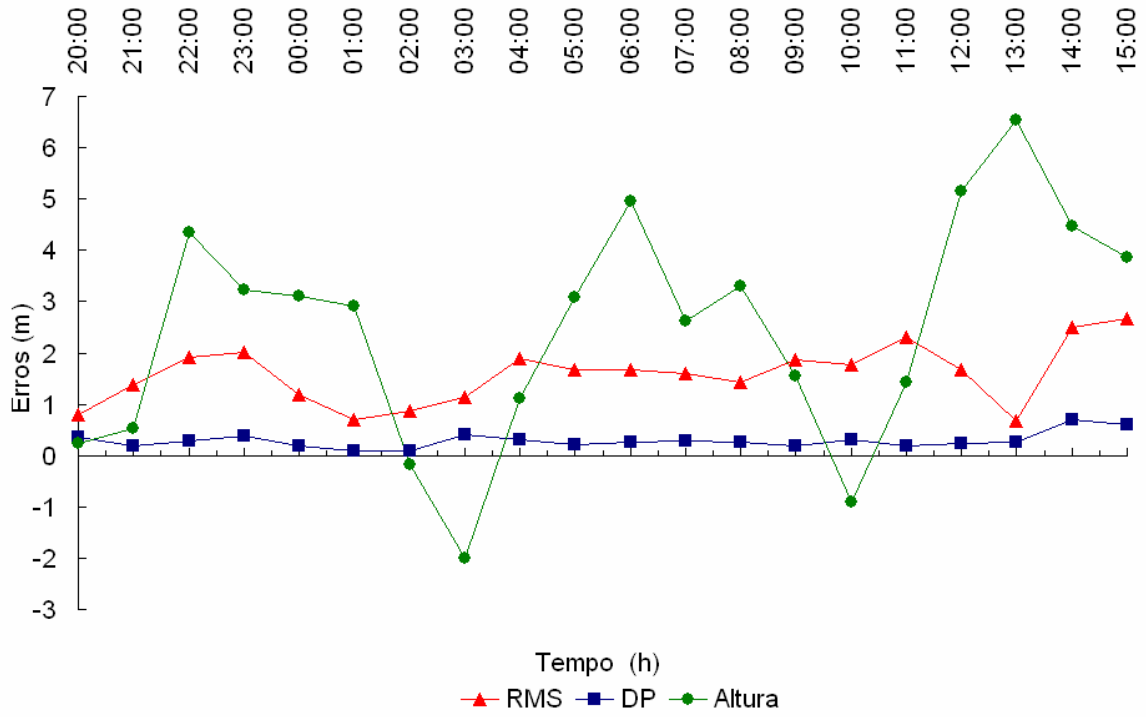
Anexo 40 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor JD



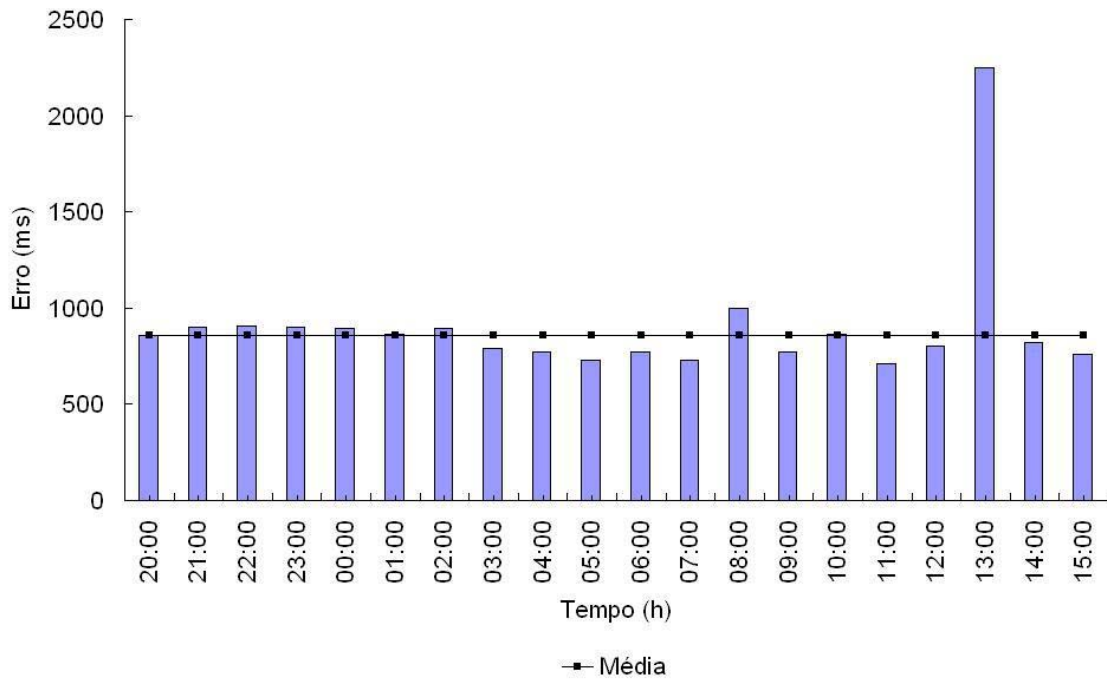
Anexo 41 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor JD com correção diferencial SF1



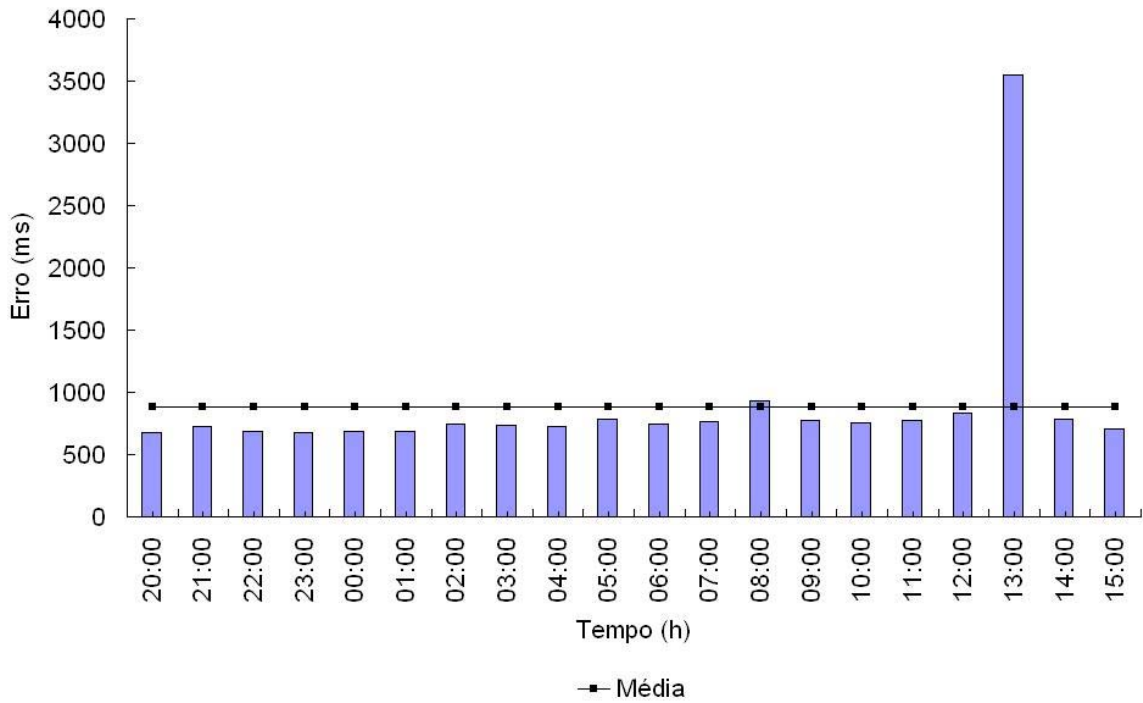
Anexo 42 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor JD com correção diferencial SF2



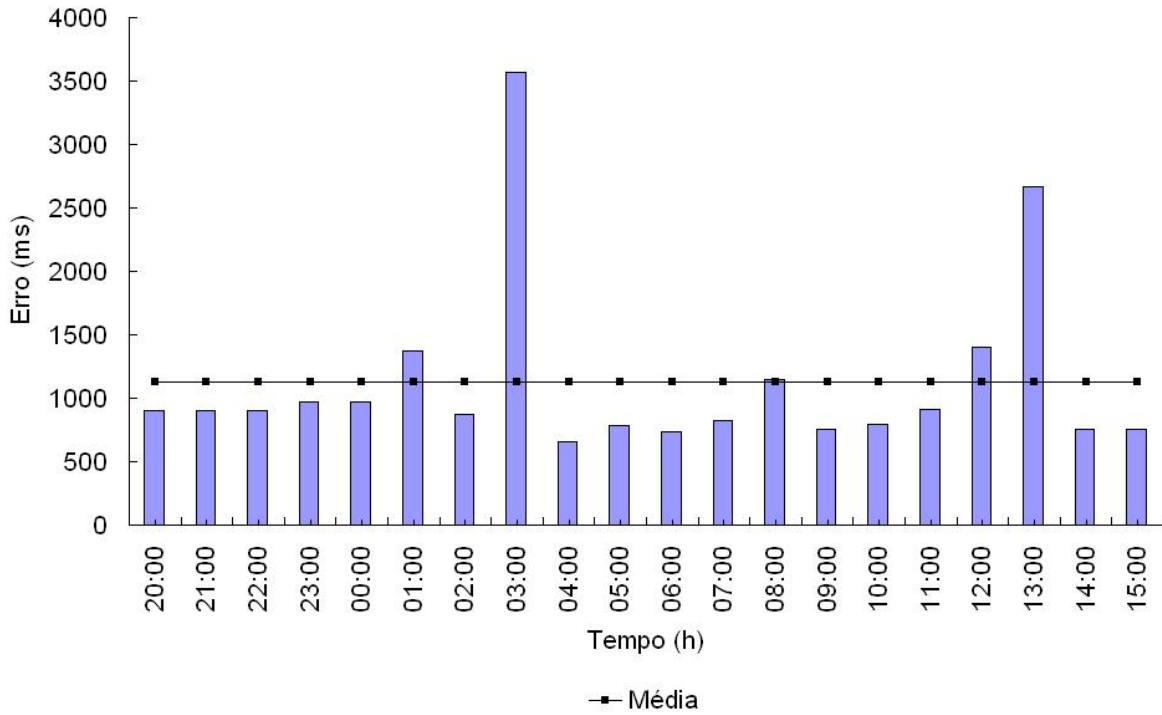
Anexo 43 - Variação dos erros circular padrão, de altura e acurácia do receptor SLXg



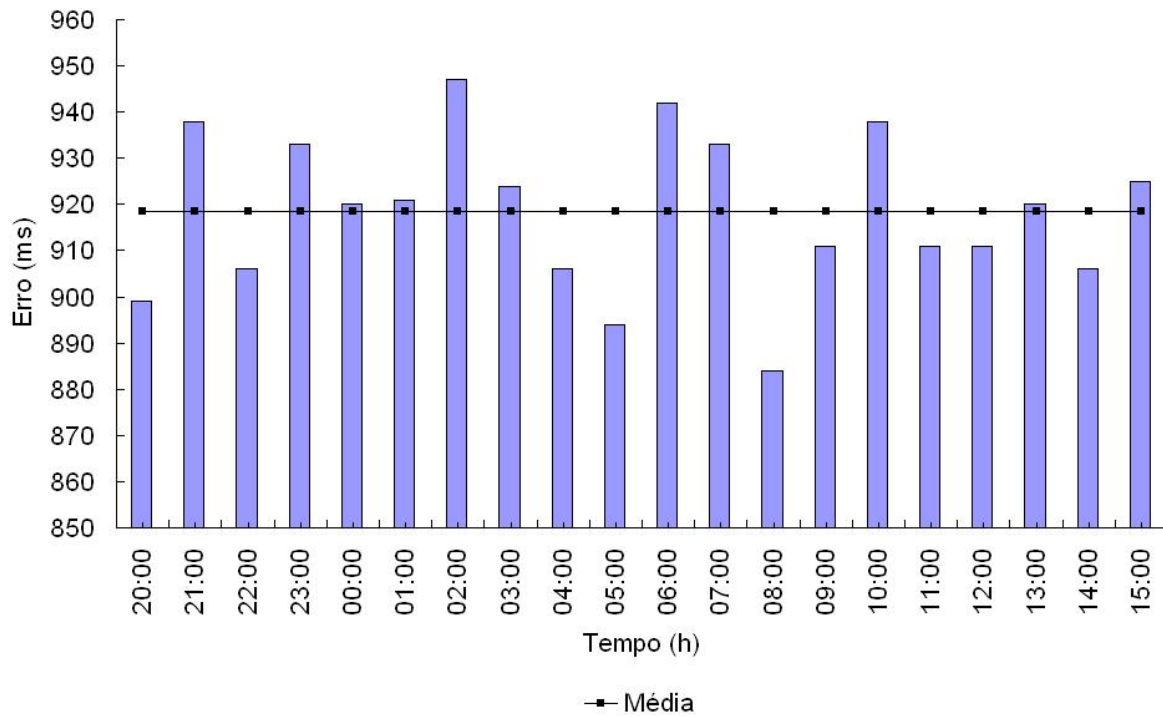
Anexo 44 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor R115



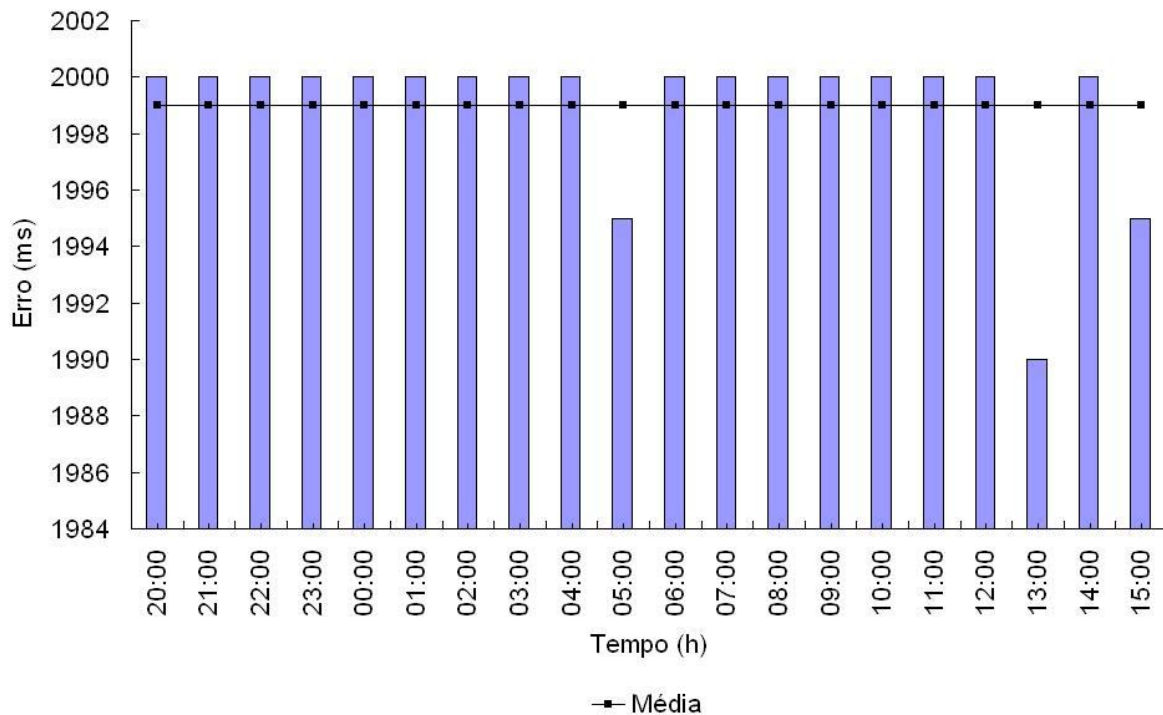
Anexo 45 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor R115 com correção diferencial EGNOS



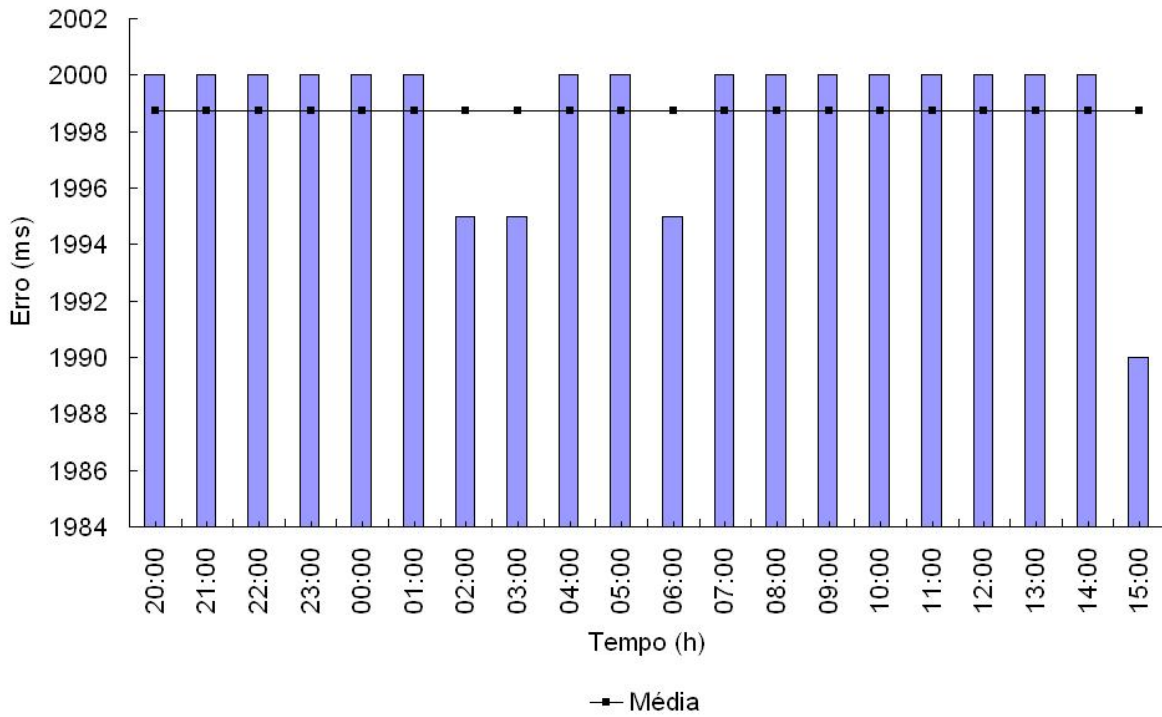
Anexo 46 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor R115.com correção diferencial WAAS



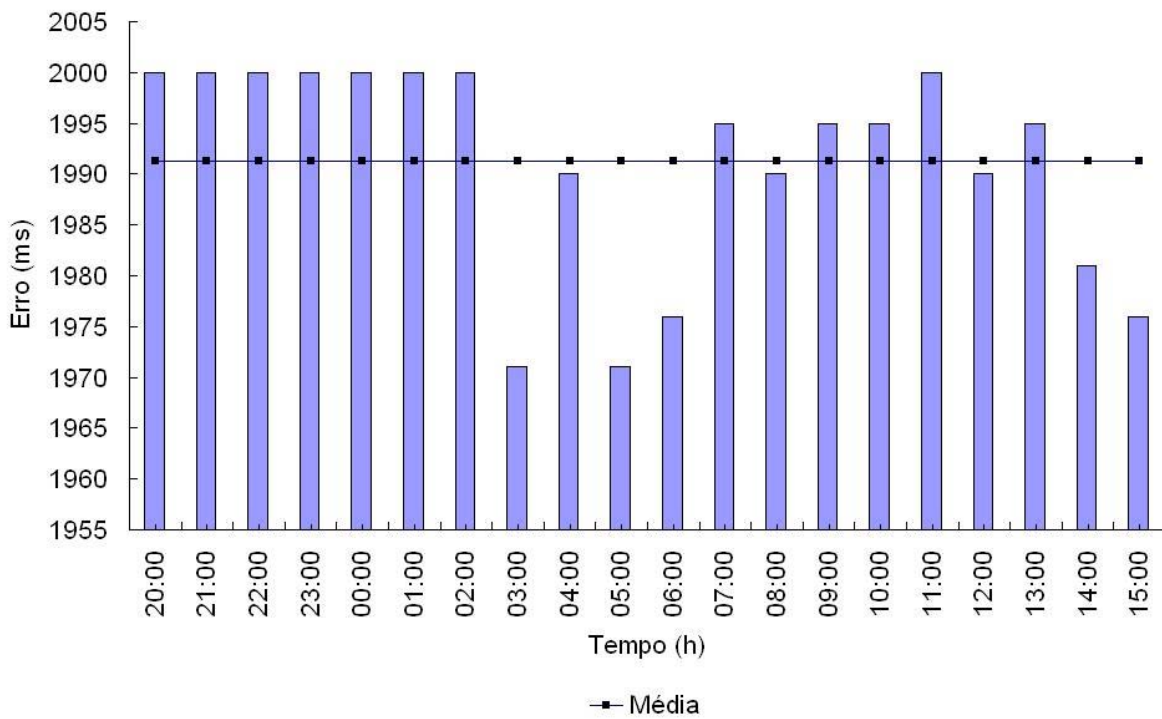
Anexo 47 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor OTM



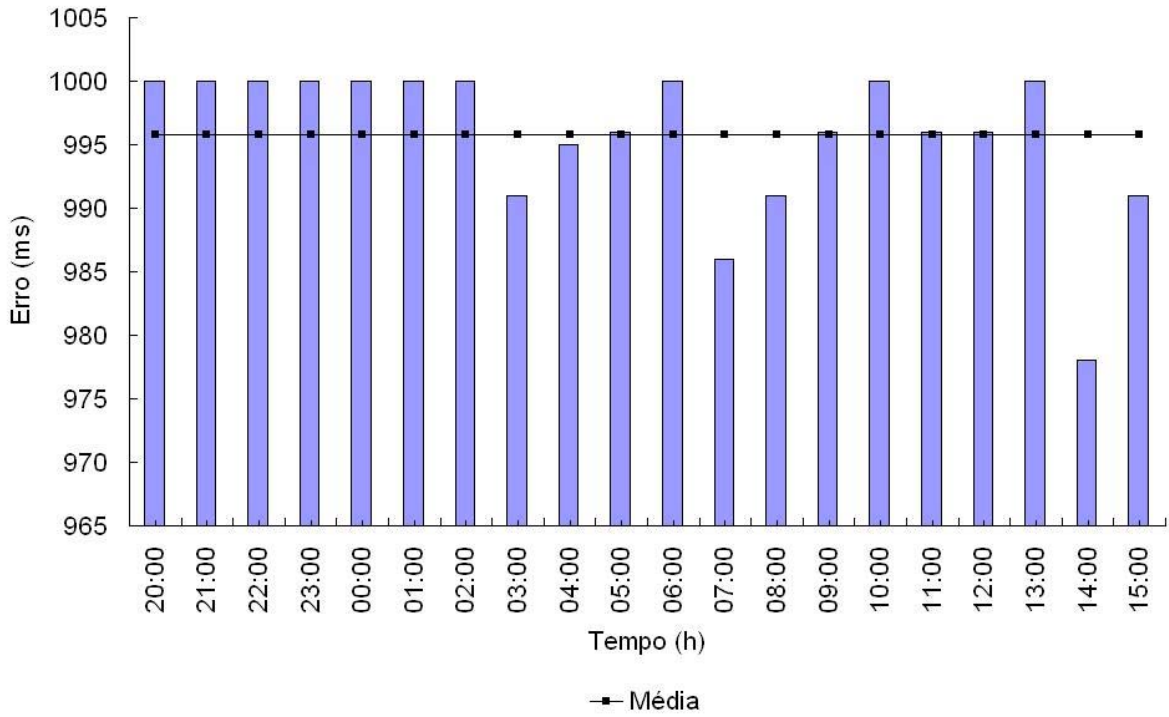
Anexo 48 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor AG132



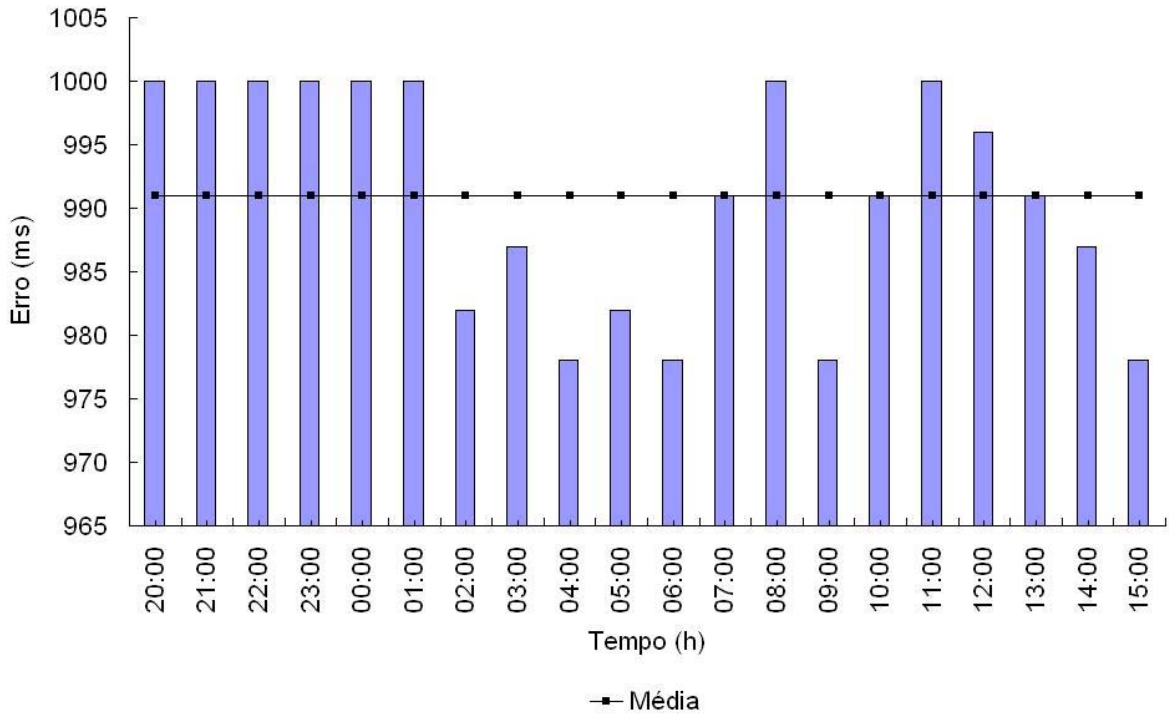
Anexo 49 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor AG132 sem filtro



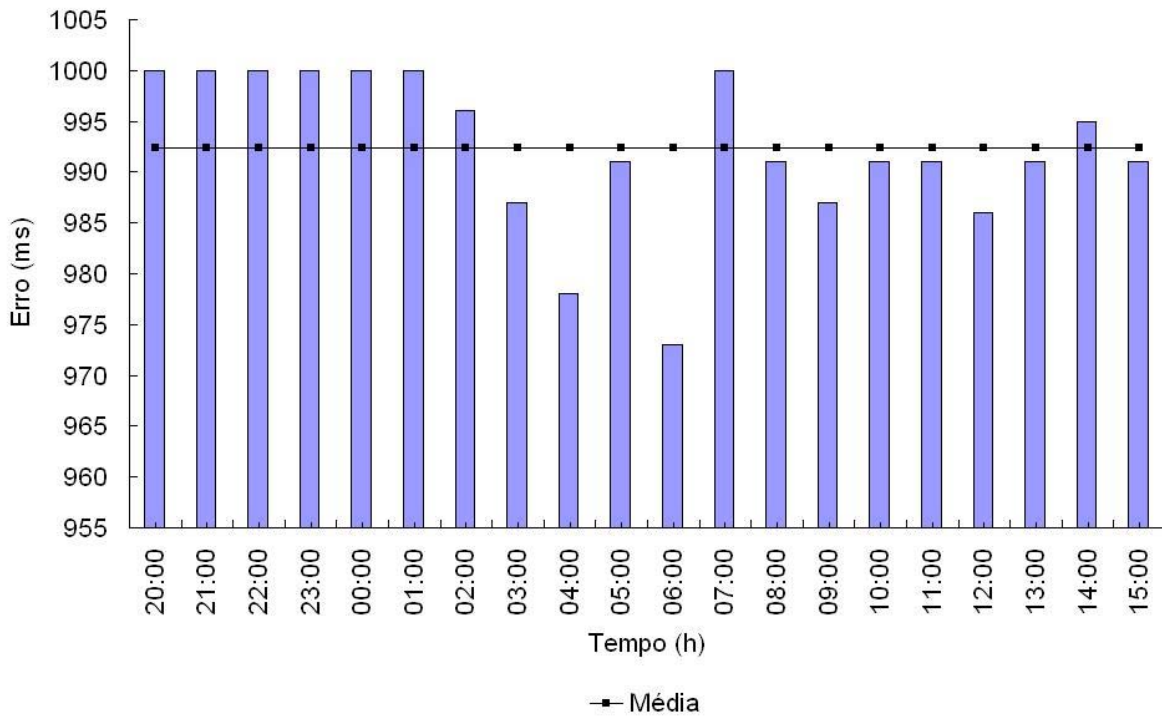
Anexo 50 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor AG132 com filtro estático máximo



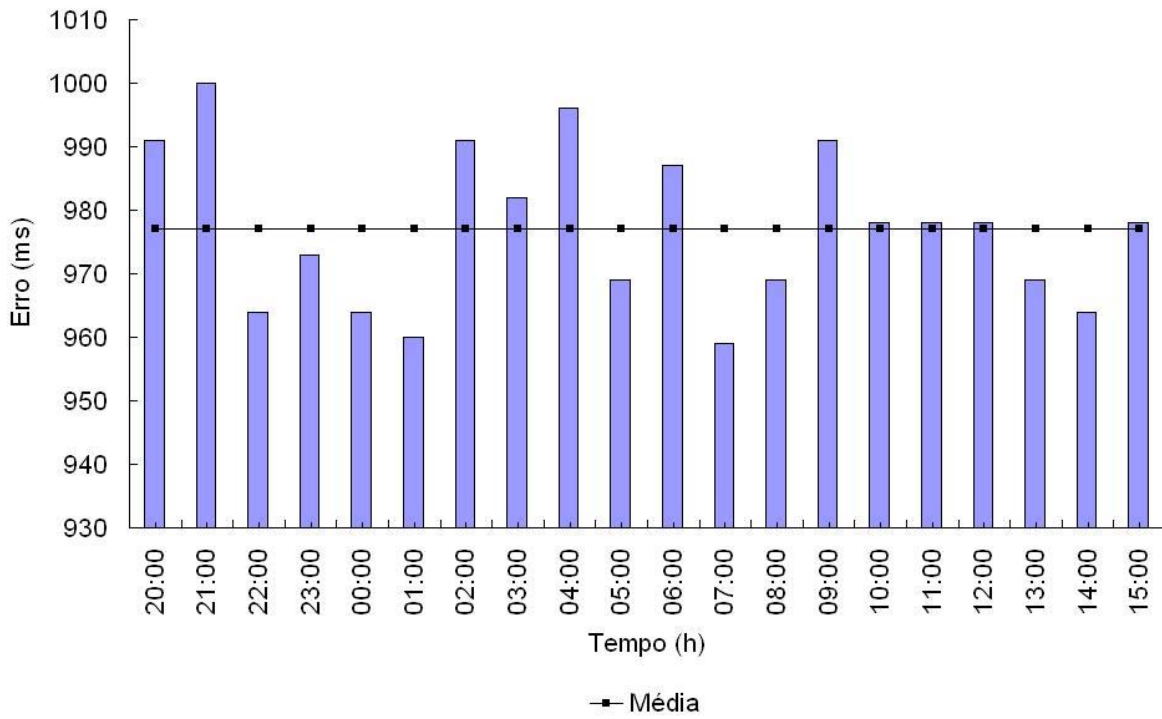
Anexo 51 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor JD



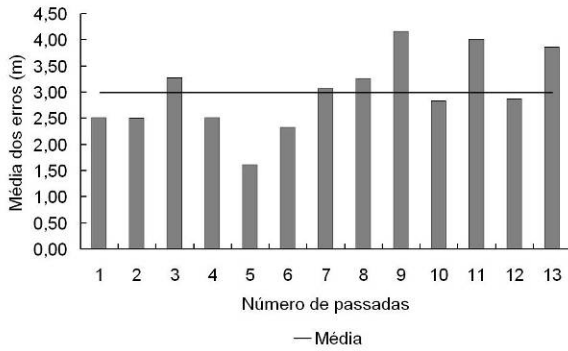
Anexo 52 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor JD com correção diferencial SF1



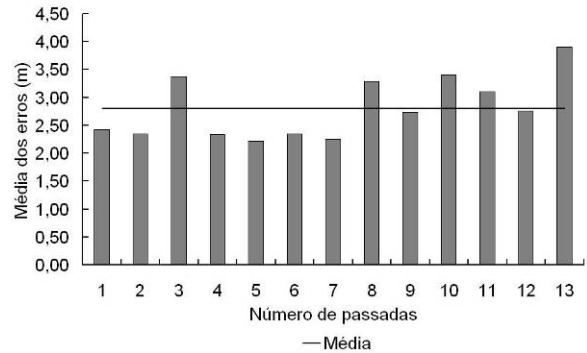
Anexo 53 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor JD com correção diferencial SF2



Anexo 54 - Variação do erro no intervalo de coleta do receptor SLXg

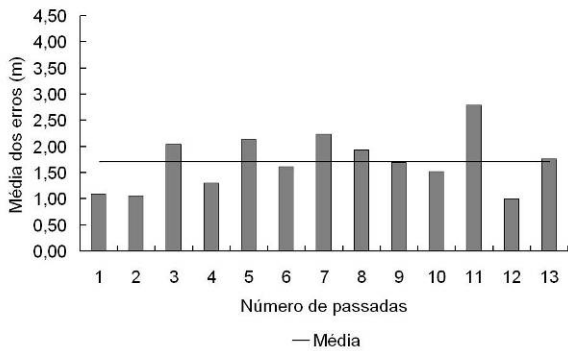


(a)

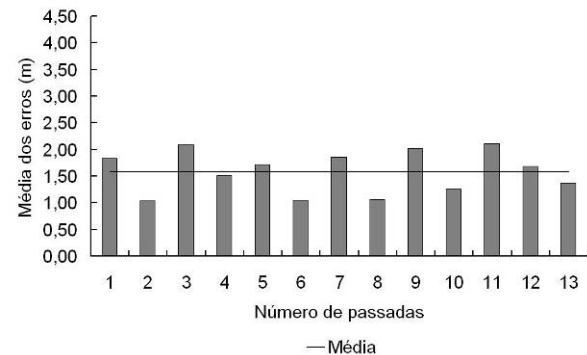


(b)

Anexo 55 – Média dos erros dos trajetos do trator com os receptores V (a) e C (b) com a coleta de um ponto a cada 10 s, no dia 23.04.2007

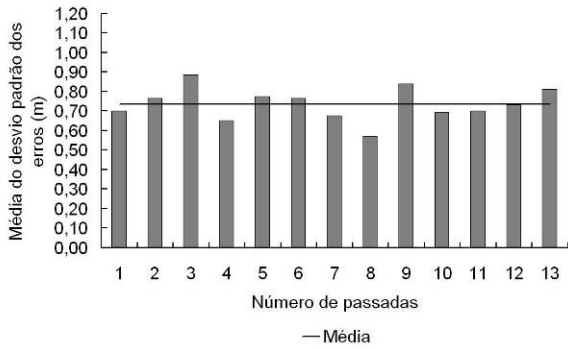


(a)

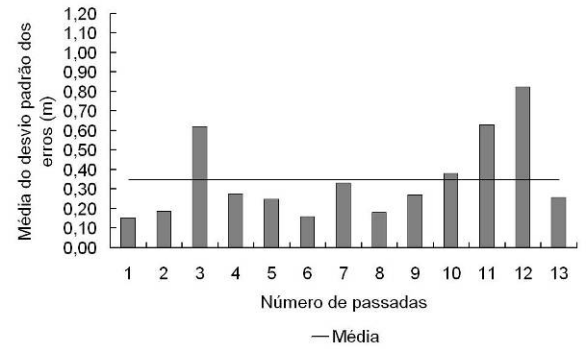


(b)

Anexo 56 - Média dos erros dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com a coleta de um ponto a cada 5 s, no dia 24.04.2007

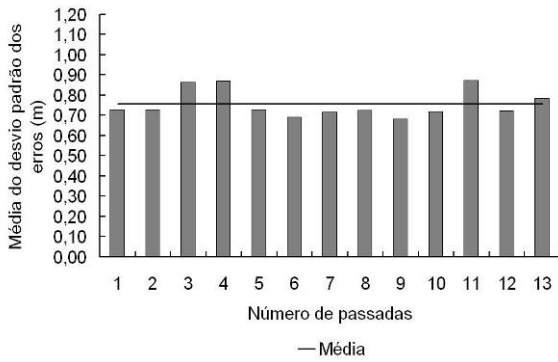


(a)

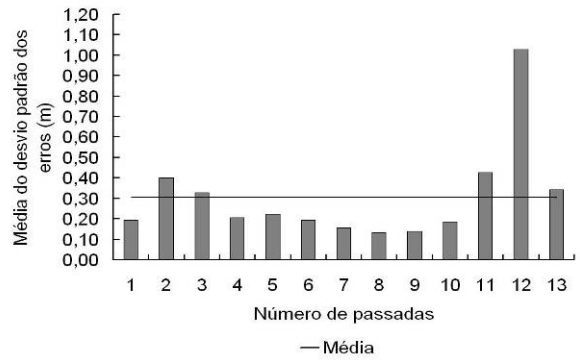


(b)

Anexo 57 - Desvio padrão dos erros dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com um ponto a cada 10 s em 23.04.2007

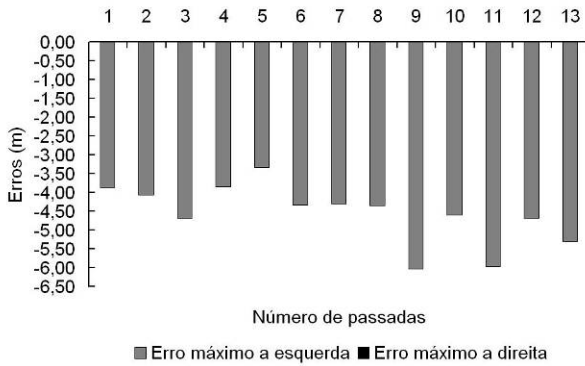


(a)

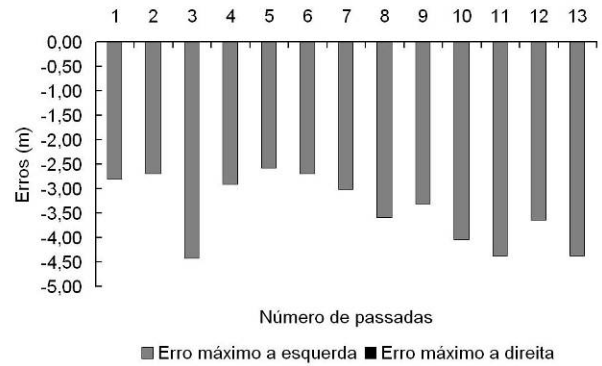


(b)

Anexo 58 - Desvio padrão dos erros dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com a coleta de um ponto a cada 5 s, em 24.04.2007

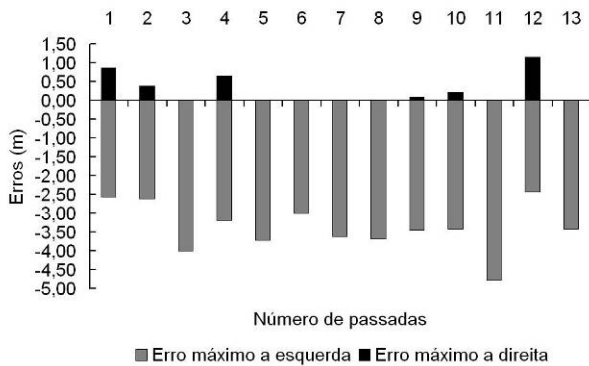


(a)

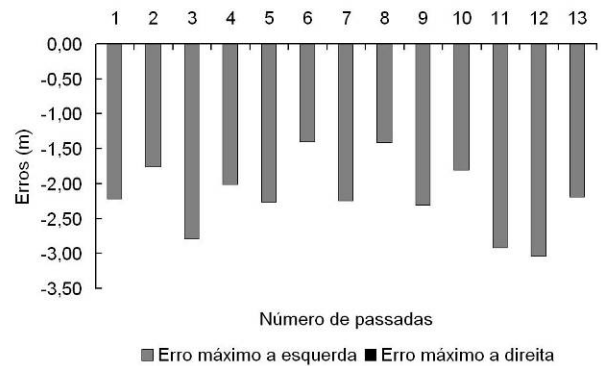


(b)

Anexo 59 - Erros máximos dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com a coleta de um ponto a cada 10 s, em 23.04.2007

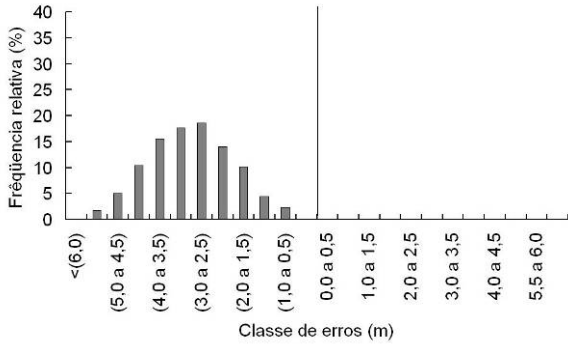


(a)

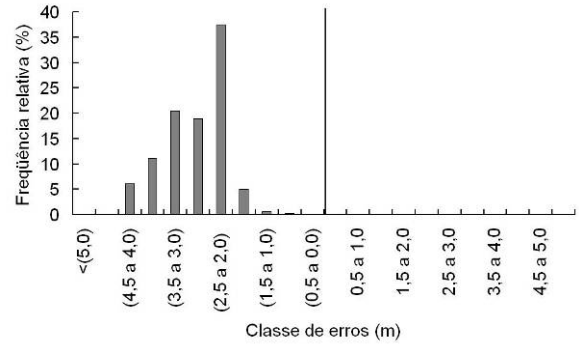


(b)

Anexo 60 - Erros máximos dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com a coleta de um ponto a cada 5 s, em 24.04.2007

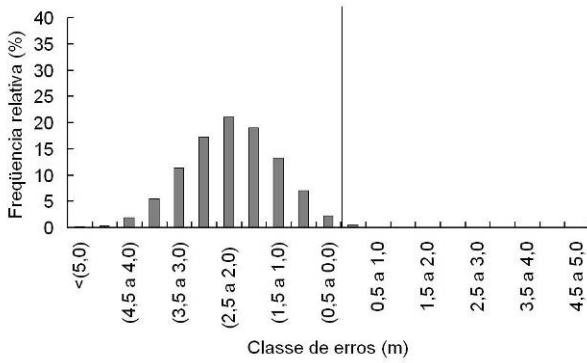


(a)

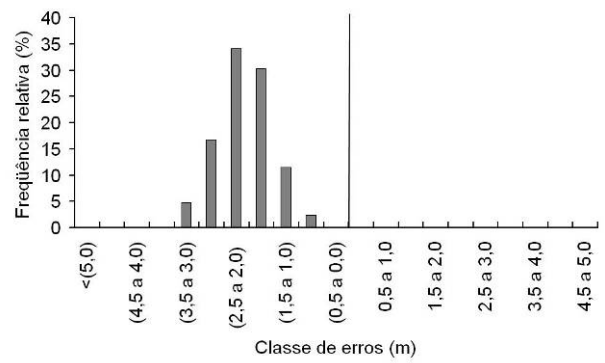


(b)

Anexo 61 - Histograma da distribuição da frequência dos erros dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com a coleta de um ponto a cada 10 s, em 23.04.2007

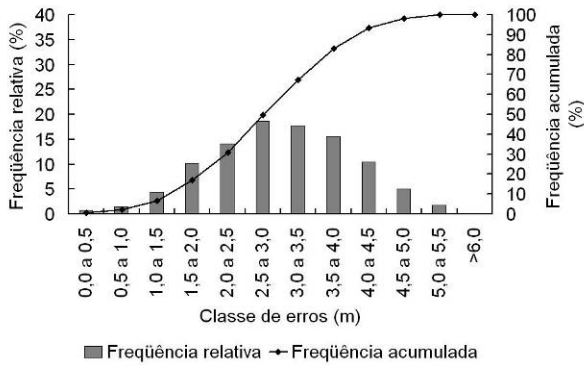


(a)

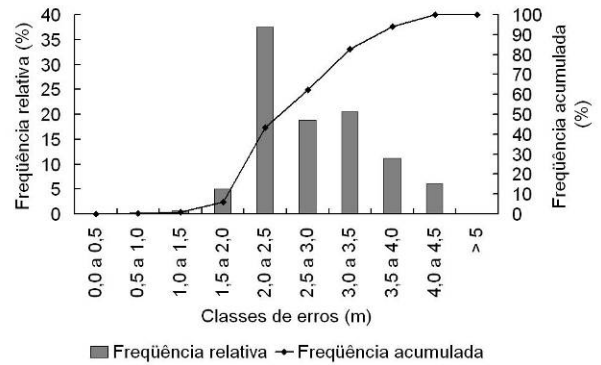


(b)

Anexo 62 - Histograma da distribuição da frequência dos erros dos trajetos do trator com os receptores V (a) e CX (b) com um ponto a cada 5 s em 24.04.2007

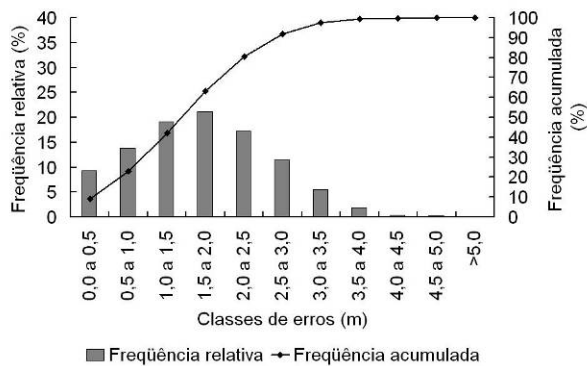


(a)

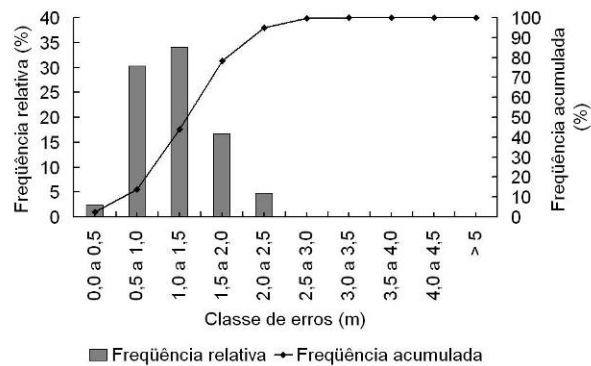


(b)

Anexo 63 - Erros de repetibilidade dos trajetos com receptor V (a) e CX (b) com a coleta de um ponto a cada 10 s, em 23.04.2007

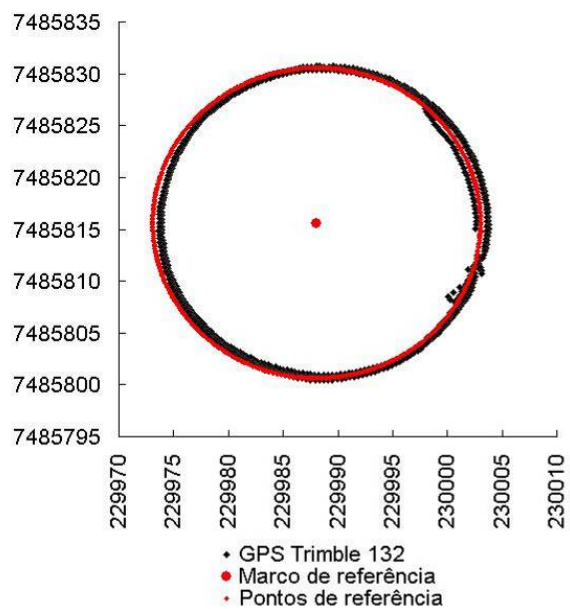


(a)

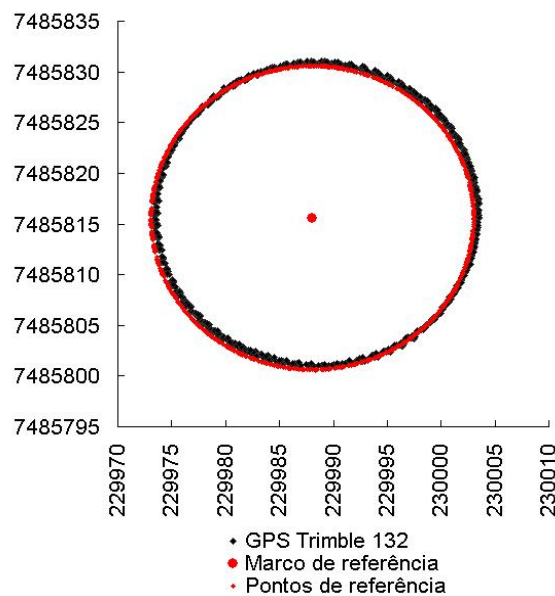


(b)

Anexo 64 - Erros de repetibilidade dos trajetos com receptor V (a) e C (b) com a coleta de um ponto a cada 5 s, em 24.04.2007

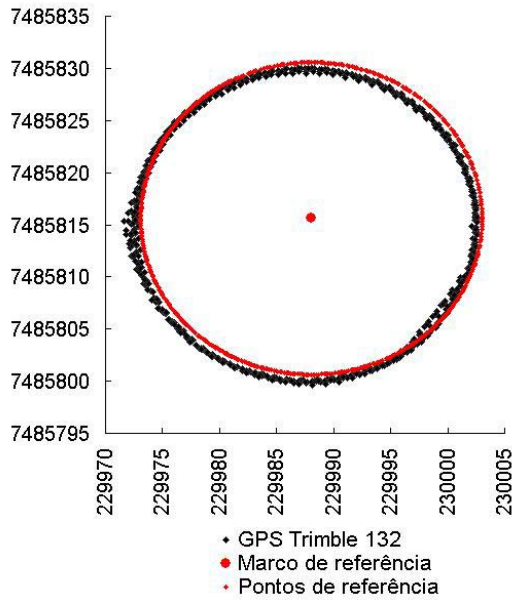


(a)

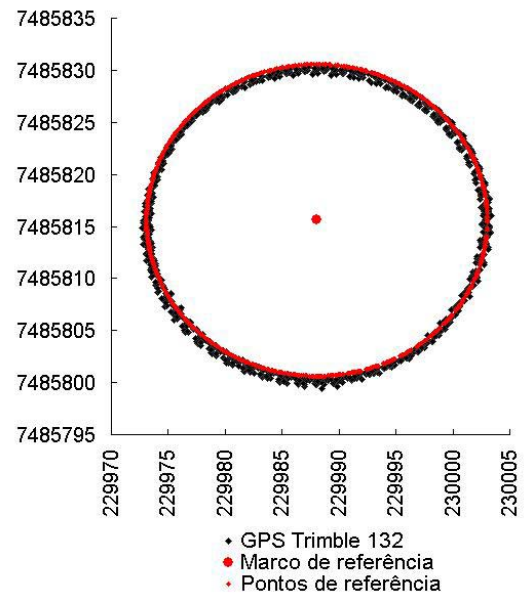


(b)

Anexo 65 - Percurso do veículo (em vermelho) e pontos obtidos com o receptor AG 132 (em preto) em condição cinemática variando a velocidade de $0,38 \text{ m.s}^{-1}$ (a) e $1,26 \text{ m.s}^{-1}$ (b); ambos com filtro ativado com intensidade normal

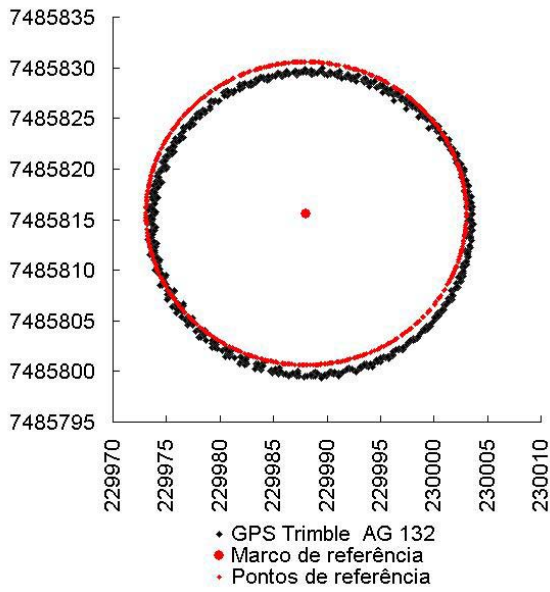


(a)

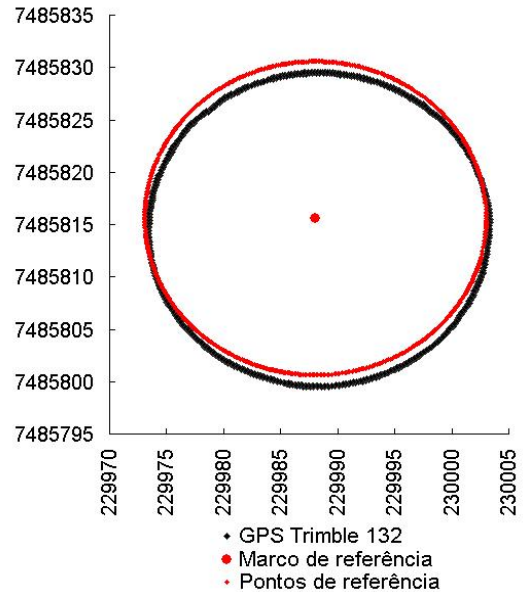


(b)

Anexo 66 - Velocidade de $1,18 \text{ km.h}^{-1}$ com ativação do filtro de intensidade normal (a) velocidade de $1,63 \text{ km.h}^{-1}$ com ativação do filtro de intensidade normal(b)

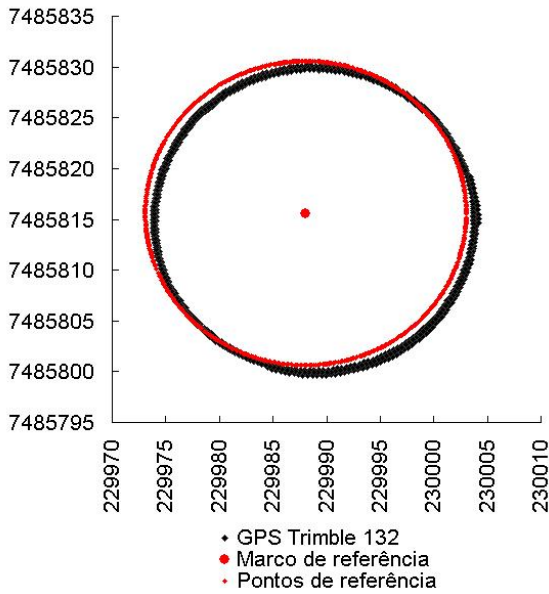


(a)

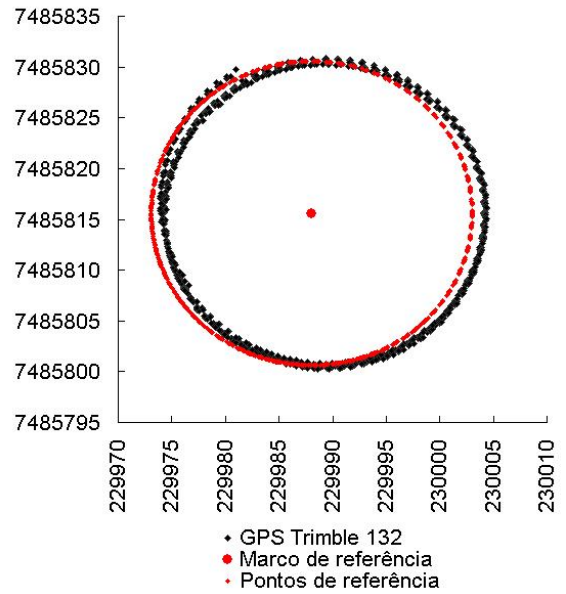


(b)

Anexo 67 - Velocidade de $1,57 \text{ km.h}^{-1}$ com ativação do filtro com intensidade normal (a) velocidade de $0,30 \text{ km.h}^{-1}$ com ativação do filtro de intensidade normal (b)

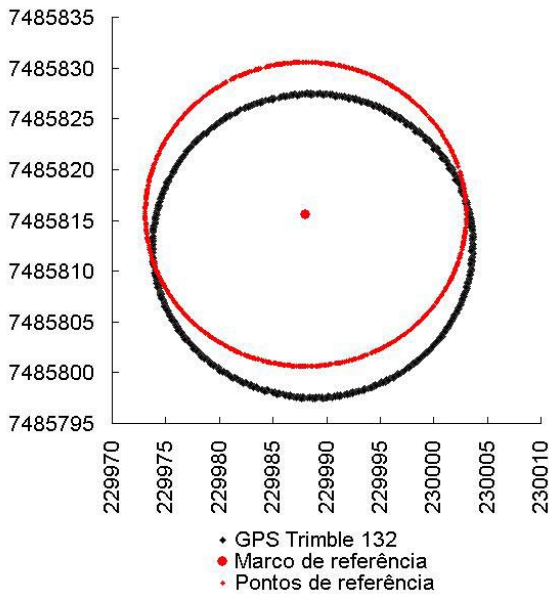


(a)

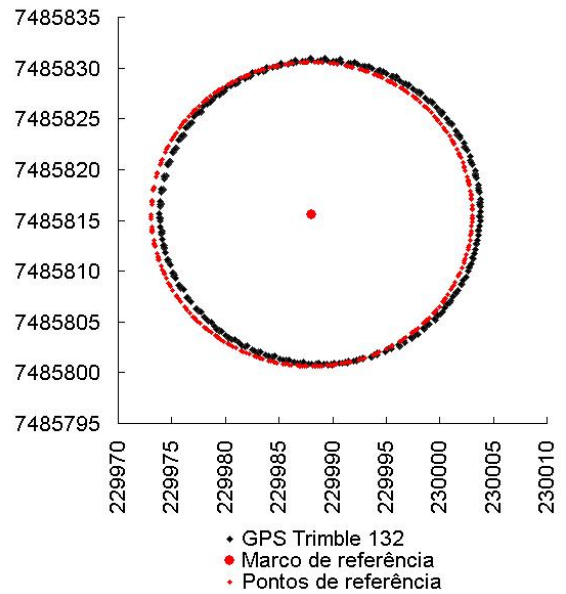


(b)

Anexo 68 - Velocidade de $0,40 \text{ m.s}^{-1}$ sem filtro (a) velocidade de $1,14 \text{ m.s}^{-1}$ sem filtro (b)

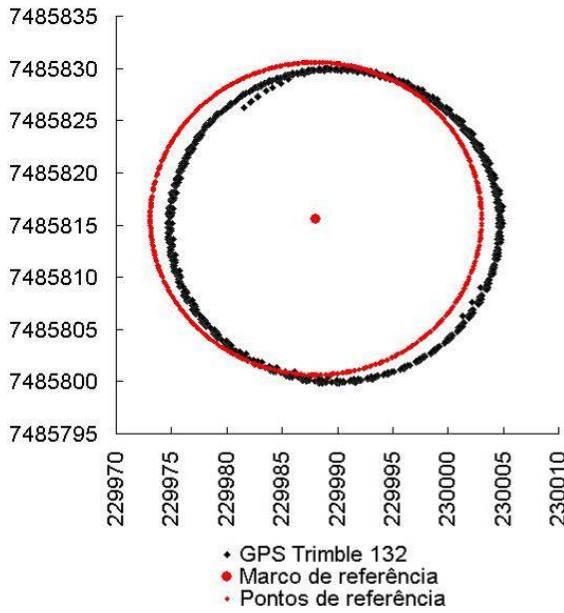


(a)

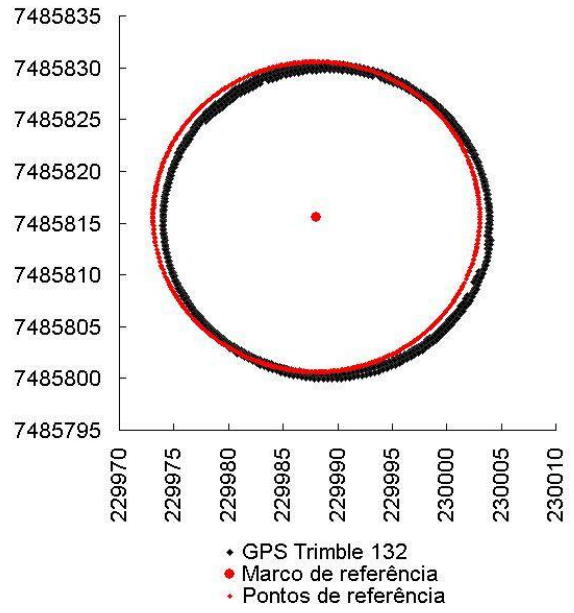


(b)

Anexo 69 - Velocidade de $1,07 \text{ m.s}^{-1}$ sem filtro (a) velocidade de $1,40 \text{ m.s}^{-1}$ sem filtro (b)

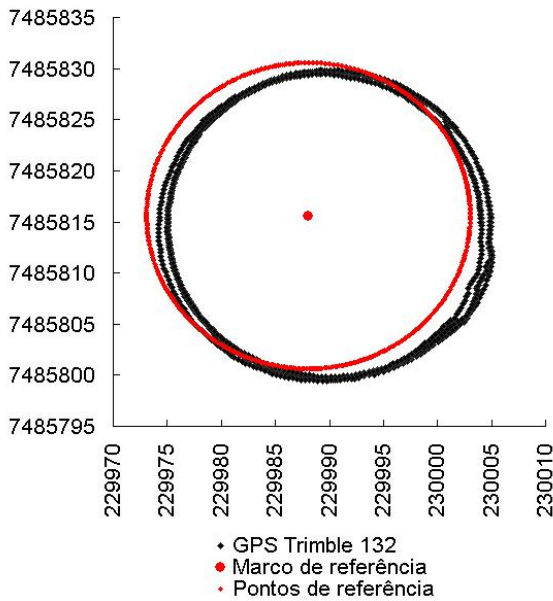


(a)

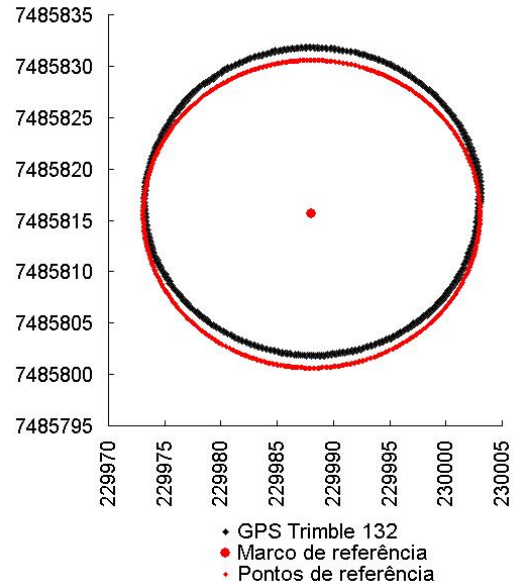


(b)

Anexo 70 - Velocidade de $1,55 \text{ m.s}^{-1}$ sem filtro (a) velocidade de $0,40 \text{ m.s}^{-1}$ sem filtro (b)

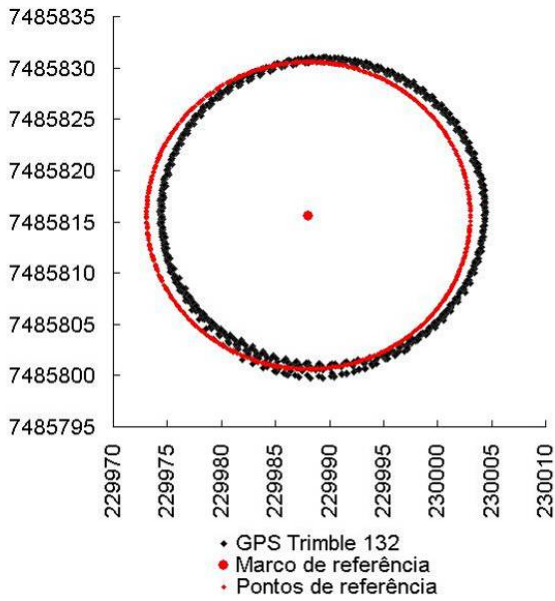


(a)

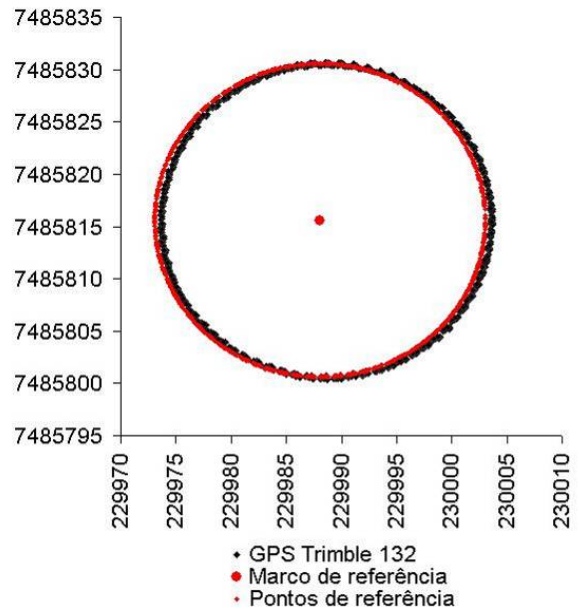


(b)

Anexo 71 - Velocidade de $0,39 \text{ m.s}^{-1}$ sent. horário (a) velocidade de $0,37 \text{ m.s}^{-1}$ sent. anti-horário (b)

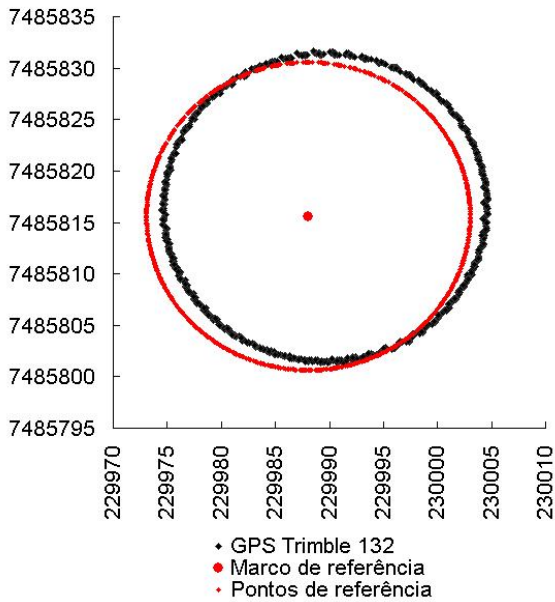


(a)

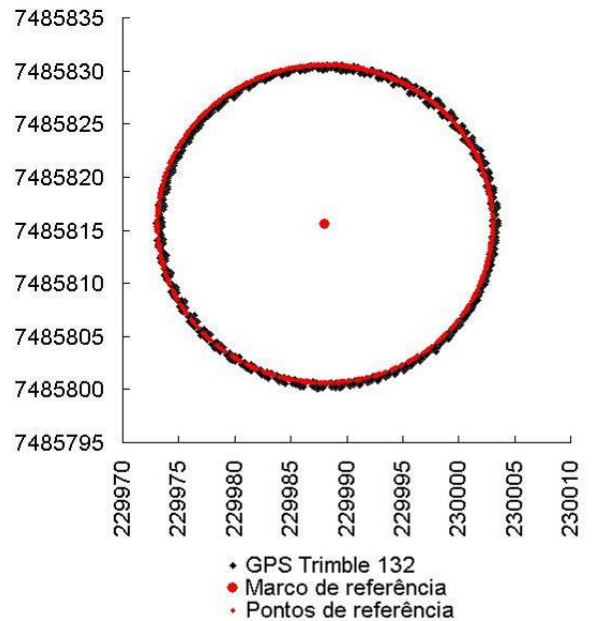


(b)

Anexo 72 - Velocidade de $1,09 \text{ m.s}^{-1}$ sent. horário (a) velocidade de $1,24 \text{ m.s}^{-1}$ sent. anti-horário (b)



(a)



(b)

Anexo 73 - Velocidade de $1,46 \text{ m.s}^{-1}$ sent. horário (a) velocidade de $1,63 \text{ m.s}^{-1}$ sent. anti-horário (b)

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)