

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**METODOLOGIA PARA ENSAIO DE SISTEMAS DE DIRECIONAMENTO
VIA SATÉLITE EM PERCURSOS RETOS E CURVOS**

FÁBIO HENRIQUE ROJO BAIO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU – SP

Julho - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**METODOLOGIA PARA ENSAIO DE SISTEMAS DE DIRECIONAMENTO
VIA SATÉLITE EM PERCURSOS RETOS E CURVOS**

FÁBIO HENRIQUE ROJO BAIO

Orientador: **PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU – SP

Julho - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "METODOLOGIA PARA ENSAIO DE SISTEMAS DE DIRECIONAMENTO
VIA SATÉLITE EM PERCURSOS RETOS E CURVOS"

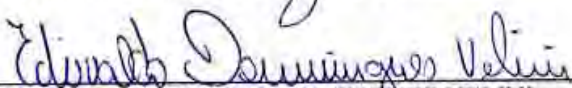
ALUNO: FÁBIO HENRIQUE ROJO BAIO

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado pela Comissão Examinadora:



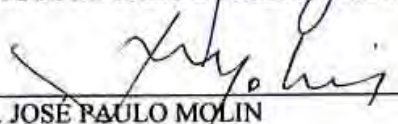
PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI



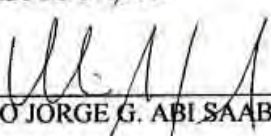
PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI



PROF. DR. JOSÉ ARMANDO FURLAN JUNIOR



PROF. DR. JOSÉ PAULO MOLIN



PROF. DR. OTÁVIO JORGE G. ABI SAAB

Data da Realização: 18 de julho de 2005.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, saúde, família, oportunidades e verdadeiros amigos que procuro cultivar e manter, pois são eles quem realmente nos ajudam.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campos de Botucatu, pois me permitiu a realização deste curso de doutorado.

Ao Professor Ulisses Rocha Antuniassi. Agradecimento sim pela orientação no curso, mas muito mais pela orientação na minha carreira e na minha vida. Agradeço também por entender que eu precisava mudar de direção em certa etapa do meu curso.

A todos os professores que ajudaram em minha formação. Agradeço não somente os professores desta unidade, mas todos aqueles que me ajudaram a enxergar que eu precisava estudar algo a mais e tentar superar muito mais fronteiras.

Aos grandes amigos André, Suzi, Reginaldo, Airton, Moisés, Flávio, Edmilson, Maurício, Carol, Rípoli, Bonnin, Zulema e Juliano que de uma forma ou de outra me ajudaram nesta etapa da minha vida. Agradeço também pelas conversas em todos os churrascos que fizemos.

Aos meus familiares que compreenderam que eu preciso deste doutorado.

Agradeço também a linda mulher que entrou em minha vida, Elka. Eu digo que não fui para Botucatu somente fazer doutorado, mas para conhecer a mulher maravilhosa que o destino colocou em meu caminho.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1 O conceito da agricultura de precisão	8
4.2 Sistemas de direcionamento tradicionais	9
4.3 O GPS.....	11
4.3.1 Conceito do sistema GPS	14
4.3.2 Fatores que afetam a acurácia no posicionamento GPS.....	15
4.3.3 Posicionamento GPS Diferencial ou DGPS	16
4.3.4 Principais aplicações do GPS na agricultura	18
4.4 Sistema de direcionamento via satélite.....	18
4.4.1 Direcionamento por barra de luz	21
4.4.2 Direcionamento por monitor eletrônico	22
4.4.3 Sistemas de auto-direcionamento	23
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1 Áreas e períodos dos experimentos de campo.....	25
5.2 Equipamentos e configurações utilizados.....	27
5.2.1 Equipamentos GPS, sistemas de direcionamento via satélite ensaiados e configurações dos equipamentos.....	27
5.2.1.1 Configuração dos sistemas de direcionamento via satélite	31
5.2.2 Outros sistemas de direcionamento ensaiados	33
5.2.3 Veículos utilizados	34
5.3. Monitoramento da velocidade.....	36
5.4 Memorização do percurso do equipamento.....	36

5.5 Operadores e treinamentos com os sistemas de direcionamento via satélite	37
5.6 Procedimento de pré-alinhamento dos veículos	37
5.7 Procedimento para mensuração da variável resposta	38
5.7.1 Ensaio em reta	39
5.7.2 Ensaio em curva	43
5.8 Análise dos resultados dos experimentos	45
5.9 Análise de investimento para aquisição de um sistema de direcionamento via satélite	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.1 Avaliação da metodologia desenvolvida	47
6.2 Análises dos resultados dos experimentos realizados	51
6.2.1 Análises dos resultados do Experimento 1 em reta	51
6.2.2 Análises dos resultados do Experimento 1 em curva	52
6.2.3 Análises dos resultados do Experimento 2 em reta	54
6.2.4 Análises dos resultados do Experimento 3 em reta	57
6.2.5 Análises dos resultados do Experimento 3 em curva	62
6.2.6 Análises dos resultados do Experimento 4 em reta	67
6.2.7 Análises dos resultados do Experimento 4 em curva	70
6.3 Análise dos resultados agrupados dos experimentos	73
6.4 Breve análise de investimento para aquisição de um sistema de direcionamento via satélite	75
7 CONCLUSÕES	78
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXO	85

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Ilustração do erro em alinhamentos sucessivos adjacentes em uma operação de pulverização onde o equipamento foi orientado por um marcador de espuma.	11
2. Receptor GPS Trimble (a) e barra de luz Trimble Ez-Guide (b) instalados no pulverizador autopropelido.....	28
3. Receptor GPS SatLoc (a) e barra de luz modelo Outback S (b).....	29
4. Barra de luz Cultiva modelo Marker LTi.	29
5. Barra de luz SatLoc modelo LiteStar.	30
6. Barra de luz Trimble modelo Ez-Guide Plus.....	30
7. Marcador de linha por espuma MasterMark instalado no pulverizador autopropelido. .	33
8. Sistema de marcação de rastro por cabo de aço (a) e trator utilizado como guia (b).	34
9. Pulverizador autopropelido Jacto modelo Uniport 2000.....	35
10. Pulverizador autopropelido Jacto modelo Uniport 2500.....	35
11. Mensuração da largura da faixa entre duas passadas adjacentes sucessivas.	39
12. Ilustração do erro de 3° cometido na mensuração dos desvios pela não perpendicularidade da trena em uma distância de 20 m.	40
13. Visualização do erro de 3° cometido na mensuração dos desvios pela não perpendicularidade da trena em uma distância de 20 m.	41
14. Equipamento topográfico utilizado no Experimento 2 para mensuração dos desvios perpendiculares ao alinhamento de referência.	42
15. Croqui da linha de referência para o experimento em curva.....	44
16. Mapa da referência em curva utilizado para o estaqueamento em campo.	45
17. Ilustração dos rastros dos pneus dos veículos nos ensaios em reta e em curva.....	50
18. Frequência relativa acumulada dos erros (%) para cada tratamento (Marcador de Espuma, Barra de Luz – Ag 106 e Barra de Luz – Ag 110) no Experimento 1 na operação em reta.	51

19. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 1 na operação em reta.....	52
20. Frequência relativa acumulada dos erros (%) para cada tratamento (Marcador de Espuma e Barra de Luz – Ag 110) no Experimento 1 na operação em curva.	53
21. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 1 na operação em curva.....	54
22. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com o sistema de auto-direcionamento Autopilot no Experimento 2.....	55
23. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Ag 110 Ez-Guide no Experimento 2.....	56
24. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 2 na operação em reta.....	57
25. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz OutBack S no Experimento 3.....	58
26. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz LiteStar no Experimento 3.	59
27. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Marker LTi no Experimento 3.	60
28. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Ag 110 no Experimento 3.	61
29. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 3 na operação em reta.....	62
30. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz OutBack S no Experimento 3.....	63
31. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz LiteStar no Experimento 3.	64
32. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz Marker LTi no Experimento 3.	65
33. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz Ag 110 no Experimento 3.	66

34. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 3 na operação em curva.	67
35. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Trimble Ez-Guide Plus no Experimento 4.	68
36. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com o sistema de orientação por cabo de aço no Experimento 4.	69
37. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 4 na operação em reta.	70
38. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz Trimble Ez-Guide Plus no Experimento 4.	71
39. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com o sistema de orientação por cabo de aço no Experimento 4.	72
40. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 4 na operação em curva.	73

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Teste estatístico para as médias dos erros obtidos no ensaio em reta em função do operador do trator.	70
2. Teste estatístico para as médias dos erros obtidos no ensaio em curva em função do operador do trator.	73
3. Comparativo dos resultados dos desvios médios obtidos de todos os sistemas de direcionamento avaliados em todos os ensaios em reta.	74
4. Comparativo dos resultados dos desvios médios obtidos de todos os sistemas de direcionamento avaliados em todos os experimentos em curva.	75
5. Redução dos gastos com sobreposição na pulverização pela substituição de um marcador de espuma por um sistema de direcionamento via satélite.	76

1 RESUMO

O uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS) em uma propriedade agrícola não está limitado ao monitoramento georreferenciado de fatores produtivos, mas cada vez mais esta tecnologia está sendo utilizada como um equipamento disponível dentro da propriedade e que deve ser utilizada o máximo possível para a diluição do seu custo. Uma utilização cotidiana desta tecnologia é em sistemas de direcionamento via satélite. No entanto, ensaios destes sistemas de direcionamento operando em curva estão ainda no início. Poucas também são as informações relacionadas à análise de custo de investimento desta tecnologia.

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver uma metodologia de campo para ensaios de sistemas de direcionamento via satélite e/ou convencionais em sua utilização terrestre operando em reta e em curva, avaliar a acurácia de diferentes sistemas de orientação seguindo a metodologia desenvolvida e realizar uma breve análise de investimento para aquisição de um sistema de direcionamento via satélite.

Para tanto, foram realizados quatro ensaios de campo em que foram ensaiados sete sistemas de direcionamento por barra de luz, um sistema de auto-direcionamento, um sistema de direcionamento por monitor eletrônico, um sistema de direcionamento por cabo-de-aço e um sistema de orientação por marcador de espuma. Em cada ensaio de campo foi aplicada a mesma metodologia desenvolvida para avaliação da acurácia destes sistemas de direcionamento. Esta metodologia se baseou na mensuração direta

em campo dos desvios dos alinhamentos orientados pelos sistemas de direcionamento em relação ao alinhamento programado. Os ensaios foram realizados em reta e em curva.

A metodologia de campo apresentada neste trabalho para ensaios de sistemas de direcionamento pôde ser aplicada com sucesso. A vantagem deste método é a possibilidade da inclusão de todos os fatores envolvidos nos erros por um sistema de direcionamento e a possibilidade da mensuração direta em campo. A desvantagem do método é a dificuldade de se avaliar qual a causa exata do erro obtido em campo (GPS, correção DGPS, algoritmo de direcionamento do sistema ou o erro do operador). Todos os sistemas de direcionamento ensaiados permitiram a orientação do operador em faixas adjacentes sucessivas. Foi constatado que as orientações das faixas de aplicação utilizando-se de sistemas de orientação via satélite foram melhores que as orientações pelo marcador de linha por espuma, apresentado médias dos erros estatisticamente inferiores, tanto nas operações em reta quanto em curva. Foi observado que a acurácia obtida com um sistema de direcionamento via satélite por barra de luz ou monitor eletrônico depende da habilidade do operador. Esta observação não pôde ser realizada para o sistema de auto-direcionamento, já que o sistema não depende da habilidade do operador para o seu funcionamento. Os erros obtidos com os sistemas de direcionamento foram maiores para as orientações em curva. Também concluiu-se que praticando os preços médios de insumos no Brasil, assim como os preços dos sistemas de direcionamento via satélite, o investimento realizado nestes equipamentos pode retornar após um ano agrícola, somente contabilizando a redução nos defensivos aplicados.

METHODOLOGY FOR STEERING SYSTEMS TESTS IN STRAIGHTS AND CURVES OPERATIONS. Botucatu, 2005. 100p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FÁBIO HENRIQUE ROJO BAIÓ

Adviser: Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

2 SUMMARY

The use of the Global Positioning System (GPS) in a farm is not limited to monitor productive factors involved on the yield production, but the GPS have been used as equipment available into the farm that can be used to another issues and it must be used a lot into the farm to dilute the initial cost. A daily use of this technology is on steering systems. However, we do not have results of field tests of these steering systems operating in curve. Few also are the information related to the cost analysis of investments on this technology.

The purposes of this work were develop a field test methodology to evaluate the accuracy of conventional steering systems and/or satellites steering systems operating in straight line or curve operations, evaluate the accuracy of several steering systems according to the developed methodology and perform a brief cost analysis to buy a satellite steering system.

Four field test evaluations were performed where were evaluated seven light bar steering systems, one auto-steering system, one steering system operated by an electronic monitor, a steering system operated by a steel cable and a system oriented by a foam marker. The same developed methodology was applied on these four field test. This developed methodology was based on measure the steering error compared to the programmed alignment directly on the field, where an operator was guided by the evaluated steering system. The tests were made in straight line and curve operations.

The field methodology presented in this work was successful. The advantage of this methodology is the possibility of reflection of all factors involved in the errors and the possibility of the errors measured in the field directly by the final user. The disadvantage of the method is the difficulty of the evaluation which was the exact cause of the error obtained by the steering system (GPS, DGPS correction, algorithm of the steering system or operator error). All the steering systems tested were well succeeding on the guiding work to the operator. The accuracy of satellite steering systems was better than the accuracy of the foam marker. The accuracy of satellites steering systems operated by light bar or electronic monitors was dependent of the operator's ability. This observation can not be made to the auto-steering systems, since the system do not depend of the operator to work. The accuracy of the evaluated systems was better in strait line operations. It was also concluded that the initial cost of the investment on satellites steering systems can be paid within one year according to the Brazilian conditions and cropping soybean and corn.

Keywords: precision farming, steering systems, GPS.

3 INTRODUÇÃO

Os equipamentos utilizados na agricultura de precisão têm por finalidade a melhoria das condições operacionais. O uso de sistemas de posicionamento em propriedades agrícolas, como o GPS, não está limitado ao monitoramento georreferenciado de fatores produtivos, mas cada vez mais esta tecnologia está sendo utilizada como um equipamento disponível dentro da propriedade e que deve ser utilizada o máximo possível para a diluição do seu custo. Como exemplo, o sistema também pode ser utilizado para auxiliar na orientação de um veículo em uma operação agrícola empregando, como exemplo, um acessório chamado barra de luz. A barra de luz é um sistema de direcionamento via satélite e consiste em um equipamento alternativo aos métodos convencionais para orientação do operador na aplicação em faixas adjacentes, com a finalidade de diminuir as sobreposições e falhas entre as faixas consecutivas e otimizar a eficiência da operação agrícola.

A orientação de máquinas agrícolas para a aplicação em faixas adjacentes de defensivos, adubos e corretivos é freqüentemente realizada por métodos convencionais que incluem marcadores de espuma, orientação pelas fileiras de plantio, riscadores de solo, dentre outros. Entretanto, a utilização destas técnicas pressupõe a existência de sobreposições e/ou falhas na aplicação. Sobreposições implicam em custos adicionais na aplicação, além de danos à cultura e ao ambiente, pois podem causar fitotoxidez e contaminação ambiental. Falhas na aplicação devem ser evitadas ao máximo para garantir a eficiência da distribuição correta do insumo ou do controle fitossanitário.

O sistema de direcionamento via satélite por barra de luz consiste em um conjunto de sinais luminosos dispostos à frente do operador da máquina ou veículo e é ligado a um processador que recebe a informação de posicionamento de um GPS. Contudo, a tecnologia evoluiu no sentido da automatização dos sistemas de direcionamentos por barras de luzes surgindo então os sistemas automáticos de direcionamento ou auto-direcionamento. Estes sistemas automatizados são acoplados por meio hidráulico ao sistema de direção hidráulica do veículo (tratores ou autopropelidos), onde o próprio sistema de direcionamento via satélite corrige a rota do veículo quando há necessidade, diminuindo o esforço do operador e aumentando a acurácia do sistema. Assim, a atenção do operador se voltou à aplicação em si e para as manobras.

Em muitas culturas os benefícios da utilização de sistemas de direcionamento via satélite são cada vez mais consistentes e difundidos. A procura por estes sistemas está aumentando a cada ano. Segundo Baio & Antuniassi (2003), em 2001 6% dos pulverizadores autopropelidos do maior fabricante brasileiro saíram de linha com o sistema de direcionamento instalado. Este número saltou para 15% em 2002 e em 2003 este percentual passou para 30%. São muitos os fatores relacionados a este aumento, mas provavelmente, o principal deles tenha sido a comprovação pelos agricultores de que este tipo de tecnologia possui um retorno financeiro e com maior eficiência na aplicação. A tendência é de que o sistema venha a ser mais popular e provavelmente utilizado também nos equipamentos de pulverização de menor porte. O mercado também sinaliza o aumento da procura por este tipo de sistema de direcionamento via satélite após o lançamento de sistemas de correções dos erros GPS por equações matemáticas ou algoritmos e também pela estratégia de algumas empresas fabricantes deste tipo de equipamento em fornecer uma correção grátis via satélite para os erros GPS. Os algoritmos otimizados desenvolvidos recentemente simulam a correção diferencial a um nível de precisão compatível às técnicas de posicionamento relativo, como as correções via satélite, via rádio Beacon (sistema da marinha) ou correções via link de rádio em tempo real e a um custo inferior. Para muitas aplicações na agricultura de precisão a acurácia do sistema de posicionamento é necessária, mas para a maioria dos sistemas de direcionamento via satélite a precisão é suficiente para uma operação em campo.

Um outro ponto importante para o aumento do uso desta tecnologia refere-se à adaptação dos equipamentos ao mercado brasileiro, ou seja, tradução dos

programas internos dos equipamentos e manuais de fácil entendimento. Os fabricantes dos equipamentos de sistemas de direcionamento via satélite se atentaram para o tamanho do mercado agrícola brasileiro e na quantidade de equipamentos potenciais da utilização desta tecnologia que são comercializados anualmente no Brasil.

Muitas pesquisas foram realizadas e publicadas com resultados de ensaios de sistemas de direcionamento via satélite operando em linha reta, no entanto, ensaios destes sistemas de direcionamento operando em curva estão ainda no início. Poucas também são as informações relacionadas à análise de custo de investimento desta tecnologia, principalmente no mercado agrícola brasileiro e, ainda, muito agricultores não conseguem perceber os benefícios econômicos que esta tecnologia pode prover.

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver uma metodologia de campo para ensaio de sistemas de direcionamento via satélite e/ou convencionais em sua utilização terrestre operando em linha reta e em curva, avaliar a acurácia de diferentes sistemas de orientação seguindo a metodologia desenvolvida e realizar uma breve análise de investimento para aquisição de um sistema de direcionamento via satélite.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O conceito da agricultura de precisão

Os avanços tecnológicos na agricultura são de longa data, a cada ano novas tecnologias são desenvolvidas e, muitas delas, aprimoradas (STAFFORD, 1996). O conceito inicial da agricultura de precisão também não é recente, mas conhecido desde 1929 em que alguns pesquisadores estudaram a variabilidade da acidez dos solos e, a partir de tal variabilidade foi possível a aplicação de calcário ponto a ponto para a correção de tal acidez (ELIAS, 1998).

Atualmente, a agricultura de precisão pode ser vista como um sistema integrado totalmente dependente de sistemas eletrônicos, mecânicos e computacionais, destinados ao levantamento em campo e em condições dinâmicas de um número bastante elevado de dados. Conforme afirmou Searcy (1995), o uso extensivo deste grande número de dados exige a utilização de sistemas de aquisição e análise dos dados, sistemas computacionais de processamento e suporte à decisão e equipamentos automáticos destinados a realização de operações em campo. A utilização de um sistema de navegação, capaz de fornecer o posicionamento geográfico de uma pessoa e equipamentos no campo, é também indispensável para o sucesso da agricultura de precisão (ELIAS, 1998). Balastreire & Baio (2002) relataram que grandes avanços na agricultura de precisão foram possíveis graças a técnicas eficientes de

geoposicionamento, como o GPS (*Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global).

Mantovani (2000) define o termo agricultura de precisão como sendo o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Essa nova filosofia de se fazer agricultura tem levado ao uso de três tecnologias, que são o SR (Sensoriamento Remoto), o SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e o GPS. Stanford (1996) define agricultura de precisão como sendo um conjunto de técnicas que pressupõem o gerenciamento localizado da cultura. De uma forma ou de outra, a agricultura de precisão visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações dos insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todos os processos envolvidos na produção.

Apesar da agricultura de precisão ser uma dos mais importantes técnicas para a busca de maior eficiência na agricultura, Valentini & Molin (2000) salientam que ainda há grandes barreiras a serem enfrentadas para a efetiva implantação desta técnica no Brasil. Tais barreiras estão relacionadas ao despreparo de nossos produtores e técnicos para a incorporação e imersão nessa nova tecnologia; a ausência de bancos de dados, no Brasil não se tem o hábito de se colecionar dados e disponibilizá-los para uma análise que extrapole o ambiente da experimentação e a ausência de ações prévias, pois ainda carecemos de informações básicas que podem contribuir para o perfeito entendimento das ações de correções dos fatores que interferem na produtividade (ELIAS, 2003). Pode-se citar como exemplo, a ausência de mapas de solos que caracterizem glebas dentro de cada propriedade, dentre outros.

4.2 Sistemas de direcionamento tradicionais

De acordo com Baio et al. (2001), a orientação de máquinas agrícolas para a aplicação em faixas adjacentes de defensivos, adubos e corretivos é frequentemente realizada por métodos convencionais que incluem marcadores de espuma, orientação pelas fileiras de plantio, riscadores de solo, dentre outros. Entretanto, segundo os autores, a

utilização destas técnicas pressupõe a existência de sobreposições e/ou falhas na aplicação. Sobreposições implicam em custos adicionais na aplicação, além de danos à cultura e ao ambiente, enquanto falhas na aplicação devem ser evitadas ao máximo para garantir a eficiência da distribuição correta do insumo ou do controle fitossanitário. O mais comum sistema de direcionamento ainda em uso é o riscador de solo, muito utilizado em semeadoras, principalmente. Os riscadores de solo são compostos basicamente por uma haste e um disco que corta o solo em um determinado espaçamento de aplicação. Um outro sistema de direcionamento tradicional é o marcador de linha por espuma. Este sistema também é bastante difundido, no entanto, muito mais utilizado na pulverização agrícola por equipamentos de barras (Figura 1). O marcador de linha por espuma possui um reservatório onde se adiciona uma solução espumante e água. Um compressor de ar gera pressão dentro do reservatório da solução espumante e esta pressão leva a solução por tubulações até um bocal gerador de espuma localizado nas pontas das barras dos pulverizadores. O objetivo do operador durante a aplicação é manter a ponta da barra do pulverizador sobre a linha de espuma deixada sobre o solo na passada anterior. Segundo Vetter (1995), o marcador de linha por espuma, conhecido como marcador de espuma, é um sistema bastante prático e econômico, contudo, passível de grandes erros no direcionamento de um trator ou pulverizador autopropelido, pois é difícil a manutenção correta da ponta da barra do pulverizador por sobre a linha de espuma formada na passada anterior do ângulo de visão do operador.



Figura 1. Ilustração do erro em alinhamentos sucessivos adjacentes em uma operação de pulverização em que o equipamento foi orientado por um marcador de espuma.

4.3 O GPS

Como relatado anteriormente, o desenvolvimento da agricultura de precisão teve um grande incremento com a possibilidade de se localizar facilmente o equipamento por sobre o campo. Há algumas formas para a localização do equipamento no campo. Rockwell & Ayers (1994) citam quatro possibilidades para a localização do veículo dentro de um campo agrícola. A primeira delas é a localização pela utilização de sensores que medem distâncias num percurso em linhas paralelas, como as linhas de plantio. A segunda possibilidade citada pelos autores é a localização pelo uso de sensores de distância e bússolas eletrônicas. A terceira possibilidade é a localização pela triangulação de ondas de rádio emitidas por estações situadas em pontos de coordenadas conhecidas. A quarta possibilidade, e a mais conhecida, é a localização do veículo pelo uso do GPS.

O GPS é um sistema projetado para fornecer o posicionamento instantâneo, bem como a velocidade do ponto sobre ou próximo à superfície da Terra (BLITZKOW, 1995). Este sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, originalmente criado com fins militares estratégicos. Atualmente empregado nas mais diversas

áreas civis. Segundo Monico (1998), o GPS ou NAVSTAR-GPS (*NAVgation Satellite with Time And Ranging*) é um sistema de rádio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD - *Department Of Defense*), sendo o principal sistema de navegação das forças armadas americana. Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu dos mais variados segmentos da sociedade civil (navegação, transporte rodoviário e ferroviário, posicionamento geodésico e topográfico, como também na agricultura).

Para Monico (1998), a concepção do sistema GPS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo a esta, tenha a sua disposição no mínimo quatro satélites para serem rastreados. Este número de satélites permite que se realize posicionamento em tempo real e sem a necessidade de intervisibilidade entre as estações. Além disto, o GPS pode ser usado sob quaisquer condições climáticas.

Segundo Baio et al., (2001), o uso do GPS na agricultura de precisão não deve ser somente para uma determinada aplicação agrícola, mas o equipamento deve ser utilizado o máximo possível dentro de um ano agrícola visando a diluição do seu custo de aquisição.

Como explana Stafford (1996), o rápido desenvolvimento da agricultura de precisão nos últimos anos se deve ao acesso do público civil ao sinal GPS. Para o autor, a acurácia do DGPS em operações para aplicação localizada de defensivos deve estar entre 0,5 e 1 m. Qiu et al., (1998) sugerem que o DGPS deve possuir acurácia ao redor de 2 m para a realização do mapeamento de plantas daninhas.

Segundo Elias (2003), os trabalhos envolvendo a agricultura de precisão requerem coleta automática de dados, informações georreferenciadas e utilização intensiva do GPS. A princípio, é muito importante o estabelecimento do nível de acurácia requerida para o GPS. Sendo assim, um dos primeiros passos é a obtenção do mapeamento da área agrícola explorada, pois de posse dessas informações elas servirão de base para todas as análises e operações do sistema de produção, concordando com Mantovani (2000).

Apesar da boa precisão dos equipamentos GPS, Gilbert (1997) afirmou que esses aparelhos possuem erros nas atividades de aquisição de dados. Geralmente, sem a correção diferencial de posição os equipamentos de GPS conseguiam uma acurácia não maior

que 100 metros, devido à existência de uma série de erros provenientes de diferentes fontes. Saraiva et. al., (2000), ressaltaram que a acurácia do sistema GPS era inadequada para a agricultura de precisão em decorrência de erros e distorções inerentes ao sistema, alguns deles de ordem técnica (problemas de propagação dos sinais na atmosfera, número e disposição dos satélites visíveis em cada momento pelo receptor, dentre outros) e outro de ordem estratégica ou militar (o erro propositalmente introduzido no sistema pelo seu controlador, o governo dos EUA). Todavia, Monico (2000) afirma que na realidade o sistema sempre teve capacidade de proporcionar melhores níveis de acurácia, mas ao que tudo indica isso não era de interesse do DoD, haja vista que o sistema é global e poderia por em risco os aspectos de segurança. Assim, segundo Monico (2000), a limitação no nível de acurácia era garantida pela adoção do SA (*Selective Availability* – Disponibilidade Seletiva). O SA era um ruído embutido sobre o sinal GPS que proporcionava a diminuição da acurácia do sistema pelo usuário comum, pois os militares americanos possuíam um equipamento capaz de eliminar este ruído e alcançar um maior nível de acurácia. Mas, essa técnica de deterioração da acurácia do sinal GPS foi abolida do sistema no ano de 2000, melhorando a acurácia do posicionamento GPS em dez vezes (MONICO, 2000). A diminuição do erro do GPS tem possibilitado uma maior utilização dos receptores de navegação em muitas áreas, como também na agricultura de precisão.

Segundo Seeber (1993), existem outros sistemas de posicionamento, dentre eles o SLR (*Satellite Laser Range*), o DORIS (*Doppler Orbitography and Radiolocation Integrated by Satellite*) e o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). Recentemente, a Agência Espacial Européia também propôs um sistema global de navegação por satélite, denominado Galileo, o qual está programado para entrar em operação em 2008 (LEGAT & HOFMANN-WELLENHOF, 1999). Conforme Monico (2000), dentre os sistemas citados, o GPS é o que de fato tornou acessível a técnica de posicionamento por satélite para uma enorme comunidade usuária, pela facilidade de uso do sistema, associada a custos acessíveis.

4.3.1 Conceito do sistema GPS

De acordo com Blitzkow (1995), o sistema conta com 24 satélites, sendo três de reserva. Estes satélites estão distribuídos em 6 órbitas distintas, numa altitude aproximada de 20 mil quilômetros e possuem um período de revolução de 12 horas. Com esta configuração, em qualquer ponto da superfície da Terra há no mínimo 4 satélites acima da linha do horizonte durante todo o dia.

Blitzkow (1995) também explana que, de uma maneira simplificada, o posicionamento por meio do GPS é baseado na triangulação entre os satélites, que possuem coordenadas conhecidas em suas órbitas, e o receptor GPS. Para a realização desta triangulação, o receptor GPS determina a distância receptor-satélite por equações que consideram o período de tempo entre a emissão do sinal de rádio, a partir de sua saída do satélite, e a recepção deste sinal pelo receptor.

O GPS calcula as coordenadas do ponto de acordo com uma superfície de referência, chamada de elipsóide. O sistema GPS utiliza o datum WGS 84 (*World Geodetic System* 1984). O datum nada mais é do que um conjunto de vértices de triangulação referenciais nos quais o elipsóide é ajustado. O elipsóide de referência para o datum WGS 84 é o GRS 80 (*Global Reference System* 1980) (BLITZKOW, 1995 e LANGE, 1996). Gorgulho (2004) relata que para se obter uma boa qualidade nos resultados dos levantamentos GPS, deve-se saber quais são as técnicas de posicionamento mais apropriadas para cada tipo de levantamento a ser realizado. O posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um sistema de referência realizado. O objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento. No primeiro caso, trata-se do posicionamento estático e o segundo, o posicionamento cinemático.

Segundo Elias (2003), na literatura não é usual encontrar discussões sobre sistemas de referência adotado nos trabalhos de agricultura de precisão envolvendo posicionamentos por GPS, mas é de fundamental importância que a definição e a realização dos sistemas de referência sejam apropriadas, precisas e consistentes.

Baio et al. (2001) alertam para a necessidade de todos os mapas de campo estarem georreferenciados no mesmo sistema, pois pode haver uma diferença considerável entre um Datum e outro, o que poderia causar erros posteriores. Sendo de

extrema importância a preocupação dos autores com relação ao uso do mesmo Datum para os mapas de campo, é importante esclarecer que conforme Teixeira & Christofolletti (1997), um Datum é um marco determinado por meios geodésicos, de alta precisão, que serve como ponto de referência para todos os levantamentos que venham a ser executados sobre uma determinada área do globo terrestre. Portanto, o WGS 84 não pode ser classificado como um Datum, e sim como um sistema de referência. Monico (2000) ainda atenta para a acurácia das coordenadas de referência, pois as mesmas devem ser compatíveis com a da tecnologia de posicionamento adotada; caso contrário, a qualidade dos resultados se deteriora.

4.3.2 Fatores que afetam a acurácia no posicionamento GPS

Baio et al., (2001) citam as principais fontes de erro para o posicionamento do sistema GPS, como a disposição geométrica dos satélites, o efeito do multicaminhamento, o erro do relógio do receptor GPS, a interferência da ionosfera e o erro orbital do satélite. Um outro fator que afeta a precisão é a Geometria dos Satélites - localização dos satélites em relação uns aos outros sob a perspectiva do receptor GPS (GORGULHO, 2004). Se um receptor GPS estiver localizado sob 4 satélites e todos estiverem agrupados na mesma região do céu a sua geometria é pobre. Isto significa que a triangulação é pobre e a área comum da intersecção das medidas é muito grande (isto é, a área onde o receptor busca sua posição cobre um grande espaço). Com os mesmos 4 satélites, mas se espalhados em todas as direções ou formando um quadrilátero perfeito, a precisão melhora drasticamente. A geometria dos satélites torna-se importante quando se usa o receptor GPS próximo a edifícios ou em áreas montanhosas ou vales. Quando algum satélite é bloqueado, a posição relativa dos demais determinará a precisão, ou mesmo se a posição pode ser obtida. Segundo Gorgulho (2004), outra fonte de erro é a interferência resultante da reflexão do sinal em algum objeto, a mesma que causa a imagem “fantasma” na televisão. Como o sinal leva mais tempo para alcançar o receptor, este “entende” que o satélite está mais longe do que na realidade. Assim, como o cálculo do posicionamento é realizado por uma triangulação baseada em distâncias calculadas por diferenças de tempo entre emissão e recepção do sinal do satélite,

um atraso na recepção do sinal do satélite irá causar uma degradação na acurácia no posicionamento.

Gorgulho (2004) exemplifica algumas outras fontes de erros no sinal GPS que degrada a qualidade no posicionamento:

- Podem ocorrer interferências no sinal que a antena recebe durante atividades atmosféricas intensas. Outras fontes de interferências como alternador do motor, sistema de ignição e ondas VHF podem afetar o sinal. A interferência do alternador e da ignição pode ser minimizada pela proteção apropriada da cablagem, pelo uso de filtros EMI/RFI e pela montagem adequada da antena receptora;

- Trajetória Múltipla: ocorre quando o sinal é refletido antes de alcançar o receptor GPS. O sinal refletido demora um pouco mais para alcançar o receptor que o sinal não refletido. Como a distância para cada satélite é calculada com base no tempo que o sinal leva para alcançar o receptor, a demora resulta em erro de posição. O erro pode ser minimizado pela escolha de um local para a instalação da antena menos exposto a sinais refletidos. Geralmente a antena deve ser montada numa superfície horizontal plana e grande, distante de estruturas verticais como cabines, mastros, etc;

- Diferenças na ionosfera e/ou troposfera entre o satélite GPS e o receptor GPS podem resultar em precisão deteriorada.

4.3.3 Posicionamento GPS Diferencial ou DGPS

Uma das alternativas encontradas para o posicionamento acurado com o GPS é o posicionamento relativo, denominado DGPS, onde um receptor é colocado fixo num ponto com coordenadas previamente estabelecidas (base), enquanto o outro (veículo) é situado no ponto cujas coordenadas são almejadas (BLITZKOW, 1995), ou seja, no posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), que devem estar referenciadas ao WGS 84, ou num sistema compatível. O DGPS é uma técnica usada para melhorar a precisão do GPS pelo processamento contínuo de correções nos sinais, que podem ser transmitidas por rádio via Freqüência Modulada (FM) ou via satélite e são disponibilizadas em alguns países através de serviços de subscrição taxados ou gratuitamente

para os usuários de um determinado fabricante. O DGPS reduz os efeitos das variações ionosféricas e permite uma acurácia submétrica no posicionamento GPS (GORGULHO, 2004). Balastreire & Baio (2001) mostram que o posicionamento relativo (DGPS) pode ser substituído por algum sistema que utiliza um algoritmo para a melhoria da precisão no posicionamento, alcançando coordenadas tão precisas quanto às obtidas pela utilização do DGPS. No entanto, estes algoritmos não permitem um posicionamento acurado e sim preciso.

Vale ressaltar o significado dos termos: acurácia e precisão. De acordo com Doebelin (1966), o termo precisão é definido como a menor dispersão dos valores ao redor da média. Entretanto, a média destes valores podem não coincidir com o valor real, pois o valor médio pode conter um desvio em relação ao valor real. Assim, definiu-se que o valor obtido é acurado quando este valor é preciso e sem desvio, ou seja, o valor médio não possui dispersão e a média dos valores coincide com o valor real.

Segundo Monico (1998), no posicionamento com GPS surgiram várias técnicas intermediárias entre o posicionamento relativo estático e o cinemático, explorando a capacidade do sistema em proporcionar coordenadas altamente precisas depois de um breve período de coleta de denominações para as técnicas desenvolvidas. Algumas vezes, denominações diferentes são utilizadas para descrever o mesmo procedimento. Entre os termos surgidos para descrever estas técnicas destacam-se: estático rápido, semi-cinemático, cinemático puro ou contínuo, cinemático rápido, *stop and go*, etc. No método cinemático, o receptor coleta dados enquanto está se deslocando, permitindo estimar as coordenadas de sua trajetória. Quando o receptor é desligado durante o deslocamento de uma estação para outra, trata-se do método estático rápido. Se o receptor tiver que manter sintonia com o satélite durante o deslocamento, mesmo sem estar armazenando as observações, trata-se do método aqui denominado semi-cinemático.

Balastreire & Baio (2002) realizaram um trabalho comparativo da acurácia entre o posicionamento por um GPS Trimble Ag 132 utilizando correção diferencial fornecida via satélite e o mesmo equipamento utilizando o algoritmo otimizado desenvolvido pelo fabricante do GPS. Os autores verificaram que os desvios de posicionamento obtidos com o GPS utilizando o algoritmo otimizado variaram entre um valor mínimo de 0,013 m e um valor máximo de 0,419 m, enquanto que com o GPS utilizando o sinal de correção via satélite os desvios variaram entre 0,095 m e 1,165 m.

4.3.4 Principais aplicações do GPS na agricultura

Balastreire (1998) relatam sobre as principais utilizações do GPS na agricultura estão correlacionados com a agricultura de precisão. Além do direcionamento de sistemas de orientação, o GPS tem grande potencial, e ainda pouco explorado, de utilização em atividades “da fazenda”, possibilitando o uso mais racional dos recursos e insumos. Um exemplo de utilização, já difundida, é o do acoplamento de um sistema GPS em colhedoras, juntamente com monitores da quantidade de grãos colhida a intervalos regulares. Atualmente são fabricados aplicadores de fertilizantes e corretivos, também comandados por GPS, que fazem automaticamente esta tarefa, percorrendo a lavoura e dosando mais ou menos adubo conforme a faixa percorrida naquele momento e segundo um mapa de prescrição. Baio (2001) define o conceito de um mapa de prescrição como sendo um conjunto de informações geoespecializados contendo a dosagem de um determinado insumo. Amostradores de solo automáticos acoplados a GPS já existem em operação, permitindo a coleta do número suficiente de amostras para o traçado dos mapas e, eventualmente, a transferência dos dados para o equipamento que fará a correção do solo.

Molin (1998) relata que uma das principais utilizações do GPS na agricultura foi em sistemas de direcionamento via satélite que inicialmente foi aplicado na aviação agrícola, contudo, estes equipamentos foram difundidos também em aplicações terrestres. Agrimensores diminuem custos e obtêm levantamentos precisos mais rapidamente com o GPS. Trabalhos de prospecção e exploração de recursos naturais também são enormemente beneficiados pela tecnologia do sistema (GORGULHO, 2004).

4.4. Sistema de direcionamento via satélite

Os sistemas de direcionamento via satélite são aqueles utilizados na substituição de sistemas de direcionamento tradicionais, como riscadores de solo e marcadores de espuma. De acordo com Antuniassi & Baio (2004), para o funcionamento de um sistema de direcionamento via satélite são necessários três componentes básicos: o painel luminoso (ou

display), o controle com botões de acionamento e o receptor GPS. O painel luminoso é um conjunto de luzes (LEDs) que se acendem na medida em que o veículo se afasta do alinhamento predeterminado, indicando ao operador a correção necessária no percurso programado, dispositivo também chamado de barra de luz. Este conjunto de luzes pode ser substituído por um monitor eletrônico, em que a orientação pode ser realizada por um desenho ilustrativo de um veículo em campo e a rota programada por onde o operador deve seguir. É comum também a existência de um visor que pode informar ao operador qual o erro em metros em relação ao alinhamento predeterminado ou qual a passada da aplicação, dentre outras informações. No início, estes equipamentos eram capazes somente de operar nos alinhamentos em reta. Com o desenvolvimento da tecnologia alguns modelos foram lançados no mercado com a possibilidade de operar em curva. A operação destes equipamentos em campo é bastante simples. Na maioria dos modelos existentes é necessário apenas localizar os pontos inicial e final do alinhamento de referência. Quase todos os modelos já detectam automaticamente a manobra no final do alinhamento, indicando ao operador o posicionamento do alinhamento seguinte.

Segundo Baio & Antuniassi (2003), é comum a utilização de sistemas de direcionamento via satélite na pulverização aérea no Brasil. Porém, na pulverização terrestre a tecnologia de direcionamento via satélite está sendo empregada e implementada principalmente no mercado de pulverizadores autopropelidos e ainda há um grande mercado a ser explorado. Praticamente todas as empresas fabricantes de pulverizadores autopropelidos disponibilizam o sistema de direcionamento via satélite como um opcional. Alguns produtores também estão utilizando para o alinhamento nas aplicações de adubos e corretivos a lanço. É possível a utilização desta tecnologia em outras operações agrícolas que exigem um elevado grau de acurácia, como no alinhamento de semeadoras. Entretanto, este uso está ligado à utilização de um GPS acurado (GPS geodésicos, que possuem erros milimétricos), conseqüentemente, sistemas mais caros, mas que são muito utilizados em alguns dos sistemas de direcionamento via satélite por auto-direcionamento.

Segundo Buick & White (1998), a utilização de sistemas de direcionamento via satélite como referência nos alinhamentos durante as aplicações possui algumas vantagens sobre as técnicas convencionais, das quais se pode citar:

- Maior utilização do GPS na propriedade, diluindo seu custo;
- Maior acurácia no alinhamento;
- Retorno ao ponto de parada após o reabastecimento;
- Utilização noturna;
- Utilização em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura;
- Utilização em qualquer distância percorrida em uma passada;
- Aumento da velocidade da aplicação;
- Melhoria da ergonomia para o operador;
- Utilização em qualquer condição atmosférica.

Melhorias do equipamento como a possibilidade de trabalhar com eficiência em curvas, melhoria na acurácia do sistema, não obrigatoriedade do pagamento do sinal de correção via satélite (devido à substituição deste sinal por algoritmos de correção) e informações nas telas dos equipamentos em português contribuíram para a difusão de sistemas de orientação via satélite no mercado brasileiro (BAIO & ANTUNIASSI, 2003).

Segundo Baio & Antuniassi (2003), é notório que a acurácia no alinhamento é extremamente dependente da habilidade do operador, pois os sistemas de direcionamento via satélite somente indicam a mudança, cabe ao operador corrigir a rota do veículo durante a aplicação. Esta dependência também acontece com outras técnicas de alinhamento. A acurácia do sistema de direcionamento via satélite em guiar o operador nos alinhamentos também é dependente da acurácia do GPS, pois é este equipamento quem vai fornecer a informação de posicionamento para o sistema de direcionamento via satélite. Assim, quanto maior a acurácia do GPS, menor é o erro do sistema de direcionamento. De acordo com Ehsani et al. (2002) são vários os fatores que interferem na acurácia dos sistemas de direcionamento via satélite: acurácia do GPS, acurácia do algoritmo do sistema de direcionamento, interface visual, configuração da sensibilidade dos LEDs e experiência do operador.

Há uma tendência também da utilização da barra de luz ligada diretamente ao sistema de direcionamento do veículo (trator ou autopropelido) por meio hidráulico, em que a própria barra de luz corrige a rota do veículo quando há necessidade, diminuindo o trabalho do operador e aumentando a acurácia do sistema (BAIO & ANTUNIASSI, 2003).

4.4.1 Direcionamento por barra de luz

Os sistemas de direcionamento via satélite por barra de luz são operacionalizados pela ação do condutor do veículo em corrigir a rota programada do veículo de acordo com a informação visual dada por um conjunto de luzes indicativas dispostas à frente do operador. Este sistema de direcionamento via satélite foi o primeiro a ser oferecido ao mercado no mundo, como também o primeiro sistema a ser lançado no mercado brasileiro. Os pioneiros a publicarem ensaios comparativos sobre a acurácia de algum tipo de sistema de direcionamento via satélite, mais especificamente de barra de luz, foram os autores Buick & White (1998). Estes autores realizaram uma comparação entre a operação guiada pela barra de luz e pelo marcador de espuma. O experimento foi realizado em duas áreas distintas, por dois operadores com diferentes condições de experiência. Um operador possuía uma experiência de 10 anos com o marcador de espuma e 9 meses com a barra de luz, o outro possuía uma experiência de 1 dia com ambos os métodos. A experimentação foi realizada com uma velocidade de 12 km/h. Os autores verificaram que para o operador com maior experiência, não houve diferença estatística entre os dois métodos. Já para o operador com menor experiência, houve uma melhor acurácia da operação com a barra de luz. Os autores verificaram também que a durabilidade da espuma é alterada de acordo com a condição climática. Os autores concluíram que o marcador de espuma pode ser substituído pela barra de luz nas operações agrícolas.

Baio et al., (2001) compararam a acurácia na orientação da aplicação em faixas paralelas pela utilização de uma barra de luz com correção diferencial via satélite e um marcador de espuma em um pulverizador autopropelido. O emprego da barra de luz mostrou grande acurácia. Os autores observaram também que o operador adaptou-se

facilmente ao sistema devido a maior facilidade operacional em relação ao marcador de espuma. De acordo com um trabalho realizado por Molin et al., (2002), a acurácia no alinhamento em faixas paralelas orientadas pela barra de luz foi estatisticamente igual em velocidades de deslocamento variando entre 5,0 km/h a 20 km/h. Os autores verificaram também que uma distância de 20 m foi suficiente para o pré-alinhamento do veículo na faixa de aplicação.

Han et al., (2002) atentaram para a necessidade da realização de ensaios dinâmicos para a avaliação da acurácia de uma barra de luz, pois é para esta condição que este equipamento foi desenvolvido. Estes autores desenvolveram uma metodologia para ensaios comparativos da acurácia de barra de luz em relação ao posicionamento dado por um GPS geodésico. A mensuração da variável resposta na metodologia desenvolvida por estes autores foi feita através de um SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Ehsani et al. (2002) realizaram um ensaio dinâmico comparando a acurácia de seis sistemas de direcionamento via satélite por barra de luz. Utilizaram um SIG para mensurar o erro dos sistemas e detectaram a necessidade de se utilizar um GPS estático coletando o posicionamento simultaneamente ao período do ensaio para posterior subtração dos efeitos dos erros do GPS referência no resultado da acurácia do sistema de direcionamento.

4.4.2 Direcionamento por monitor eletrônico

Um outro tipo de equipamento utilizado para o direcionamento via satélite é o monitor eletrônico, em que a orientação em campo é dada pela utilização de um dispositivo com uma tela de cristal líquido que possui um desenho ilustrativo de um veículo em campo e a rota programada por onde o operador deve seguir. Assim, este equipamento substitui um conjunto de luzes ou LEDs por uma tela que ilustra, ou simula, um veículo e um percurso que deve ser seguido. Este percurso a ser seguido pode ser ilustrado na tela de cristal líquido por um corredor virtual ou por uma linha imaginária disposta à frente do veículo ilustrativo (CULTIVA, 2004). Alguns equipamentos possuem sinal sonoro que ilustra ao

operador que o mesmo se encontra com o veículo fora da rota programada. O som deste sinal pode variar dependendo do lado do erro em relação ao alinhamento planejado.

Algumas empresas sentiram a necessidade do mercado em implementar seus sistemas de direcionamento por barra de luz com a possibilidade em possuírem algum tipo de monitor eletrônico conjugado ao sistema por barra de luz, possibilitando a orientação em campo também por este monitor de cristal líquido, além do conjunto de luzes (TRIMBLE, 2005). No entanto, na prática estes monitores estão sendo utilizados somente para auxiliar em manobras no final das passadas, pois possibilitam uma vista aérea ilustrativa da situação do veículo em campo e da nova passada a ser seguida.

4.4.3 Sistemas de auto-direcionamento

Como relatam Baio & Antuniassi (2003), uma inovação aos sistemas de direcionamento foi o desenvolvimento da automatização do direcionamento do veículo agrícola através de processadores eletrônicos conectados ao DGPS. O sistema de orientação e o DGPS são ligados diretamente ao controlador eletrônico que controla o sistema de direção do veículo (trator ou autopropelido) por meio eletro-hidráulico, e assim, o próprio sistema de direcionamento corrige a rota do veículo quando há a necessidade, diminuindo o esforço do operador e aumentando a acurácia do sistema. Este aumento da acurácia do sistema é alcançado pela eliminação do controle humano neste processo, os controles da rota são realizados mais rapidamente e com maior acurácia. Uma grande vantagem dos sistemas de auto-direcionamento é que o operador pode voltar sua atenção para os controles da operação (pulverização, colheita, preparo do solo, sulcação, dentre outros) possibilitando um ganho na qualidade da operação (pulverização com maior qualidade, colheita com a plataforma cheia, melhor controle de profundidade do sulco ou implemento de arrasto, etc). Todos os sistemas de auto-direcionamento possuem sensores adicionais que monitoram a inclinação do veículo em terrenos acidentados e corrigem a rota de acordo também com esta inclinação, melhorando ainda mais a acurácia pela eliminação do efeito da declividade no posicionamento correto do centro do veículo entre as passadas. Alguns sistemas de auto-direcionamento ainda possuem bússolas eletrônicas que auxiliam na eliminação de uma possível falha momentânea de

informação do DGPS. Um outro importante sensor que é instalado nos veículos com estes sistemas de auto-direcionamento é um potenciômetro eletrônico que é instalado na barra de direção do veículo. Este sensor monitora a posição desta barra de direção e informa ao controlador eletrônico qual a angulação do rodado em cada momento. No entanto, estes sistemas de auto-direcionamento possuem algumas limitações de instalação em muitos veículos agrícolas, pois os sensores devem ser adaptados para o veículo, em particular em que se deseja instalar o equipamento, assim como o atuador eletro-hidráulico da caixa de direção, sendo que há diversas necessidades intrínsecas, como uma vazão mínima da bomba hidráulica. Muitos destes sistemas utilizam o GPS com correção por RTK (*Real Time Kinematic*) para a informação do posicionamento, em que um GPS é disposto em um ponto de coordenadas conhecidas, chamado de ponto base, e que envia o sinal de correção via ondas de rádio para o GPS que é colocado no veículo. Este sistema de correção proporciona uma acurácia muito maior, quando comparado aos sistemas de correção por sinal de satélites ou mesmo por algoritmos.

Mas a evolução dos sistemas de auto-direcionamento é contínua e estão surgindo novos equipamentos que estão facilitando e possibilitando a instalação em qualquer veículo, como o que já ocorre com os sistemas de direcionamento por barra de luz ou monitor eletrônico em que há a possibilidade da instalação destes equipamento em qualquer veículo agrícola. A Trimble desenvolveu e lançou no mercado o primeiro sistema de auto-direcionamento que pode ser adaptado para qualquer veículo agrícola (TRIMBLE, 2005). Este novo sistema possibilitou uma maior facilidade de instalação e diminuiu os custos de aquisição destes sistemas. Este novo equipamento baseia-se somente na instalação de um sistema de direcionamento via satélite adaptado a um atuador elétrico que é instalado na coluna de direção e que possui um rolete controlado eletronicamente que é conectado ao volante da direção do veículo. Assim, este dispositivo corrige a rota do veículo de acordo com o percurso programado diretamente pela ação do rolete sobre o volante de direção. Também eliminando a necessidade da interferência do operador e proporcionando uma maior acurácia no controle da rota programada.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Áreas e períodos dos experimentos de campo

Foram aplicados quatro experimentos comparativos de sistemas de direcionamento chamados de: Experimento 1, Experimento 2, Experimento 3 e Experimento 4. Esta divisão foi necessária, pois os experimentos dos sistemas de direcionamentos foram realizados em áreas e em períodos distintos:

- Experimento 1 - O ensaio do sistema de direcionamento por barra de luz (Trimble Ag 106 e Ag 110) e do marcador de espuma foi realizado em um talhão da fazenda Brasilanda localizada no município de Rio Verde – GO, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: 17° 30' S e 51° 14' WG. O talhão possuía relevo plano a suave ondulado e sem obstruções físicas para o recebimento dos sinais dos satélites GPS. O período experimental foi entre os dias 1 e 7 de abril de 2003.

- Experimento 2 - O ensaio do sistema de auto-direcionamento (Trimble AutoPilot) e direcionamento por barra de luz (Trimble Ag110) foi realizado em um talhão da Fazenda Ponte de Pedra localizada no município de Rondonópolis - MT, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: 16° 43' S e 54° 49' WG. O talhão possuía relevo plano e sem obstruções físicas para o recebimento dos sinais dos satélites GPS. O campo experimental possuía restos culturais de milho. O período experimental foi entre os dias 31 de outubro e 02 de novembro de 2003.

- Experimento 3 - O ensaio dos sistemas de direcionamento por barra de luz (Trimble Ag 110, SatLoc LiteStar e RHS OutBack) e por monitor eletrônico (Cultiva Marker Lti) foi realizado em um talhão da Fazenda Xingu localizada no município de Ituverava - SP, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: 20° 18' S e 47° 57' WG. O talhão possuía relevo plano e sem obstruções físicas para o recebimento dos sinais dos satélites GPS. O período experimental foi entre os dias 03 e 18 de setembro de 2003.

- Experimento 4 - O ensaio dos sistemas de direcionamento por barra de luz (Trimble Ag 110 Plus) e por cabo de aço foi realizado em um talhão da Fazenda Augibeira localizada no município de Ponta Grossa - PR, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: 24° 51' S e 50° 20' WG. O talhão possuía relevo plano e sem obstruções físicas para o recebimento dos sinais dos satélites GPS. O período experimental foi entre os dias 21 e 23 de abril de 2004. O campo experimental estava sendo cultivado com aveia e se encontrava no estágio inicial de desenvolvimento.

Todas as áreas experimentais onde foram realizados os experimentos possuíam pelo menos 25 ha, possibilitando a execução das avaliações. O tamanho da área experimental a ser escolhida é um ponto bastante importante, pois se deve considerar e garantir que em todas as repetições as condições sejam as mesmas e, ainda, considerar uma área adicional onde haveria a possibilidade do treinamento dos operadores com os sistemas de orientação a serem avaliados. Para o cálculo do tamanho mínimo da área a ser adotada deve ser observado o planejamento do número de repetições a serem realizadas, o comprimento das passadas, a largura das faixas das passadas, a área de manobra e a área de treinamento. Pode-se generalizar que nos ensaios em curva a área necessária é, pelo menos, 4 vezes maior do que a área necessária no ensaio em reta, isto pois o comprimento da passada para a realização do ensaio em curva é consideravelmente maior do que no ensaio em reta.

Um outro ponto de grande relevância no que tange a possibilidade de erros elevados no posicionamento se não for dada a devida importância é com relação ao planejamento adequado do período da realização do ensaio. Frequentemente a atividade solar se eleva bastante. A atividade solar pode afetar a transmissão dos sinais dos satélites GPS e causar uma grande diminuição da acurácia no cálculo do posicionamento e, conseqüentemente, no cálculo da passada planejada pelos sistemas de direcionamento via satélites. A atividade solar pode ser monitorada por informativos elaborados por entidades

especializadas, como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Assim, foram tomados os devidos cuidados para que não fossem realizados os ensaios nos períodos em que a atividade solar pudesse ser impactante.

5.2 Equipamentos e configurações utilizados

5.2.1 Equipamentos GPS, sistemas de direcionamento via satélite ensaiados e configurações dos equipamentos

Para facilitar o entendimento os equipamentos foram agrupados segundo os ensaios onde os mesmos foram envolvidos.

- Experimento 1 - Foram comparados dois sistemas de direcionamento com receptores GPS Trimble, modelo Ag 106 e modelo Ag 110 (Figura 2) e mais a comparação com um sistema de direcionamento por marcador de espuma. Ambos os modelos utilizaram o algoritmo otimizado desenvolvido pela Empresa Trimble para a realização da correção do posicionamento fornecido pelo receptor GPS. No entanto, o GPS Trimble modelo Ag 106 somente foi utilizado no ensaio do alinhamento em reta, pois este modelo não oferece suporte para a operação em curva. Foi utilizado um mesmo modelo de barra de luz Trimble modelo AgGPS Ez-Guide para o direcionamento utilizando ambas as antenas GPS.



Figura 2. Receptor GPS Trimble (a) e barra de luz Trimble Ez-Guide (b) instalados no pulverizador autopropelido.

- Experimento 2 - Foi utilizado um receptor GPS Trimble, modelo AgGPS 110. Este modelo utilizou o algoritmo otimizado desenvolvido pela Empresa Trimble para a realização da correção do posicionamento fornecido pelo receptor GPS. Foram comparados dois sistemas de direcionamento diferentes: um por barra de luz (Trimble modelo AgGPS Ez-Guide) e outro por auto-direcionamento (Trimble modelo AutoPilot). O mesmo receptor GPS Ag 110 foi utilizado tanto para o fornecimento da posição para a barra de luz Ez-Guide quanto para o sistema de auto-direcionamento Autopilot.

- Ensaio 3 - Foram comparados quatro sistemas de direcionamento via satélite diferentes. Dois destes sistemas utilizaram um mesmo receptor GPS (GPS SatLoc), ou seja, esta mesma antena foi utilizada para o fornecimento do posicionamento para dois modelos de barras de luzes. Ao equipamento OutBack S foi conectada a antena GPS SatLoc (Figura 3), utilizando o algoritmo otimizado eDif para correção do erro GPS. Esta mesma antena GPS SatLoc também foi utilizada com o equipamento Cultiva Marker Lti (Figura 4), assim como foi utilizado também o mesmo algoritmo eDif para correção do erro GPS neste equipamento. Ao equipamento LiteStar (Figura 5) foi conectada a antena GPS SatLoc modelo Ag IQ, como também foi utilizado o algoritmo eDif para correção do erro GPS. Contudo, este sistema não possui interface RS-232, assim, foi necessária a utilização da antena GPS SatLoc conectada ao equipamento OutBack S somente para o fornecimento da posição para o

programa Farm Site Mate, que realizou a gravação do percurso do pulverizador autopropelido. Entretanto, este equipamento não foi utilizado como balizador e permaneceu fora da linha de visão do operador. Foi também utilizado um GPS Trimble modelo AgGPS 110 Ez-Guide que utilizou o algoritmo otimizado desenvolvido por este fabricante para correção do erro GPS (Figura 2).



(a)



(b)

Figura 3. Receptor GPS SatLoc (a) e barra de luz modelo Outback S (b).



Figura 4. Barra de luz Cultiva modelo Marker LTi.



Figura 5. Barra de luz SatLoc modelo LiteStar.

- Experimento 4 - Foram comparados dois sistemas de direcionamento diferentes, um via satélite (Figura 6) e outro por demarcação de campo utilizando um cabo de aço. Para o sistema de direcionamento via satélite foi utilizado um receptor GPS Trimble modelo AgGPS 150 e uma barra de luz Trimble modelo AgGPS Ez-Guide Plus. Este modelo utilizou o algoritmo otimizado desenvolvido pela Empresa Trimble para a realização da correção do posicionamento fornecido pelo receptor GPS. O receptor GPS AgGPS 150 foi utilizado tanto para o fornecimento da posição para a barra de luz Ez-Guide Plus quanto para o computador portátil que gravou o percurso do veículo durante o ensaio.



Figura 6. Barra de luz Trimble modelo Ez-Guide Plus.

Foi considerado também como um item do planejamento do período do ensaio as configurações das disposições dos satélites no momento do ensaio em campo. O número de satélites e a sua configuração no espaço para cada momento do dia vão refletir em um fator ilustrativo do nível de erro no posicionamento para cada momento do dia. Este fator ilustrativo do nível do erro para cada momento é chamado de DOP (*Dilution of Precision*).

Este fator pode ser visualizado facilmente em qualquer GPS que possua uma tela ou monitor eletrônico informativo. Assim o fator DOP pode ser monitorado constantemente em cada momento do ensaio. Quanto ao planejamento, este fator pode ser previamente conhecido através da utilização de programas computacionais chamados de *Mission Planning*, ou Planejamento da Missão GPS em Campo. Muitos fabricantes de equipamentos GPS disponibilizam estes programas pela internet. Em todos os ensaios o número de satélites GPS disponíveis foi sempre superior a 7 e o nível do PDOP (*Position Dilution of Precision*) foi sempre abaixo de 5, foi monitorado este nível de PDOP, não sendo realizado ensaios quando este patamar foi ultrapassado. A antena do equipamento GPS foi posicionada sempre acima e no alinhamento central do eixo de direção do veículo.

Todos os monitores e barras de luzes dos sistemas de direcionamento por satélites foram posicionados à frente da linha de visão do operador durante a realização dos ensaios de campo. Todos os equipamentos foram configurados com uma largura da faixa de aplicação de 20 m. É fundamental também posicionar corretamente a antena GPS no veículo que será utilizado. A posição mais adequada para o posicionamento da antena GPS, segundo os fabricantes, é no centro do alinhamento transversal do veículo, pois assim, a antena estará no centro dos rastros dos pneus. O posicionamento mais indicado da antena GPS por alguns fabricantes em relação ao alinhamento longitudinal é acima do eixo dianteiro. Se a antena GPS for posicionada acima do eixo dianteiro, as mudanças de posicionamento relativo pela movimentação da direção do veículo serão prontamente percebidas pelo sistema de direcionamento.

5.2.1.1 Configuração dos sistemas de direcionamento via satélite

Em um ensaio comparativo da acurácia dos sistemas de direcionamento via satélite o que se busca é a mensuração dos erros destes sistemas. Assim, deve-se tomar todos os cuidados necessários para que todos os equipamentos a serem avaliados possuam um ótimo desempenho para cada equipamento. O máximo desempenho de um equipamento somente poderá ser alcançado se este equipamento for corretamente configurado. Uma configuração errônea poderá comprometer todo um ensaio comparativo,

pois o equipamento não poderá corresponder à performance desejada ou planejada pelos seus desenvolvedores ou fabricantes. Assim, todos os manuais de operação dos sistemas de orientação via satélite e os manuais de operação dos GPS foram estudados e foram realizados pré-ensaios em campo, nas mesmas condições experimentais, de forma que se possibilitou a correta adequação de todas as configurações do equipamento para cada condição de trabalho. De acordo com Ehsani et al. (2002), a configuração da sensibilidade do sistema de direcionamento via satélite pode afetar significativamente a acurácia dos alinhamentos. Segundo os autores, o aumento da sensibilidade tende a provocar um aumento da acurácia do sistema, mas torna os leds ou o percurso orientado pelo visor muito mais instável.

As barras de luzes Trimble foram configuradas com espaçamento entre *leds* de 0,30 m. A configuração do item *look ahead*, ou posição prevista do veículo a frente se continuar naquela trajetória, ou ainda tempo de adiantamento (termo a ser adotado no decorrer deste trabalho), foi de 3 s no ensaio em reta e de 2 s no ensaio em curva. A frequência de transmissão de dados entre o GPS e a barra de luz foi de 5 Hz. O item correção pelo sistema WAAS foi configurado como desativado e o item correção por DGPS foi configurado como manual desligado.

A barra de luz OutBack S foi configurada com um nível médio de sensibilidade dos *leds*, tanto para o ensaio em reta como para o ensaio em curva. A frequência de transmissão de dados entre o GPS e a barra de luz foi de 5 Hz.

A barra de luz LiteStar foi configurada com um nível médio de sensibilidade dos *leds*, tanto para o ensaio em reta como para o ensaio em curva. A frequência de transmissão de dados entre o GPS e a barra de luz foi de 5 Hz.

O sistema de direcionamento via satélite por monitor eletrônico Cultiva modelo Marker LTi possui uma tela de cristal líquido que ilustra o percurso por onde o veículo deve percorrer. Assim, este equipamento não possui *leds* e sim um “corredor virtual” ilustrando a trajetória planejada que pode ser visualizada na tela de cristal líquido. Porém, este corredor virtual possui a mesma finalidade de uma barra de luz. No ensaio em reta o equipamento Marker LTi foi configurado com uma tolerância da largura de cada faixa da tela de cristal líquido de 0,10 m, ou seja, era necessário que houvesse um desvio de 0,10 m para que uma outra faixa fosse mostrada na tela. Para o ensaio em curva esta configuração foi de 0,30 m. O tempo de adiantamento ou *look ahead* foi configurado em 3 s. A frequência de

transmissão de dados entre o GPS e a barra de luz foi de 5 Hz. Durante todo o ensaio o sistema permaneceu ligado e antes da realização de cada parcela o algoritmo foi atualizado em um mesmo ponto do campo experimental em que o pulverizador autopropelido retornava ao final daquela parcela do ensaio, este procedimento foi adotado para todos os sistemas de direcionamento que utilizaram o algoritmo eDif como sistema de correção dos erros GPS.

5.2.2 Outros sistemas de direcionamento ensaiados

No Experimento 1 foi utilizado o sistema de direcionamento por marcador de espuma Jacto MasterMark que foi comparado ao sistema de direcionamento via satélite por barra de luz (Figura 7). A solução com o agente espumante fornecida pela empresa Jacto foi preparada na concentração de 10 % e com água limpa.



Figura 7. Marcador de linha por espuma MasterMark instalado no pulverizador autopropelido.

No Experimento 4 foi utilizado o sistema de direcionamento por cabo-de-aço ligado a dois tratores (Figura 8). Este sistema de direcionamento foi comparado ao sistema de direcionamento via satélite. Por este sistema, um trator é o guia e o outro o trator guiado, sistema muito utilizado pelos agricultores do estado do Paraná. Na operação em campo por este sistema, o trator guiado demarca o campo com o rastro do pneu do trator, sendo este rastro utilizado como referência para a próxima passada pelo trator guia, ou seja, dois tratores passam pelo mesmo local do campo contribuindo para a compactação do local.

Vale lembrar também que esta é uma operação em que os tratores vão somente demarcando o solo, não realizando nenhuma aplicação, pois tracionar um implemento, seja montado ou de arrasto, tornaria o processo de manobra impraticável. Durante a manobra no final da passada os operadores necessitam estar atentos, pois sempre há o risco do cabo ser enrolado no eixo do trator e provocar uma quebra ou aumentar o tempo perdido na manobra. O processo de manobra no final da passada é mais demorado do que os outros sistemas de direcionamento. Uma outra característica desta operação com o cabo de aço é que sempre o trator guiado força a direção do veículo para o lado contrário ao cabo de aço, fazendo com que o mesmo se mantenha esticado, no entanto, este processo pode causar uma sobrecarga sobre o eixo dianteiro e danificar o trator. O cabo de aço de 0,01 m de secção e 17,89 m de comprimento foi posicionado à frente de ambos os tratores amarrado em seus lastros dianteiros.



Figura 8. Sistema de marcação de rastro por cabo de aço (a) e trator utilizado como guia (b).

5.2.3 Veículos utilizados

Nos Experimentos 1 e 3 foi utilizado como veículo um pulverizador autopropelido modelo Uniport 2000 da Empresa Jacto (Figura 9), com barras de 21,5 m de comprimento, dotado de um controlador eletrônico do sistema de pulverização, o qual possibilitou o monitoramento da velocidade de deslocamento durante a realização dos experimentos. A velocidade foi mantida constante em todos os trajetos através da seleção de

uma marcha e rotação do motor. O pulverizador simulou a pulverização de um defensivo aplicando em faixas adjacentes sucessivas sobre o terreno e deixando rastros do pneu sobre o solo, o que possibilitou a medição dos desvios no alinhamento.



Figura 9. Pulverizador autopropelido Jacto modelo Uniport 2000.

No Experimento 2 foi utilizado um pulverizador autopropelido modelo Uniport 2500 da Empresa Jacto (Figura 10), com barras de 24 m de comprimento, dotado de um monitor eletrônico, o qual possibilitou o monitoramento da velocidade de deslocamento durante a realização do ensaio.

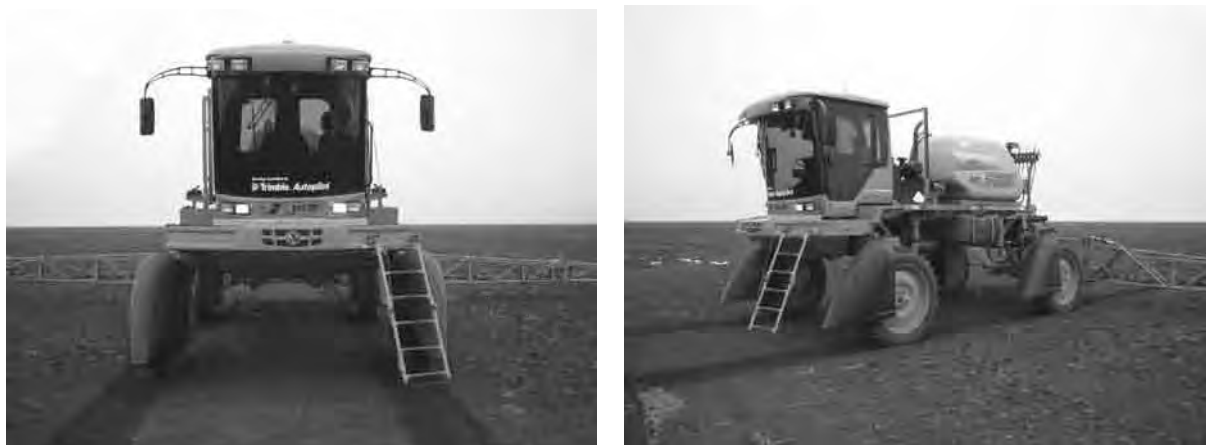


Figura 10. Pulverizador autopropelido Jacto modelo Uniport 2500.

No Experimento 4 foi utilizado um trator agrícola John Deere modelo 6300 em que foi instalado o sistema de orientação por barra de luzes. Foi também este o trator guiado no sistema de marcação de rastros por cabo de aço. Foi utilizado como guia no sistema de marcação de rastro por cabo de aço um trator agrícola New Holland modelo 7630. Estes tratores agrícolas são ilustrados na Figura 8. No ensaio, o trator simulou uma pulverização de um defensivo aplicando em faixas adjacentes sucessivas sobre o terreno e deixando rastros do pneu sobre o solo, o que possibilitou a medição dos desvios no alinhamento.

5.3. Monitoramento da velocidade

Durante todas as etapas em todos os experimentos a velocidade do veículo foi mantida constante. Nos Experimentos 1, 3 e 4 a velocidade foi de 15 km/h. Esta velocidade foi escolhida em função destes sistemas de direcionamento via satélite serem mais utilizados em pulverizadores autopropelidos, sendo esta velocidade bastante usual para esta categoria de pulverizadores. O experimento 2 necessitou de ser realizado a 18 km/h pois o sistema de direcionamento via satélite por auto-direcionamento necessitou de uma velocidade maior do que 15 km/h. As velocidades foram monitoradas através do monitor eletrônico do pulverizador autopropelido. No Experimento 4 a velocidade foi monitorada pela informação proveniente do monitor eletrônico da barra de luz Ez-Guide Plus. As velocidades foram estabilizadas antes do ponto inicial de cada alinhamento do ensaio.

5.4 Memorização do percurso do equipamento

Durante a realização de cada tratamento em todos os experimentos foi realizada a memorização em tempo real do percurso do trator através de um computador portátil conectado à porta serial do equipamento GPS utilizando o protocolo de comunicação NMEA pela RS-232. Esta memorização foi realizada com o auxílio do programa Farm Site Mate (Farm Works Software). Entretanto, esta informação foi meramente ilustrativa do trajeto

do trator, já que todas as mensurações de desvio foram realizadas diretamente no campo experimental.

5.5 Operadores e treinamentos com os sistemas de direcionamento via satélite

A acurácia final do sistema de direcionamento via satélite por barra de luz ou por monitores eletrônicos é extremamente dependente da habilidade do operador em manejar o sistema, pois depende dele a ação em girar o volante da direção conforme a orientação do sistema de direcionamento. Assim, houve a necessidade da realização de um treinamento prévio do operador com o sistema a ser ensaiado, mesmo que o operador já tivesse uma prática prévia em operar o sistema, pois se passaram meses desde a última aplicação feita por este operador. Este treinamento foi realizado nas mesmas condições de campo do ensaio e próximo ao campo experimental. Em todos os experimentos a experimentação de campo foi realizada por dois operadores que operaram manualmente os veículos, exceto para o sistema de auto-direcionamento via satélite, em que os operadores somente acionaram o botão que ligava o sistema automatizado. Os operadores foram diferentes em cada experimento de campo. Cada operador guiou o veículo tanto no ensaio em reta como no ensaio em curva. Cada operador praticou por cerca de uma hora antes da realização de cada ensaio, em reta e em curva.

5.6 Procedimento de pré-alinhamento dos veículos

Em todas as repetições de todos os ensaios (ensaio em reta e em curva) os veículos iniciaram o percurso pré-alinhado ao início do alinhamento de referência AB. Segundo Molin et al. (2002), o pré-alinhamento do veículo em cada passada pode ser realizado em uma distância de 20 m antes do ponto inicial do ensaio, ou seja, antes do ponto A do alinhamento AB. Este alinhamento AB é o alinhamento referência adotado em todos os sistemas de direcionamento via satélite. Segundo os autores, o pré-alinhamento do veículo é importante para a eliminação da tendência do erro ser maior no início de cada passada. Assim,

o pré-alinhamento do percurso foi realizado em uma faixa de pelo menos 20 metros antes e após aos pontos A e B do alinhamento de referência, respectivamente.

5.7 Procedimento para mensuração da variável resposta

Por esta metodologia proposta, a variável resposta mensurada foi o desvio real mensurado em campo do alinhamento na orientação do veículo pelo sistema de orientação em relação ao alinhamento pré-determinado ou planejado para aquela passada. Assim, os desvios foram obtidos pela diferença entre a largura da faixa na ausência de erros no alinhamento pré-determinado ou planejado (20 m) e a largura da faixa real mensurada em campo.

A mensuração dos desvios do alinhamento orientado pelo sistema de direcionamento via satélite em relação ao alinhamento programado foi realizada perpendicularmente ao alinhamento de referência. Esta mensuração foi realizada com o auxílio de uma trena nos Experimentos 1, 3 e 4 e com o auxílio da mensuração eletrônica da distância por um equipamento topográfico no Experimento 2. A mensuração através da trena foi realizada sempre medindo a distância horizontal ao plano. O equipamento topográfico corrigiu a distância mensurada (distância inclinada) para a distância horizontal ao plano, ou ao solo. Por esta metodologia proposta, a mensuração dos desvios foi realizada entre os centros dos rastros dos pneus de duas passadas adjacentes sucessivas do veículo (Figura 11).

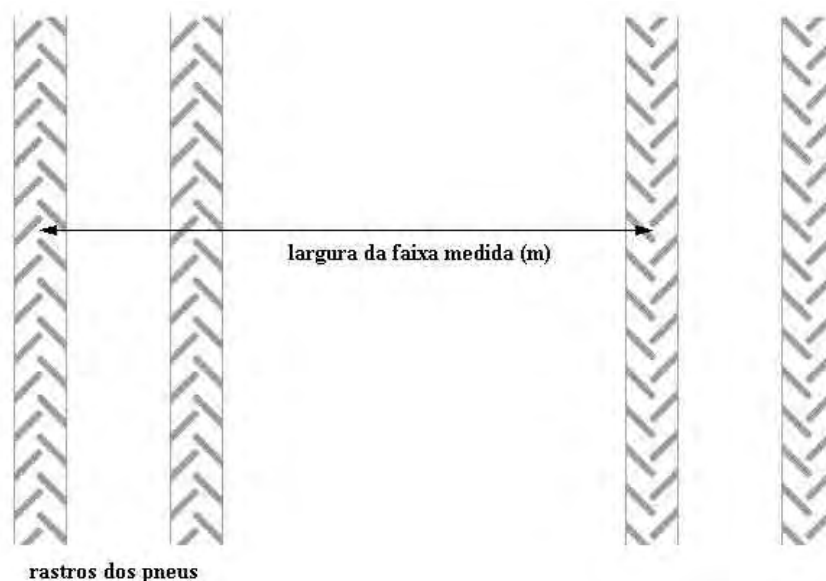


Figura 11. Mensuração da largura da faixa entre duas passadas adjacentes sucessivas.

5.7.1 Ensaio em reta

A medição dos desvios foi realizada perpendicularmente ao alinhamento de referência com o auxílio de uma trena de 50 m entre os centros dos rastros dos pneus de duas passadas adjacentes sucessivas do veículo. Esta foi a metodologia adotada para os Experimentos 1, 3 e 4. Na Figura 12 pode-se observar que o erro máximo possível devido a não perpendicularidade da trena no momento da mensuração dos desvios pode chegar a 2,7 cm para um erro de 3° na perpendicularidade. No entanto, durante a mensuração em campo é possível ver que há um erro na perpendicularidade na trena (Figura 13). Já um erro de 2° na perpendicularidade é difícil de se notar visualmente e o erro de mensuração causado por um desvio de 2° é de 1,2 cm. Este erro de mensuração, de 1,2 cm, em relação ao erro do sistema de direcionamento que pode chegar até 60 cm não influencia o resultado da análise. Entretanto, para sistemas de direcionamento acurados, como os auto-direcionamento, este erro de mensuração de 1,2 cm pode comprometer o resultado do ensaio.

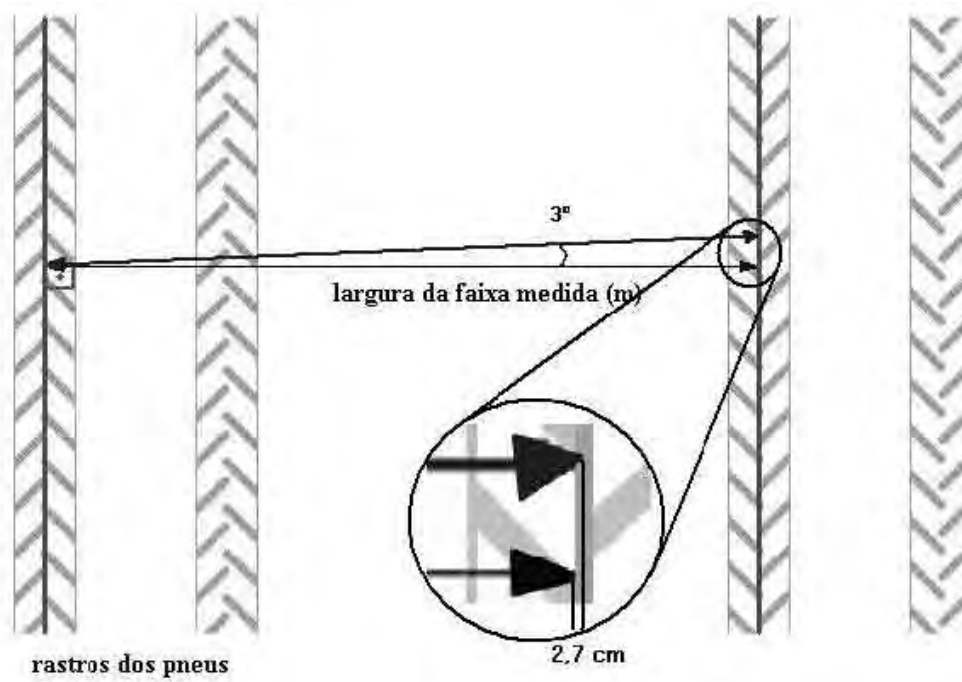


Figura 12. Ilustração do erro de 3° cometido na mensuração dos desvios pela não perpendicularidade da trena em uma distância de 20 m.



Figura 13. Visualização do erro de 3° cometido na mensuração dos desvios pela não perpendicularidade da trena em uma distância de 20 m.

No Experimento 2 a mensuração dos desvios foi realizada perpendicularmente ao alinhamento de referência utilizando-se de um equipamento topográfico, pois o erro de mensuração com uma trena poderia afetar o resultado do ensaio. Foi utilizada uma estação total Pentax modelo PCS 300 (Figura 14).



Figura 14. Equipamento topográfico utilizado no Experimento 2 para mensuração dos desvios perpendiculares ao alinhamento de referência.

Para a realização do ensaio da acurácia do sistema de direcionamento via satélite operando em reta foram construídas linhas de referência sobre o campo experimental (Figura 15). As linhas foram construídas de tal forma que foi possível tomá-las como referência para a tomada dos pontos A e B durante a operação com o sistema de direcionamento via satélite, como também, foi possível adotar esta linha de referência como base para as mensurações dos erros ou desvios do sistema de direcionamento em relação ao alinhamento programado.



Figura 15. Croqui da linha de referência para o ensaio em reta.

Esta linha de referência foi construída com estacas dispostas de forma eqüidistantes formando uma linha retilínea por onde o veículo tomou como base os pontos inicial e final do alinhamento AB de referência para o sistema de direcionamento via satélite. As estacas possuíram um adequado contraste com a coloração do solo. Elas também foram tomadas como pontos de controle em que as leituras dos desvios do alinhamento programado foram tomadas. Foram dispostas estacas eqüidistantes em 10 m sobre o alinhamento de referência, facilitando no percurso do trator sobre a linha de referência e mostrando os pontos em que foram tomadas as 10 medidas dos desvios dos tratamentos. Esta mensuração foi realizada a cada 20 m deste percurso, ou seja, a cada duas estacas, uma foi utilizada como referência de localização em que os desvios foram medidos. Assim, evitaram-se leituras tendenciosas dos desvios ou erro do sistema de direcionamento via satélite. As linhas de referência foram longas o suficiente permitindo que o operador passasse por vários ciclos de erros durante o percurso. Estes ciclos de erros foram a tendência do operador em acertar sempre o alinhamento orientado girando o volante de direção, formando um rastro sobre o solo parecido com uma curva senoidal. Assim, o operador cruzou várias vezes o alinhamento programado orientado pelo sistema de direcionamento, mesmo que este cruzamento fosse mínimo. O comprimento do alinhamento de referência foi de 200 m

5.7.2 Ensaio em curva

A linha de referência para o ensaio em curva seguiu o mesmo padrão da linha para o ensaio em reta, ou seja, também foi construída em campo uma linha com estacas que foram fáceis de visualizar, possibilitando que esta linha fosse utilizada como referência para o primeiro alinhamento AB do sistema de direcionamento.

Esta linha de referência teve a importância de possibilitar a mensuração dos desvios em diferentes repetições e em diferentes ensaios em locais distintos, mas com as mesmas condições de trajetória do veículo.

Os percursos de referência para os ensaios em curva foram formados por dois semicírculos tangenciais em um ponto, em formato de “S” (Figura 15). Os semicírculos possuíam raio de 100 m.

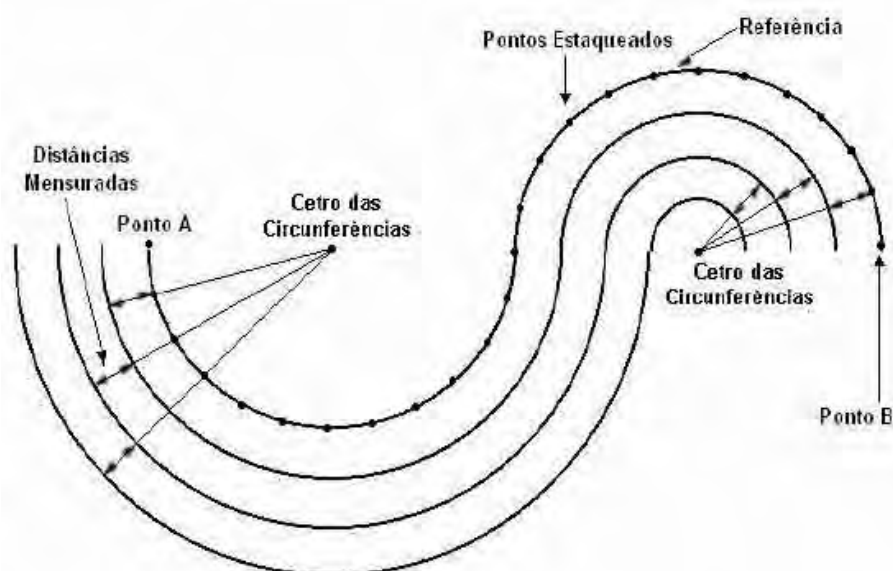


Figura 15. Croqui da linha de referência para o ensaio em curva.

A elaboração destes semicírculos foi planejada utilizando um programa de SIG chamado de ArcView (empresa ESRI) que facilitou não só o planejamento, mas a disposição prévia do percurso sobre a área disponível. Estes percursos de referência foram construídos em campo com o auxílio de um programa de mapeamento de campo chamado de Farm Site Mate (empresa Farm Works) instalado em um computador portátil e conectado a um GPS via protocolo de comunicação NMEA pela RS-232. O programa mostrou na tela do computador uma grade quadrática de 50 m de lado, um ponto em que estava localizada a antena do GPS naquele instante e o percurso desejado em formato de “S” (Figura 16). Desta forma, foi possível a navegação sobre cada um dos pontos, equidistantes em aproximadamente 20 m sobre este percurso de referência, em que foram fixadas estacas, tomadas como referências para a mensuração dos desvios no ensaio comparativo em curva e como referência da passada inicial. Foram estaqueados também os pontos inicial e final, chamados de pontos A e B, respectivamente.

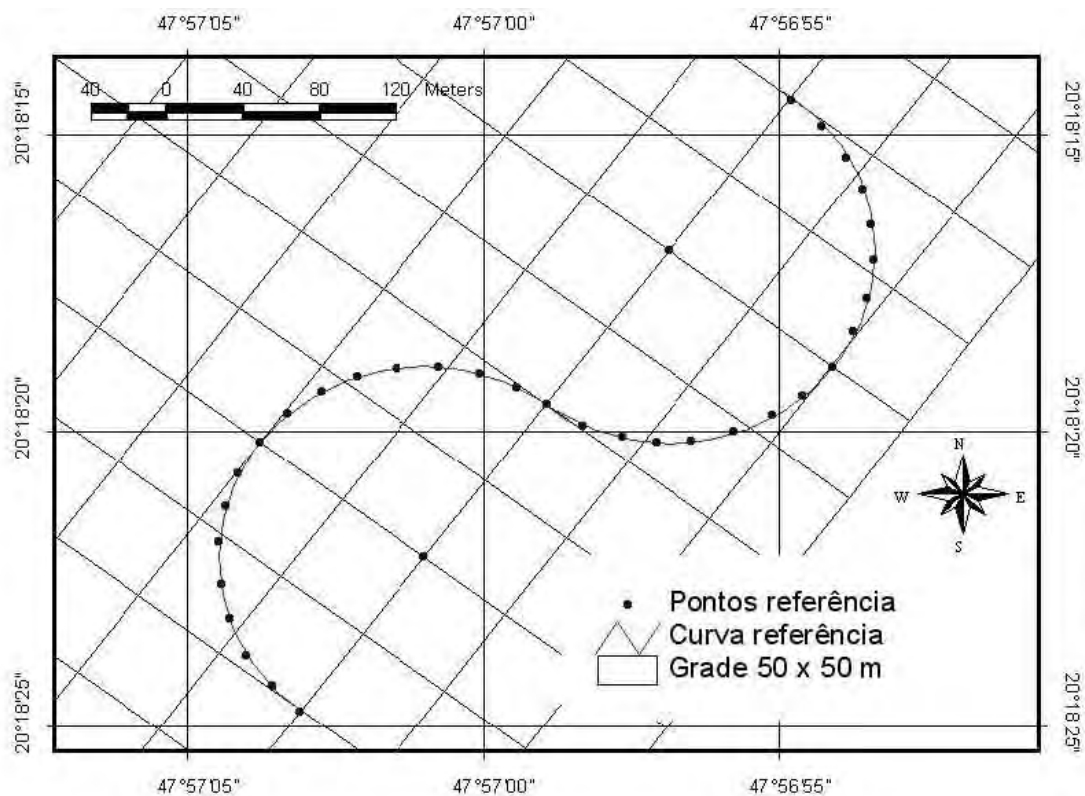


Figura 16. Exemplo de mapa da referência em curva utilizado para o estaqueamento em campo.

A medição dos desvios foi realizada perpendicularmente à tangente do raio da semi-circunferência, ou seja, sobre o prolongamento do raio da semi-circunferência. Para a realização desta atividade foram estaqueados os centros das semi-circunferências referenciais.

Esta mensuração foi realizada utilizando os centros dos rastros dos pneus de duas passadas adjacentes sucessivas do trator.

5.8 Análise dos resultados dos ensaios

Todos os equipamentos foram ensaiados utilizando a mesma metodologia de ensaio descrita neste trabalho. Os equipamentos foram ensaiados em

alinhamentos retilíneos e em curva. No entanto, o sistema de auto-direcionamento via satélite Trimble AutoPilot foi ensaiado somente em reta, pois o modelo ensaiado não possuía tecnologia para o direcionamento do veículo em curva.

Os dados mensurados em campo obtidos em todos os ensaios, como também os dados obtidos nos ensaios em reta como em curva, foram analisados separadamente. Foi realizada uma análise não paramétrica dos resultados obtidos em cada experimento. Esta análise foi possível pela comparação dos intervalos de confiança.

Foram elaborados gráficos ilustrando a frequência relativa acumulada dos desvios em relação ao alinhamento teórico. Foram estudados os efeitos do incremento do número da passada em relação ao alinhamento de referência.

Também foram elaboradas tabelas comparativas contendo todos os desvios médios obtidos por todos os sistemas de direcionamento em todos os ensaios, separados pelos resultados nos ensaios em reta e em curva. Embora não seja uma comparação com validade estatística, estas tabelas podem ilustrar as dimensões das acurácias dos sistemas avaliados.

5.9 Análise de investimento para aquisição de um sistema de direcionamento via satélite

Foi realizado um estudo de caso sobre a análise de investimento em um sistema de direcionamento via satélite baseado nos resultados médios das acurácias dos sistemas de direcionamentos ensaiados. Este estudo de caso objetivou uma breve análise de investimento neste tipo de equipamento considerando a aplicação deste sistema de direcionamento em uma propriedade agrícola que cultivava soja e milho safrinha. Para tanto, foram considerados a faixa de aplicação segundo a largura do pulverizador com sobreposição, a largura da faixa de aplicação com redução na sobreposição, o insumos aplicados utilizando o sistema de direcionamento, os custos destes insumos aplicados, como também os custos de aquisição dos sistemas de direcionamento avaliados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação da metodologia desenvolvida

A metodologia desenvolvida para a avaliação da acurácia dos sistemas de direcionamento via satélite se mostrou prática e rápida de ser aplicada. Não necessitando de equipamentos especiais de geoposicionamento, como um GPS geodésico, para a mensuração dos erros dos sistemas de direcionamento via satélite. Esta característica proporciona também a realização de um ensaio de campo com custos reduzidos, pois por esta metodologia há somente a necessidade dos sistemas de direcionamento a serem avaliados e de um veículo agrícola. A metodologia também totaliza todos os erros inerentes ao direcionamento via satélite, incluindo o erro do sistema GPS, o erro do sistema de direcionamento e o erro do operador.

Foi de extrema importância a escolha adequada da área experimental para a realização dos ensaios comparativos, com todas as repetições envolvidas, em condições semelhantes, pois as condições do relevo e a paisagem local podem interferir na recepção dos sinais dos satélites GPS. O relevo mais adequado é aquele plano, ou no máximo suave ondulado, pois são necessárias várias repetições durante a realização do ensaio e é desejável que em todas as repetições a condição da velocidade do veículo seja mantida constante. A paisagem local pode afetar a recepção do sinal dos satélites GPS e, principalmente, o sinal do satélite DGPS, quando o caso ocorrer. Árvores de porte alto ou edificações podem ocasionar a

interrupção do sinal do satélite GPS ou mesmo causar o efeito do multicaminhamento na recepção do sinal pelo receptor GPS. Um outro ponto importante a ser considerado é a presença de linhas de transmissão de energia elétrica nas proximidades do ensaio, principalmente as de alta tensão. Estas linhas possuem um campo magnético ao redor que podem interferir na trajetória dos sinais GPS propagados, podendo causar erro no posicionamento e no cálculo da rota planejada pelo sistema de orientação.

Foi importante selecionar um veículo adequado para a realização do ensaio de campo por esta metodologia proposta. O veículo utilizado possibilitou a seleção adequada de uma marcha da transmissão e de uma rotação do motor de tal forma que garantisse a velocidade constante do veículo durante a realização de cada repetição do ensaio. Um pulverizador autopropelido é um veículo que supre todas as necessidades sobre o veículo a ser utilizado. Este tipo de pulverizador possibilita aumentar o peso do veículo pelo aumento do volume de água do reservatório em que os rastros do veículo poderão possuir uma melhor visibilidade, caso haja a necessidade e dependendo do terreno a ser utilizado como área experimental. A grande maioria destes pulverizadores também possui algum tipo de monitor eletrônico de velocidade, equipamento indispensável durante a realização do ensaio. A constância na velocidade do veículo elimina o fator velocidade que poderia afetar a variável resposta.

É interessante salientar que diversos trabalhos foram publicados utilizando-se de metodologias de mensuração dos desvios das passadas por algum tipo de programa SIG (BUICK & WHITE, 1998; MOLIN, 1998; VETTER, 1995). No entanto, a utilização desta metodologia pressupõe a existência de algum tipo de GPS que calcula a posição do veículo a cada momento. Mas, mesmo que esteja sendo usado um GPS geodésico, e conseqüentemente, mais acurado, ainda sim, a variável resposta mensurada está sujeita as mesmas condições de erro GPS que o sistema de direcionamento via satélite está sendo submetido durante a realização do ensaio em campo. Então, ao mensurar o erro no desvio do alinhamento programado utilizando um SIG, este erro pode ter sido mascarado pelo mesmo erro que o sistema referência (GPS mais acurado, normalmente utilizado para gravar o percurso do veículo) foi acometido. Um outro ponto a salientar é que a faixa de aplicação, ou a largura a ser configurada entre as passadas, deve ter uma distância tal que não seja possível ao operador, de seu posto de operação, utilizar a linha de referência ou a passada anterior como

guia na passada atual. Assim, o operador não tenderá a seguir visualmente uma linha já demarcada em campo, mas sim seguir somente a orientação do sistema de direcionamento via satélite.

Os raios dos semi-círculos das referências em curva não podem ser pequenos, pois poderá comprometer a manobrabilidade do veículo durante a condução do veículo. O raio utilizado nos semi-círculos de 100 m atendeu as necessidades dos ensaios. Também é importante observar que a linha referência para o ensaio em curva poderá ser repetida algumas vezes em campo. Assim, o tamanho da área para a realização do ensaio poderá ser elevado. Deve-se atentar que todas as “cópias” das curvas de referência deverão ser construídas com as mesmas características de relevo e condições ambientais, pois deve-se manter todas as repetições em condições semelhantes em campo.

Conforme a evolução dos sistemas de direcionamento via satélite, os erros poderão diminuir ainda mais, em que a utilização de uma trena para a mensuração dos erros dos desvios do alinhamento programado poderá não suprir a necessidade de acurácia na mensuração dos erros com este equipamento. Assim, sugere-se a utilização de equipamentos topográficos mais acurados, principalmente aqueles com mensuração da distância horizontal eletrônica. Entretanto, a utilização deste tipo de equipamento proporciona um significativo aumento do tempo necessário para as mensurações em campo de aproximadamente 4 vezes mais.

Conforme se pode verificar os rastros dos pneus dos veículos foram visíveis em contraste com o solo, possibilitando a fácil mensuração das distâncias entre as passadas adjacentes, tanto em reta quanto em curva (Figura 17).



Figura 17. Ilustração dos rastros dos pneus dos veículos nos ensaios em reta e em curva.

6.2 Análises dos resultados dos ensaios realizados

6.2.1 Análises dos resultados do Experimento 1 em reta

Na Figura 18 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos erros (%) para cada tratamento (Marcador de Espuma, Barra de Luz – Ag 106 e Barra de Luz – Ag 110) no ensaio em reta. Nesta situação se verifica que 90 % das observações dos erros foram menores que 0,43 m para o tratamento Barra de Luz – GPS Ag 106 e que 90 % das observações dos erros no tratamento GPS Ag 110 foram menores que 0,68 m. Já o tratamento marcador de linha por espuma mostrou que 10 % das observações apresentaram erros no alinhamento entre 2,34 e 3,51 m, ilustrando que este tipo de orientação pode apresentar falhas na aplicação do defensivo pelo pulverizador sobre o campo.

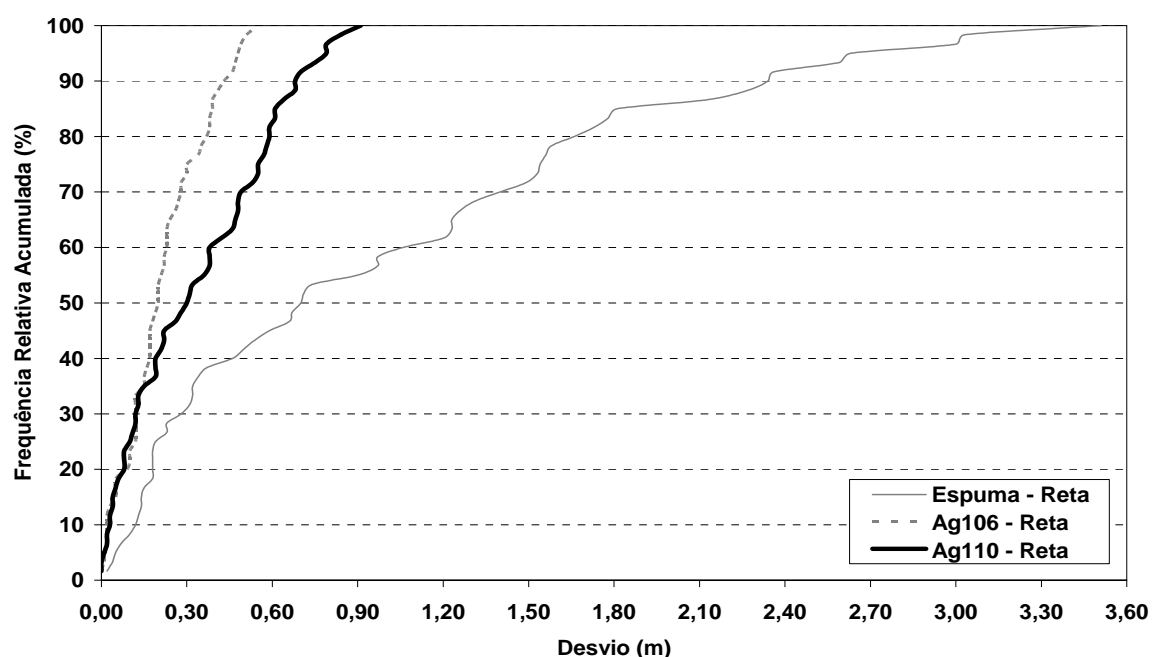


Figura 18. Frequência relativa acumulada dos erros (%) para cada tratamento (Marcador de Espuma, Barra de Luz – Ag 106 e Barra de Luz – Ag 110) no Experimento 1 na operação em reta.

Os erros médios entre todas as observações no ensaio com o Marcador de Espuma, Ag 106 e Ag 110 foram de 1,00, 0,22 e 0,34 m, respectivamente. Foram calculados os intervalos de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações. Os valores do IC encontrados foram de $1,00 \pm 0,23$, $0,22 \pm 0,04$ e $0,34 \pm 0,07$ m para o Marcador de Espuma, Ag 106 e Ag 110, respectivamente. A Figura 19 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que o tratamento orientação por marcador de linha por espuma apresentou um erro médio estatisticamente superior aos outros tratamentos (0,998 m), enquanto que os tratamentos em que houve a orientação com o auxílio da barra de luz os erros foram estatisticamente semelhantes, 0,339 e 0,218 m nos tratamentos Barra de Luz – Ag 110 e Barra de Luz – Ag 106, respectivamente.

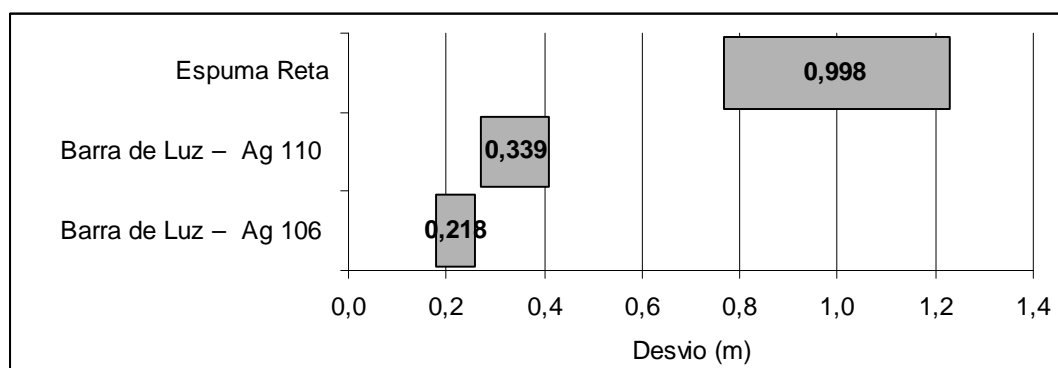


Figura 19. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 1 na operação em reta.

6.2.2 Análises dos resultados do Experimento 1 em curva

Na Figura 20 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos erros (%) para cada tratamento (Marcador de Espuma e Barra de Luz – Ag 110) no ensaio em curva. Observou-se que 80 % das observações dos erros foram menores que 0,80 m para o tratamento Barra de Luz – GPS Ag 110 e que somente 12 % das observações apresentaram erros superiores a 1 m, tendo como o valor máximo 2,32 m. No entanto, o tratamento

marcador de linha por espuma mostrou que somente 50 % das observações apresentaram erros no alinhamento inferiores a 0,80 m, tendo como o valor máximo 3,73 m.

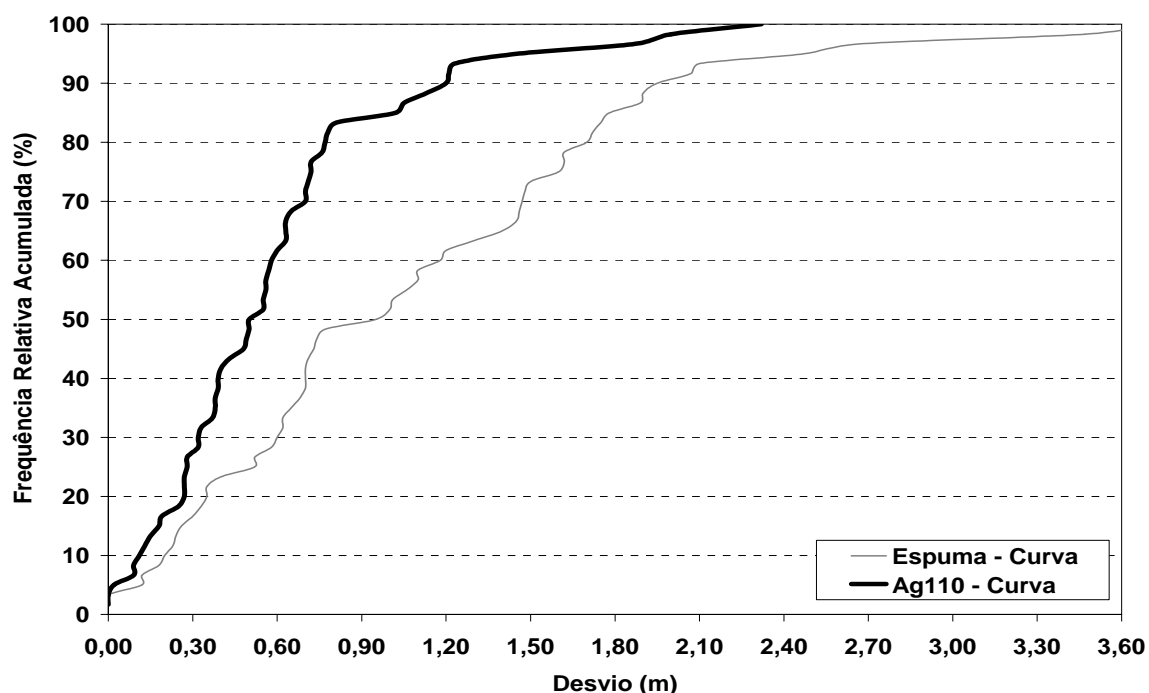


Figura 20. Frequência relativa acumulada dos erros (%) para cada tratamento (Marcador de Espuma e Barra de Luz – Ag 110) no Experimento 1 na operação em curva.

Os erros médios entre todas as observações no ensaio com o Marcador de Espuma e Ag 110 foram de 1,09 e 0,60 m, respectivamente. Foram calculados os intervalos de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações. Os valores do IC encontrados foram de $1,09 \pm 0,20$ e $0,60 \pm 0,12$ m para o Marcador de Espuma e Ag 110, respectivamente. A Figura 21 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que o tratamento de orientação por marcador de linha por espuma também apresentou um erro médio estatisticamente superior (1,094 m) ao sistema de orientação por barra de luz (0,599 m).

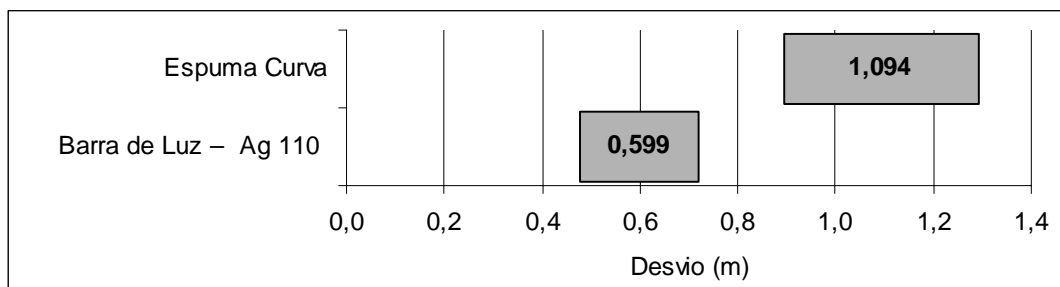


Figura 21. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 1 na operação em curva.

6.2.3 Análises dos resultados do Experimento 2 em reta

Na Figura 22 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com o sistema de auto-direcionamento Autopilot. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,27 m, sendo que o maior desvio foi de 0,34 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,24 m, sendo o maior desvio de 0,32 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com o sistema Autopilot foi de 0,13 m. Observa-se na Figura 22 que os padrões de variação dos desvios obtidos nos tratamentos dos operadores 1 e 2 são muito semelhantes, mostrando a repetibilidade dos dados obtidos no ensaio.

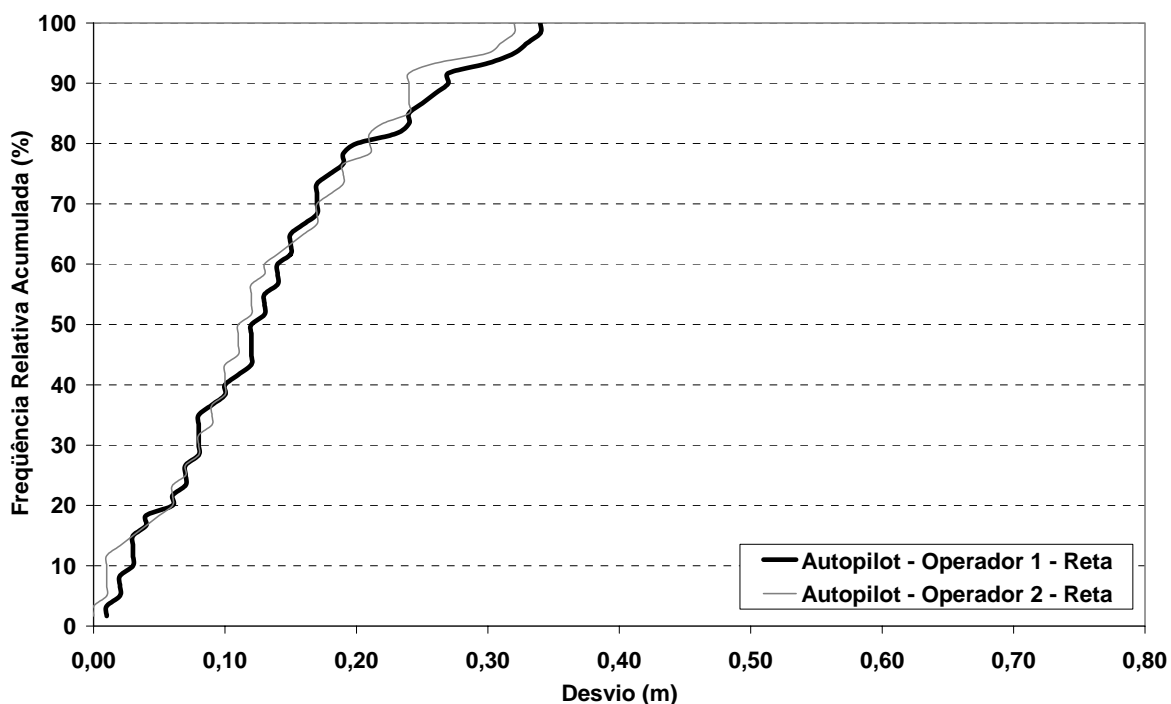


Figura 22. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com o sistema de auto-direcionamento Autopilot no Experimento 2.

Na Figura 23 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Ag 110 Ez-Guide. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,62 m, sendo que o maior desvio foi de 0,74 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,32 m, sendo o maior desvio de 0,49 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Ag 110 Ez-Guide foi de 0,22 m.

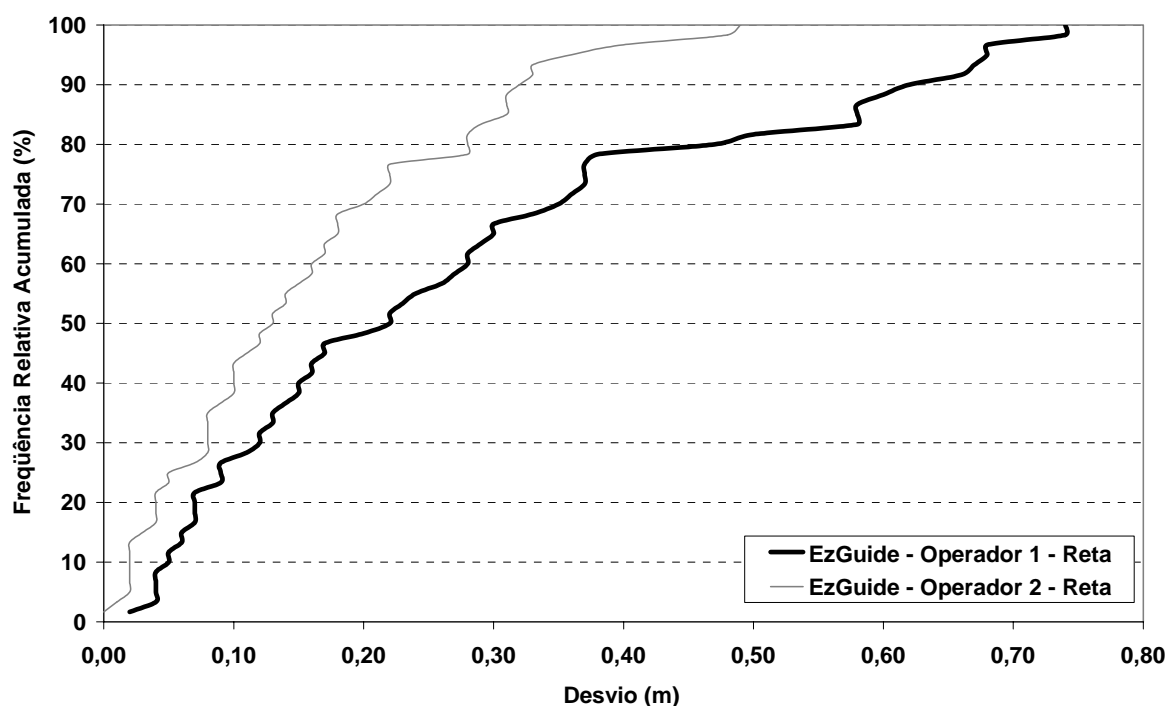


Figura 23. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Ag 110 Ez-Guide no Experimento 2.

Comparando-se as Figuras 22 e 23 pode-se verificar que a amplitude dos dados (menor erro em relação ao maior erro) obtida nas parcelas com o Autopilot foi menor do que aquela obtida nas parcelas com a barra de luz Ag 110 Ez-Guide, ou seja, o maior erro obtido com o sistema Autopilot (0,34 m) foi muito menor do que o maior erro obtido com a barra de luz Ag 110 Ez-Guide (0,74 m).

Foi calculado o intervalo de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações no Experimento 2. Para o Autopilot o valor do IC encontrado foi de $0,13 \pm 0,02$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,11 e 0,15 m com 95 % de probabilidade. Para o Ez-Guide, o intervalo de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações foi de $0,22 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,19 e 0,25 m com 95 % de

probabilidade. A Figura 24 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que houve diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade entre as médias dos erros. Pode-se então dizer que o erro médio obtido com o sistema de direcionamento Autopilot foi menor, assim como a amplitude entre os seus desvios.

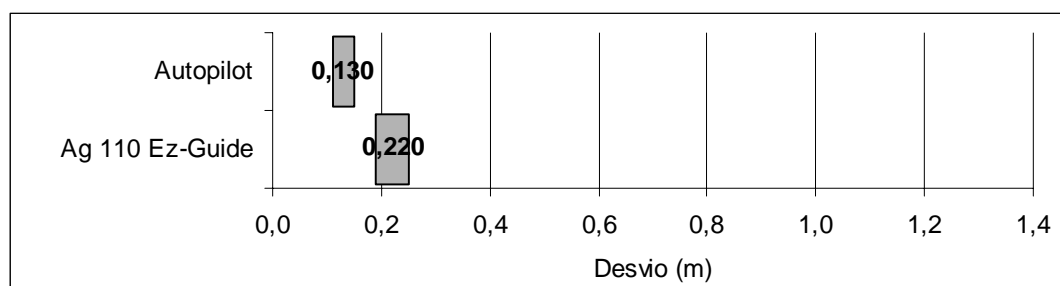


Figura 24. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 2 na operação em reta.

6.2.4 Análises dos resultados do Experimento 3 em reta

Na Figura 25 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz OutBack S em reta. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,30 m, sendo que o maior desvio foi de 0,46 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,27 m, sendo o maior desvio de 0,34 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz OutBack S foi de 0,16 m.

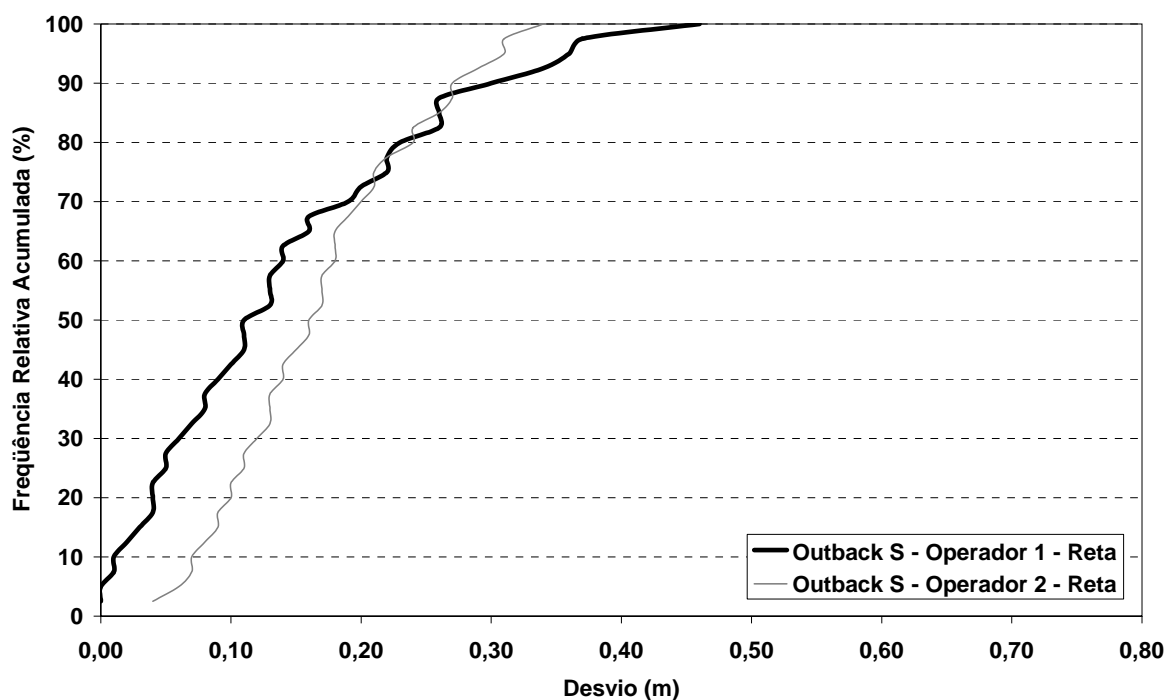


Figura 25. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz OutBack S no Experimento 3.

Na Figura 26 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz LiteStar em reta. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,24 m, sendo que o maior desvio foi de 0,53 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,25 m, sendo o maior desvio de 0,41 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz LiteStar foi de 0,13 m.

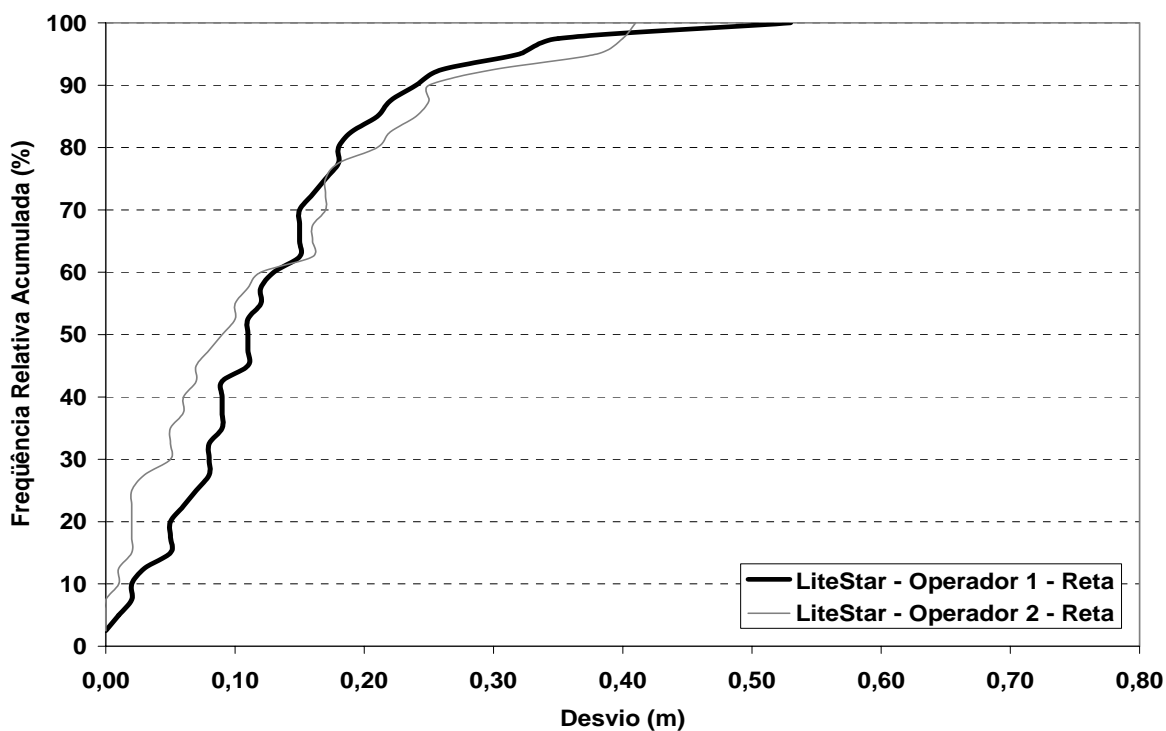


Figura 26. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz LiteStar no Experimento 3.

Na Figura 27 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Marker LTi em reta. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,29 m, sendo que o maior desvio foi de 0,47 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,35 m, sendo o maior desvio de 0,55 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Marker LTi foi de 0,16 m.

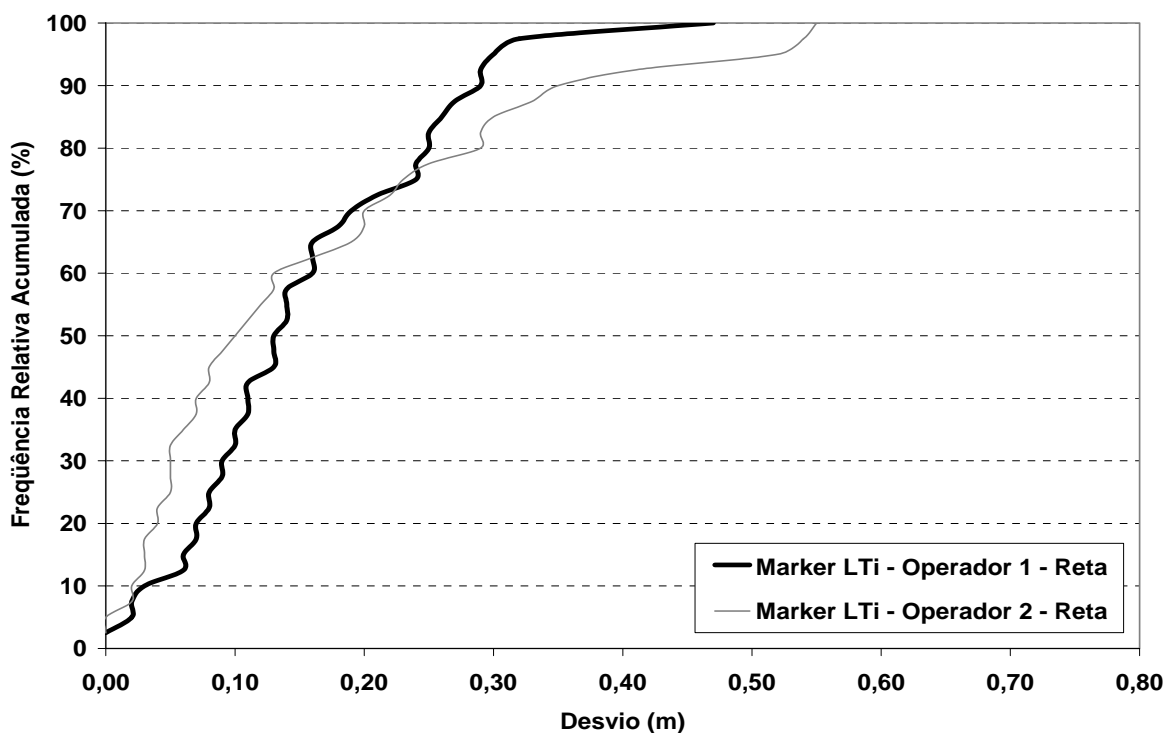


Figura 27. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Marker LTi no Experimento 3.

Na Figura 28 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Ag 110 em reta. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,41 m, sendo que o maior desvio foi de 0,63 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,21 m, sendo o maior desvio de 0,31 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Ag 110 foi de 0,15 m.

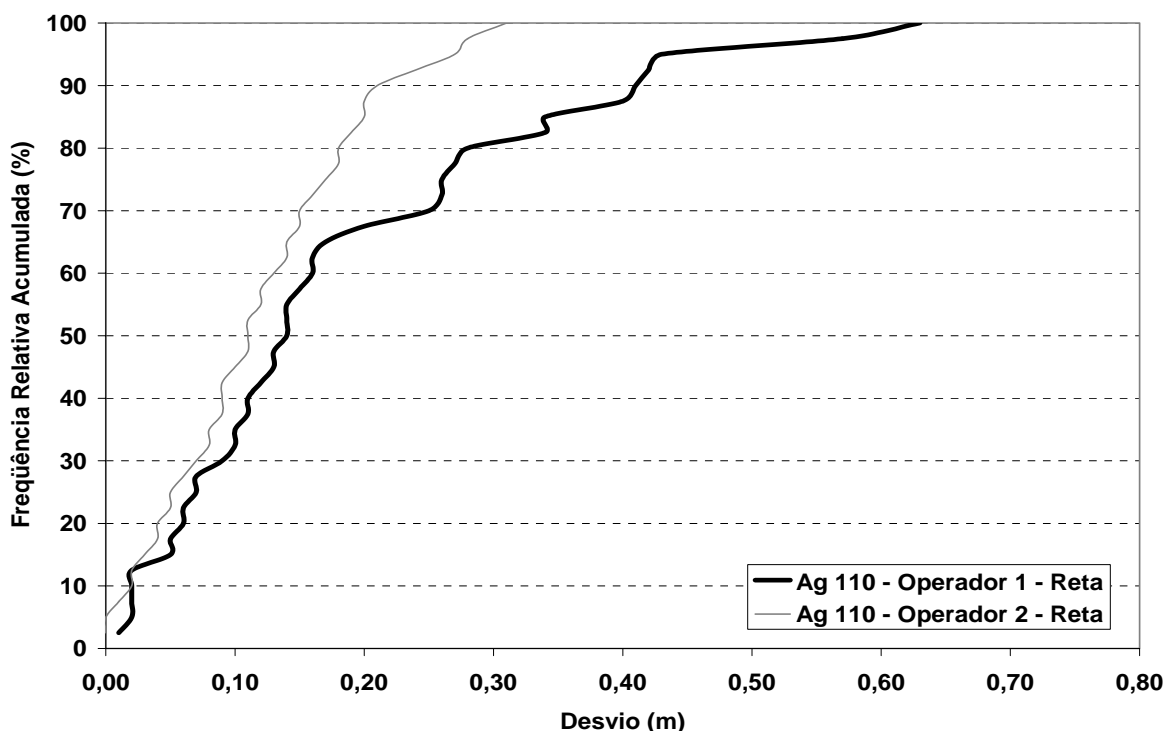


Figura 28. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Ag 110 no Experimento 3.

Foi calculado o intervalo de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações. O valor do IC encontrado para o OutBack S foi de $0,16 \pm 0,02$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,14 e 0,18 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o LiteStar foi de $0,13 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,10 e 0,16 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o Marker LTi foi de $0,16 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,13 e 0,19 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o Ag 110 Ez-Guide foi de $0,15 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,12 e

0,18 m com 95 % de probabilidade. A Figura 29 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que não houve diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade entre as médias dos erros, ou seja, os erros médios foram estatisticamente iguais para todas as barras de luzes operando em reta.

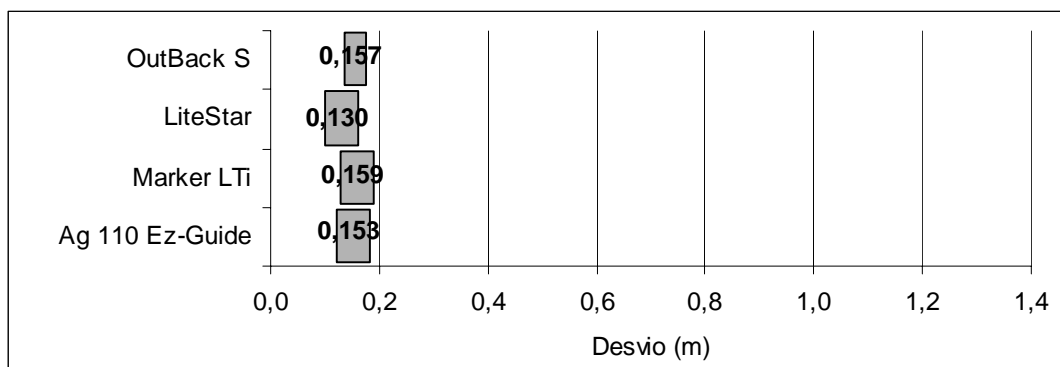


Figura 29. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 3 na operação em reta.

6.2.5 Análises dos resultados do Experimento 3 em curva

Na Figura 30 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz OutBack S em curva. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,56 m, sendo que o maior desvio foi de 1,08 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,63 m, sendo o maior desvio de 0,92 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz OutBack S foi de 0,29 m.

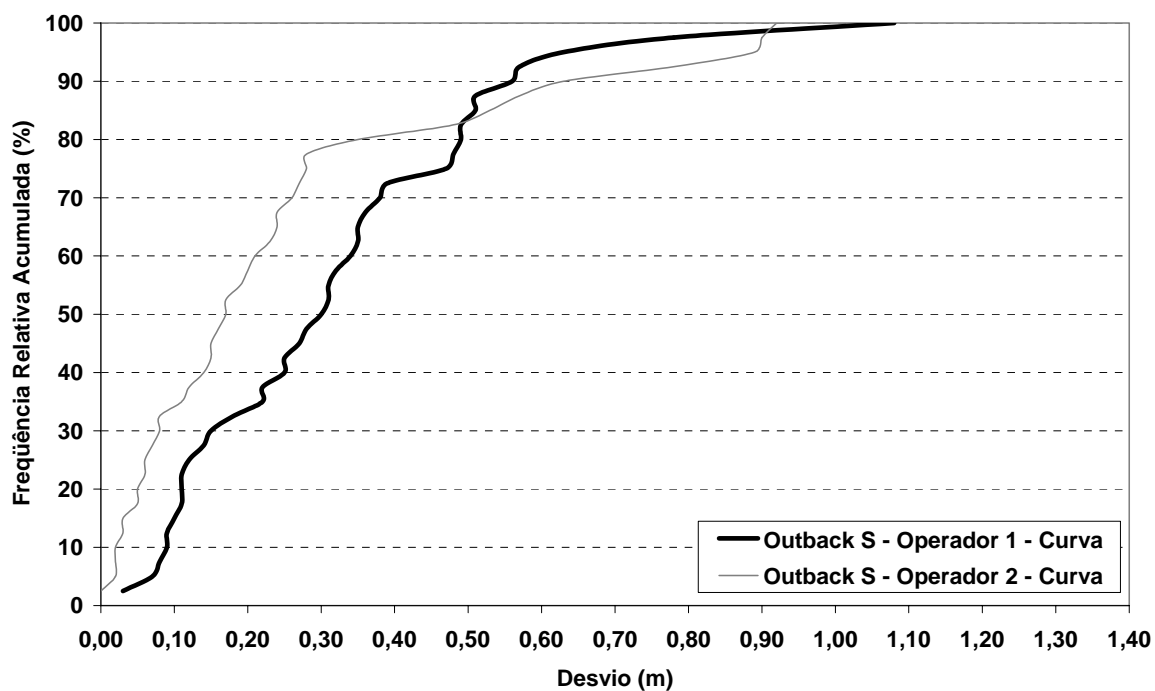


Figura 30. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz OutBack S no Experimento 3.

Na Figura 31 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz LiteStar em curva. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,71 m, sendo que o maior desvio foi de 1,11 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,65 m, sendo o maior desvio de 1,41 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz LiteStar foi de 0,31 m.

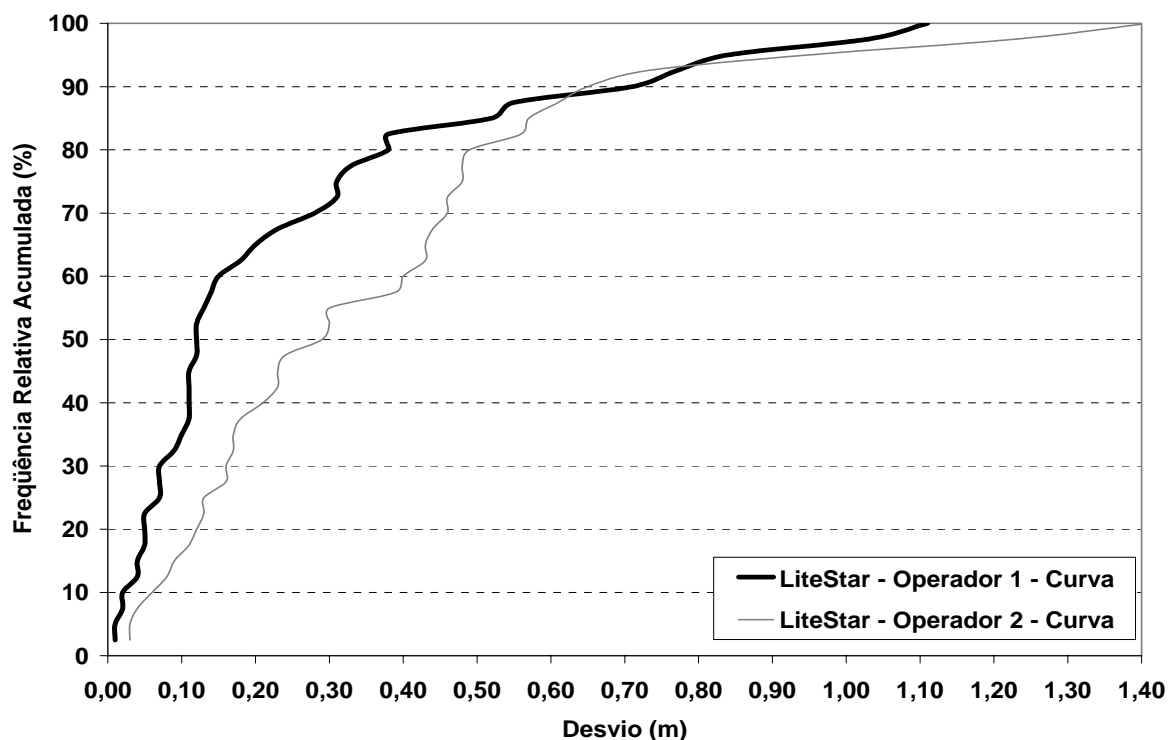


Figura 31. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz LiteStar no Experimento 3.

Na Figura 32 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Marker LTi em curva. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,98 m, sendo que o maior desvio foi de 1,98 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 1,02 m, sendo o maior desvio de 2,00 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Marker LTi foi de 0,54 m.

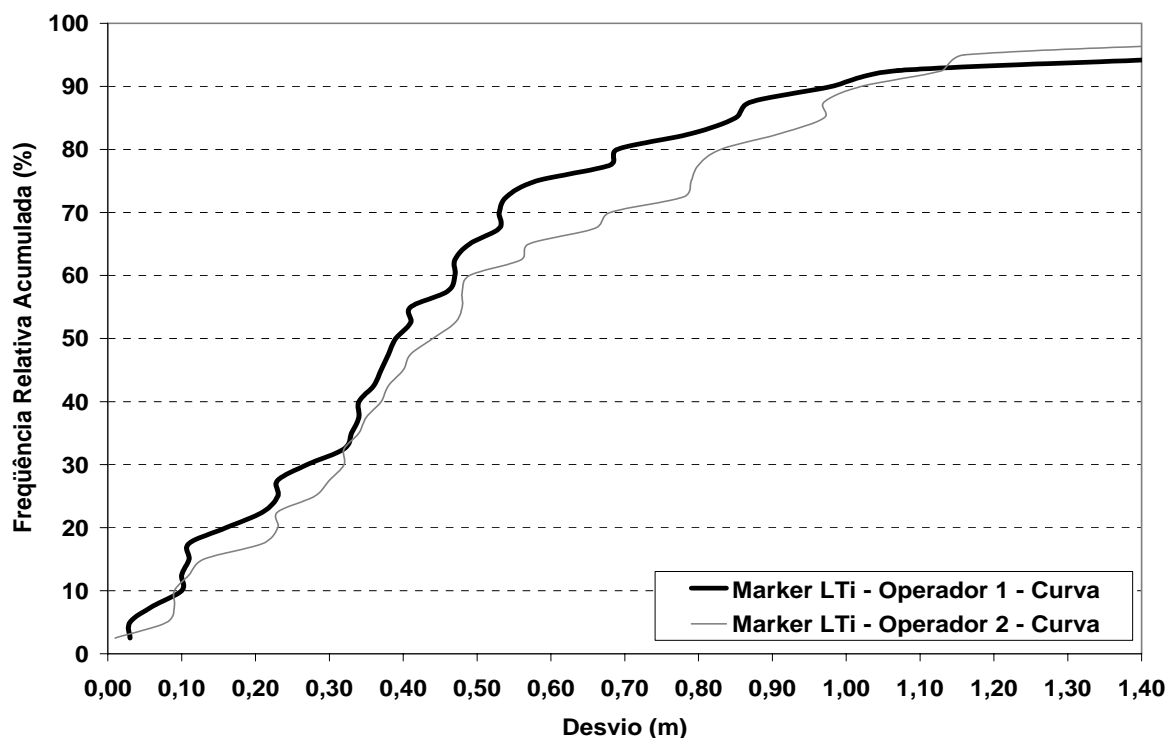


Figura 32. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz Marker LTi no Experimento 3.

Na Figura 33 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Ag 110 em curva. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,59 m, sendo que o maior desvio foi de 1,02 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,95 m, sendo o maior desvio de 1,75 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Ag 110 foi de 0,38 m.

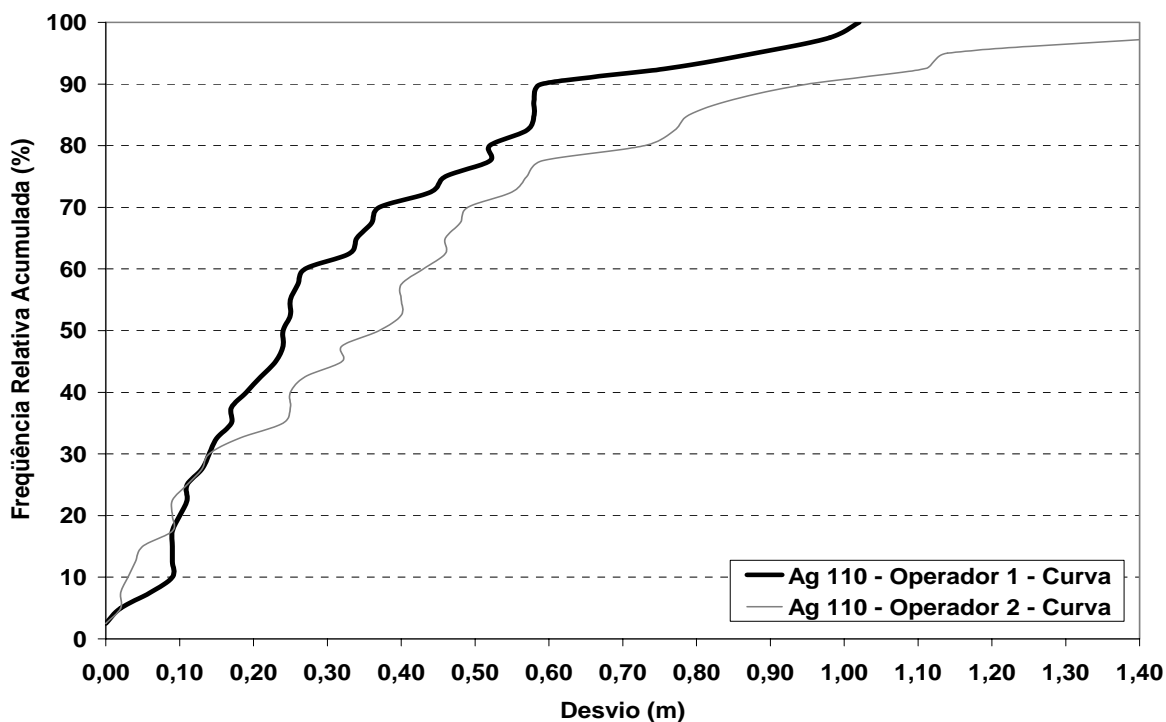


Figura 33. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz Ag 110 no Experimento 3.

Foi calculado o intervalo de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações. O valor do IC encontrado para o OutBack S foi de $0,29 \pm 0,06$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,35 e 0,23 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o LiteStar foi de $0,31 \pm 0,08$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,23 e 0,39 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o Marker LTi foi de $0,54 \pm 0,11$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,43 e 0,65 com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o Ag 110 Ez-Guide foi de $0,38 \pm 0,09$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,29 e

0,47 m com 95 % de probabilidade. A Figura 34 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que não houve diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade entre as médias dos erros das barras de luzes OutBack S, LiteStar e Ag 110. Entretanto, a barra de luz Marker LTI apresentou um erro médio estatisticamente superior às outras barras de luzes, exceto a Ag 110, quando operando em curva.

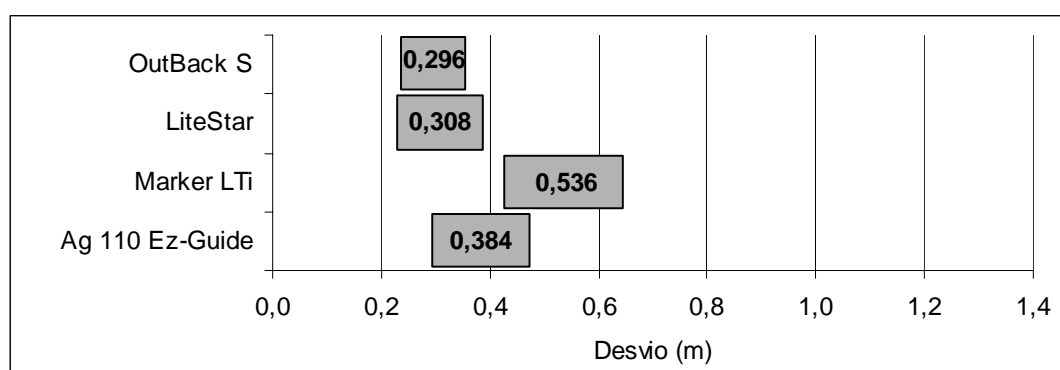


Figura 34. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 3 na operação em curva.

6.2.6 Análises dos resultados do Experimento 4 em reta

Na Figura 35 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Ez-Guide Plus em reta. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,47 m, sendo que o maior desvio foi de 0,63 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,38 m, sendo o maior desvio de 0,47 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Trimble Ez-Guide Plus em reta foi de 0,20 m.

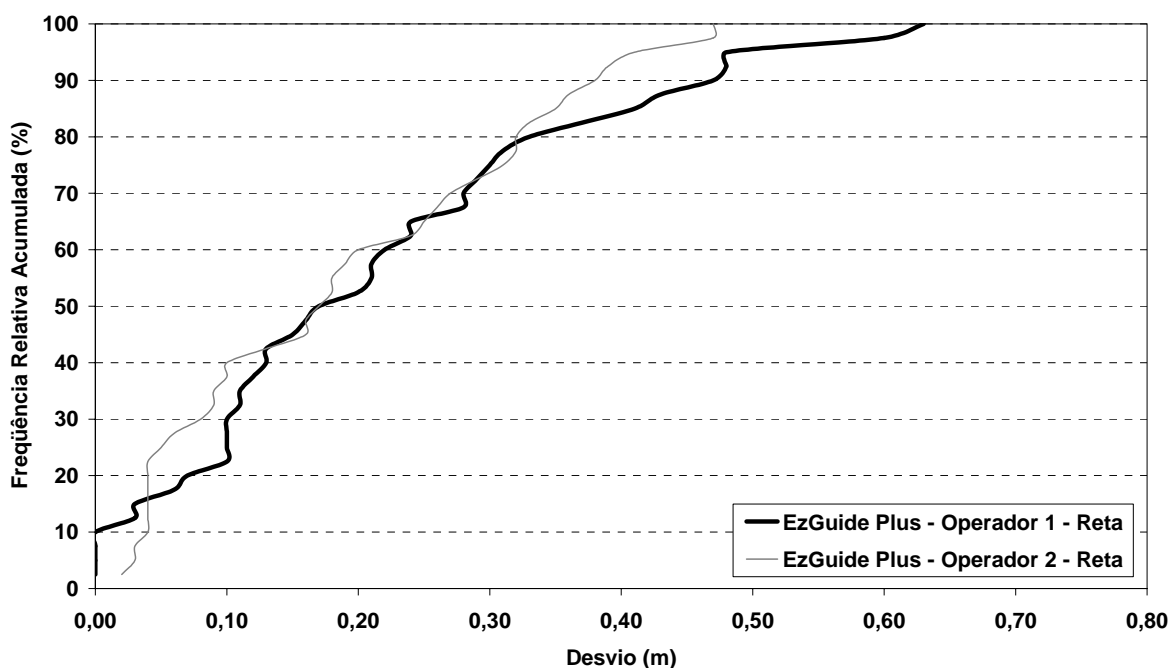


Figura 35. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com a barra de luz Trimble Ez-Guide Plus no Experimento 4.

Na Figura 36 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio em reta com o sistema de orientação por cabo de aço. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,38 m, sendo que o maior desvio foi de 0,65 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,25 m, sendo o maior desvio de 0,47 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com o sistema de orientação por cabo de aço foi de 0,19 m.

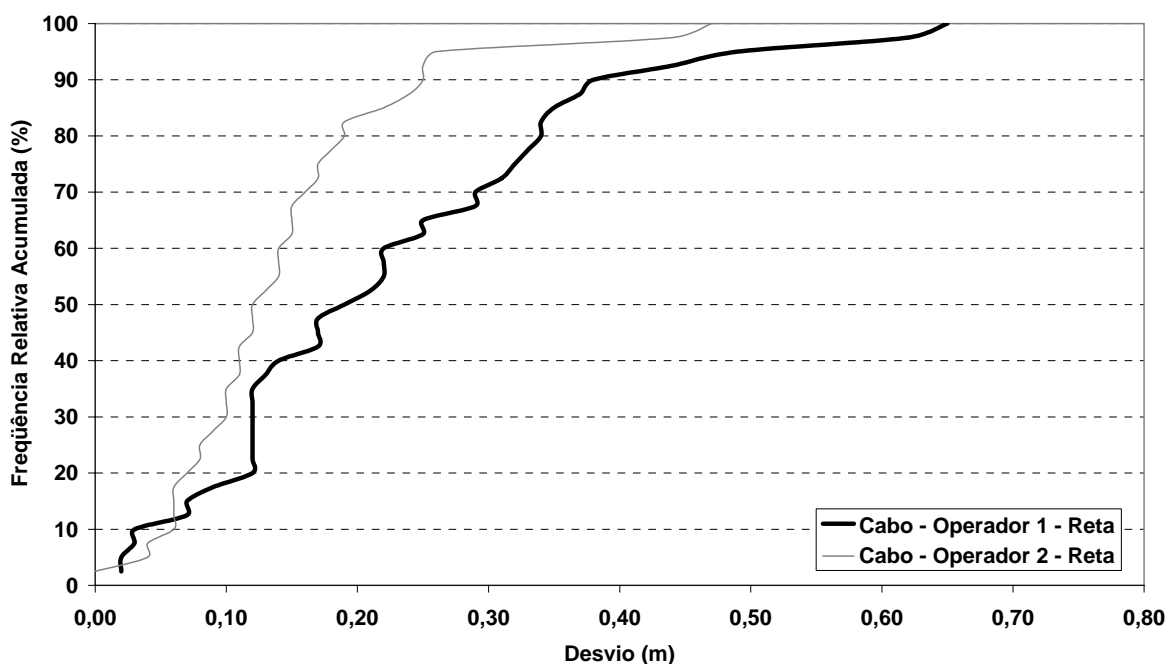


Figura 36. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em reta com o sistema de orientação por cabo de aço no Experimento 4.

Foi calculado o intervalo de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações. O valor do IC encontrado para o Ez-Guide Plus foi de $0,20 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,17 e 0,23 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o cabo de aço foi de $0,19 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável também estará entre 0,17 e 0,23 m com 95 % de probabilidade. A Figura 37 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que não houve diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade entre as médias dos erros, ou seja, os erros médios foram estatisticamente iguais para os sistemas de orientação (barra de luz e cabo de aço) operando em reta.

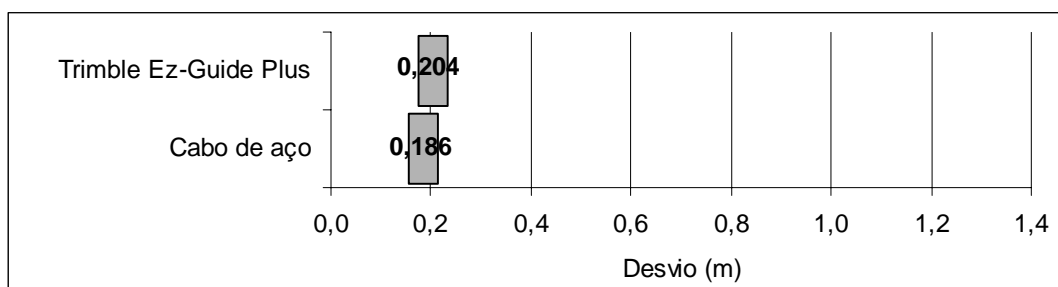


Figura 37. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 4 na operação em reta.

A Tabela 1 apresenta uma comparação estatística para as médias dos erros obtidos no ensaio em reta em função do operador. Pode-se observar que as médias dos erros obtidas pelos dois operadores são estatisticamente diferentes entre si ao nível de 5 % de significância, ou seja, o Operador 1 apresentou um erro médio superior ao erro médio apresentado pelo Operador 2 (sem experiência com barra de luz e orientação por cabo) ao nível de 95 % de probabilidade quando operando em reta.

Tabela 1. Teste estatístico para as médias dos erros obtidos no ensaio em reta em função do operador do trator.

Tratamentos	Nº Repetições	Média (m) ¹
Operador 1	80	0,22 A
Operador 2	80	0,17 B

¹ Médias seguidas de mesma letra são iguais estatisticamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo Teste de Tukey (DMS = 0,0411).

6.2.7 Análises dos resultados do Experimento 4 em curva

Na Figura 38 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio com a barra de luz Ez-Guide Plus em curva. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 1,04 m, sendo que o maior desvio foi de 1,53 m. Já para o Operador 2, 90 % das

observações dos desvios foram menores que 0,74 m, sendo o maior desvio de 0,97 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com a barra de luz Trimble Ez-Guide Plus em curva foi de 0,44 m.

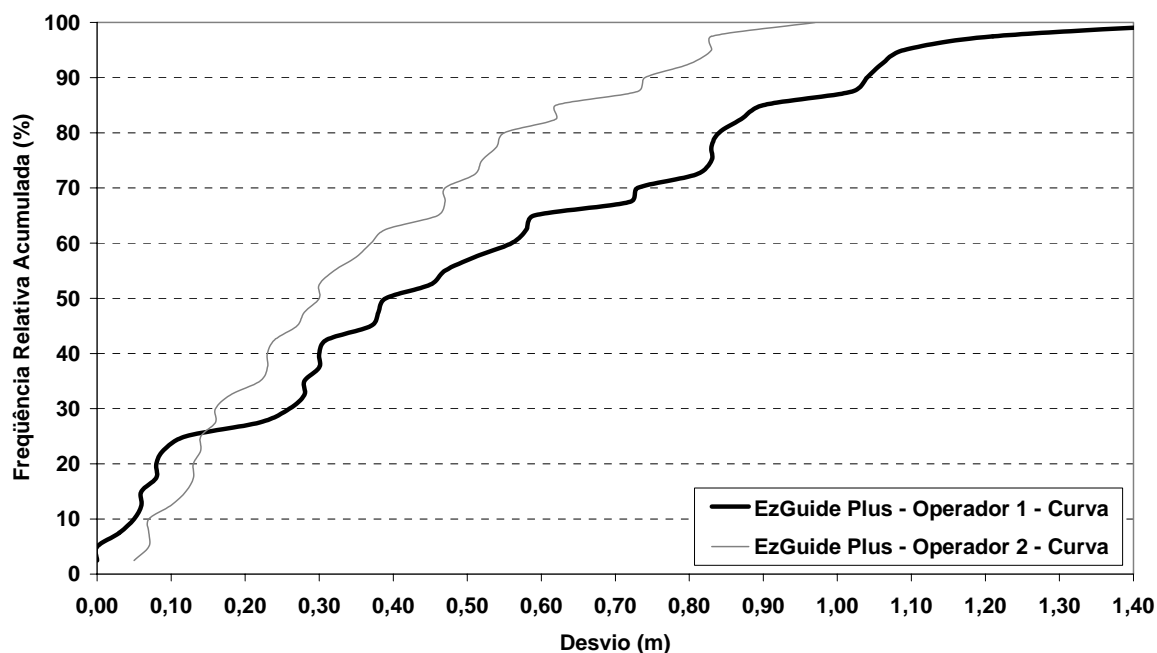


Figura 38. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com a barra de luz Trimble Ez-Guide Plus no Experimento 4.

Na Figura 39 pode ser observada a frequência relativa acumulada dos desvios (%) para cada operador no ensaio em reta com o sistema de orientação por cabo de aço. Nesta situação verifica-se que 90 % das observações dos desvios obtidos pelo Operador 1 foram menores que 0,47 m, sendo que o maior desvio foi de 0,67 m. Já para o Operador 2, 90 % das observações dos desvios foram menores que 0,35 m, sendo o maior desvio de 0,62 m. O erro médio entre todas as observações no ensaio com o sistema de orientação por cabo de aço foi de 0,23 m.

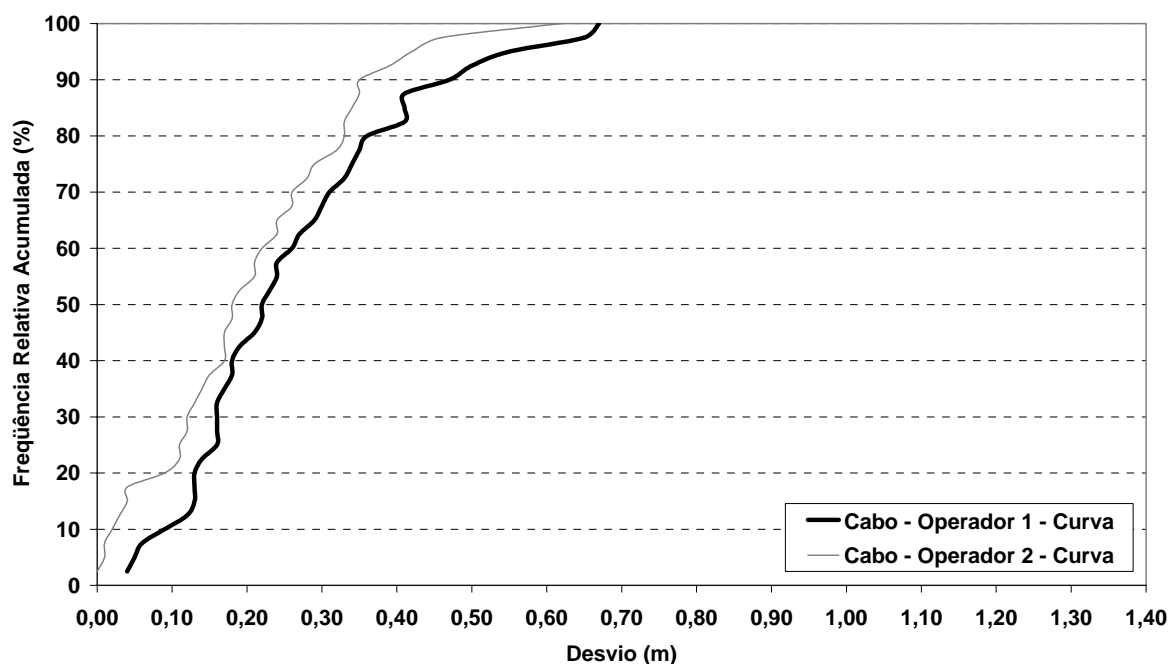


Figura 39. Frequência relativa acumulada dos desvios (%) no ensaio em curva com o sistema de orientação por cabo de aço no Experimento 4.

Foi calculado o intervalo de confiança (IC) ao nível de 95 % de significância para todas as observações. O valor do IC encontrado para o Ez-Guide Plus foi de $0,44 \pm 0,07$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável estará entre 0,37 e 0,51 m com 95 % de probabilidade. O valor do IC encontrado para o cabo de aço foi de $0,23 \pm 0,03$ m, ou seja, ao nível de significância indicado e quando todas as condições operacionais e ambientais forem as mesmas das do ensaio o erro provável também estará entre 0,20 e 0,26 m com 95 % de probabilidade. A Figura 40 ilustra um gráfico comparativo dos intervalos de confiança para os diferentes tratamentos. Pode-se observar que houve diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade entre as médias dos erros dos sistemas de orientação, ou seja, o sistema de orientação por cabo de aço apresentou um erro médio estatisticamente inferior ao apresentado pela barra de luz.

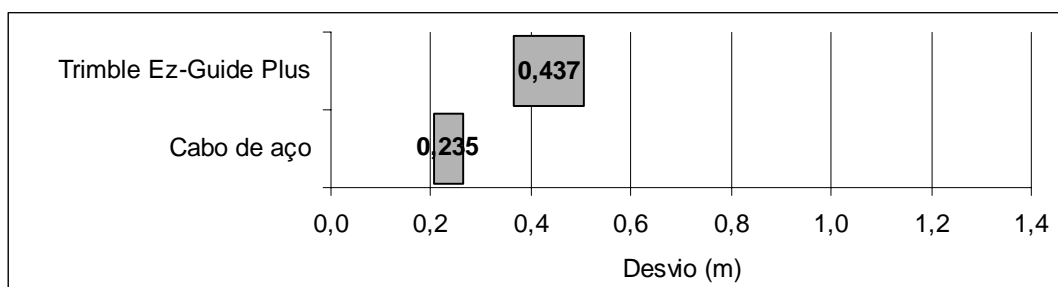


Figura 40. Gráfico comparativo dos intervalos de confiança e desvio médio (m) obtidas para cada tratamento do Experimento 4 na operação em curva.

A Tabela 2 apresenta o Teste de Tukey para as médias dos erros obtidos no ensaio em curva em função do operador. Como no ensaio em reta, pode-se observar neste ensaio em curva também que as médias dos erros obtidas pelos dois operadores são estatisticamente diferentes entre si ao nível de 5 % de significância, ou seja, o Operador 1 apresentou um erro médio superior ao erro médio apresentado pelo Operador 2 (sem experiência com barra de luz e orientação por cabo) ao nível de 95 % de probabilidade quando operando em curva.

Tabela 2. Teste estatístico para as médias dos erros obtidos no ensaio em curva em função do operador do trator.

Tratamentos	Nº Repetições	Média (m) ¹
Operador 1	80	0,38 A
Operador 2	80	0,29 B

¹ Médias seguidas de mesma letra são iguais estatisticamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo Teste de Tukey (DMS = 0,0754).

6.3 Análise dos resultados agrupados dos experimentos

A Tabela 3 sumariza todos os resultados dos desvios médios obtidos de todos os sistemas de direcionamento avaliados em todos os ensaios em reta. Embora estes resultados não podem ser comparados estatisticamente, pois os ensaios foram realizados em

períodos distintos e por operadores diferentes, esta tabela pode ilustrar quais os níveis de grandeza dos desvios ou erros médios destes sistemas de direcionamento. Vale lembrar também que os ensaios foram realizados dentro do período compreendido entre abril de 2003 e abril de 2004 e devido à evolução dos sistemas de direcionamento via satélite (*hardware e Firmware*) os resultados dos últimos ensaios realizados tendem a possuir um erro menor. Observa-se que o desvio médio maior foi obtido com o marcador de espuma (1,0 m), assim como o desvio menor foram alcançados pelos sistemas de direcionamento via satélite por auto-direcionamento Autopilot (0,13 m) e por barra de luz LiteStar (0,13 m).

Tabela 3. Comparativo dos resultados dos desvios médios obtidos de todos os sistemas de direcionamento avaliados em todos os ensaios em reta.

Sistema de Direcionamento	Desvio Médio (m)
<i>Experimento 1</i>	
Marcador de Espuma	1,00
Trimble Ag 110 - Ez-Guide	0,34
Trimble Ag 106 – Ez-Guide	0,22
<i>Experimento 2</i>	
Trimble Autopilot	0,13
Trimble Ez-Guide	0,22
<i>Experimento 3</i>	
OutBack S	0,16
SatLoc LiteStar	0,13
Cultiva Marker Lti	0,16
Trimble Ez-Guide	0,15
<i>Experimento 4</i>	
Trimble Ez-Guide Plus	0,20
Cabo de aço	0,18

A Tabela 4 sumariza todos os resultados dos desvios médios obtidos de todos os sistemas de direcionamento avaliados em todos os ensaios em curva. Aqui valem também todos os comentários realizados para os resultados da Tabela 3, quanto a não possibilidade da comparação estatística entre as médias dos tratamentos, assim como também vale a observação sobre a evolução no desenvolvimento dos sistemas de direcionamento via satélite. Pode se observar que o desvio médio maior na operação em curva foi obtido com o marcador de espuma (1,09 m), assim como o desvio menor foi alcançado pelo sistema de direcionamento por cabo de aço.

Tabela 4. Comparativo dos resultados dos desvios médios obtidos de todos os sistemas de direcionamento avaliados em todos os experimentos em curva.

Sistema de Direcionamento	Desvio Médio (m)
<i>Experimento 1</i>	
Marcador de Espuma	1,09
Trimble Ag 110 - Ez-Guide	0,60
<i>Experimento 3</i>	
OutBack S	0,29
SatLoc LiteStar	0,31
Cultiva Marker Lti	0,54
Trimble Ez-Guide	0,38
<i>Experimento 4</i>	
Trimble Ez-Guide Plus	0,44
Cabo de aço	0,23

Fazendo uma comparação entre todos os resultados obtidos em todos os experimentos (Tabelas 3 e 4), pode-se chegar na observação de que todos os desvios médios obtidos nos ensaios em reta foram menores do que os desvios médios nos ensaios em curva.

6.4 Breve análise de investimento para aquisição de um sistema de direcionamento via satélite

É notório de que em função do nível tecnológico envolvido, os sistemas de orientação via satélite tendem a ter custos iniciais mais elevados do que os sistemas convencionais de direcionamento. Contudo, em função da redução dos custos alcançados com estes sistemas mais sofisticados estes dispositivos podem ser economicamente viáveis em um ou, no máximo, dois anos agrícolas, além da redução do impacto ambiental devido ao uso de defensivos agrícolas sobrepostos em uma determinada área do terreno.

Nesta breve análise foi contabilizada somente a redução da utilização de insumos pela pulverização, não sendo contabilizadas outras reduções de custos pela utilização desta tecnologia, como a redução da contaminação ambiental, a não utilização da solução espumante, a redução na utilização de hora-máquina, a redução do uso de

combustível, o custo de oportunidade, a redução da necessidade de mão-de-obra, como ilustram Griffin et al. (2005).

A Tabela 5 sumariza a redução dos gastos com sobreposição na pulverização em reta pela substituição de um marcador de espuma por um sistema de direcionamento via satélite contabilizando todos os defensivos agrícolas que são aplicados no cultivo hipotético de uma cultura de soja e de milho em uma região do Brasil Central. A sobreposição adotada pelo sistema de direcionamento via satélite foi a média dos desvios dos sistemas operando em reta. Para a sobreposição pela operação com o marcador de espuma foi considerado o desvio médio obtido no experimento com este dispositivo.

Tabela 5. Redução dos gastos com sobreposição na pulverização pela substituição de um marcador de espuma por um sistema de direcionamento via satélite.

Sobreposição com o Marcador de Espuma (m)		1						
Sobreposição com o Sistema de Direcionamento Via Satélite (cm)		15						
Barra pulverizador (m)		21						
Soja	defensivo - unid.	dosagem (unid./ha)	R\$/unid.	R\$/ha	R\$ gasto sobrepos./ha	Em 500 ha	Em 1000 ha	Em 1500 ha
Dessecação	Roudup WG - kg	1,5	R\$ 30,24	R\$ 45,36	R\$ 1,84	R\$ 918,00	R\$ 1.836,00	R\$ 2.754,00
Pré-emergente	Spider - grama	42,0	R\$ 1,57	R\$ 65,86	R\$ 2,67	R\$ 1.332,80	R\$ 2.665,60	R\$ 3.998,40
Lagarta 1x	Lorsbam - L	0,8	R\$ 26,88	R\$ 21,50	R\$ 0,87	R\$ 435,20	R\$ 870,40	R\$ 1.305,60
Lagarta 2x	Lorsbam - L	0,8	R\$ 26,88	R\$ 21,50	R\$ 0,87	R\$ 435,20	R\$ 870,40	R\$ 1.305,60
Percevejo 1x	Tamarom - L	1,0	R\$ 31,36	R\$ 31,36	R\$ 1,27	R\$ 634,67	R\$ 1.269,33	R\$ 1.904,00
Percevejo 2x	Tamarom - L	1,0	R\$ 31,36	R\$ 31,36	R\$ 1,27	R\$ 634,67	R\$ 1.269,33	R\$ 1.904,00
Ferrugem 1x	Opera - L	1,0	R\$ 156,80	R\$ 156,80	R\$ 6,35	R\$ 3.173,33	R\$ 6.346,67	R\$ 9.520,00
Ferrugem 2x	Priori Extra - L	0,7	R\$ 246,40	R\$ 172,48	R\$ 6,90	R\$ 3.490,67	R\$ 6.901,33	R\$ 10.472,00
Ferrugem 3x	Opera - L	1,0	R\$ 156,80	R\$ 156,80	R\$ 6,35	R\$ 3.173,33	R\$ 6.346,67	R\$ 9.520,00
Desfolhante	Bransxone	0,8	R\$ 35,84	R\$ 28,67	R\$ 1,16	R\$ 580,27	R\$ 1.160,53	R\$ 1.740,80
R\$ total gasto com sobreposição na soja (A)					R\$ 29,62	R\$ 14.808,13	R\$ 29.616,27	R\$ 44.424,40
Milho (safrinha)	defensivo - unid.	dosagem (unid./ha)	R\$/unid.	R\$/ha	R\$ gasto sobrepos./ha	Em 500 ha	Em 1000 ha	Em 1500 ha
Dessecação	Samson - L	0,5	R\$ 150,08	R\$ 75,04	R\$ 3,04	R\$ 1.518,67	R\$ 3.037,33	R\$ 4.556,00
Pré-emergente	Primestra - L	4,0	R\$ 29,12	R\$ 116,48	R\$ 4,71	R\$ 2.357,33	R\$ 4.714,67	R\$ 7.072,00
R\$ total gasto com sobreposição no milho (B)					R\$ 7,75	R\$ 3.876,00	R\$ 7.752,00	R\$ 11.628,00
R\$ total gasto com sobreposição por ano (A + B)					R\$ 37,37	R\$ 18.684,13	R\$ 37.368,27	R\$ 56.052,40

OBS: As dosagens e os preços dos defensivos são médias obtidas por uma consulta realizada em revendas destes defensivos nas cidades de Cascavel/PR, Rondonópolis/MT e Luis Eduardo Magalhães/BA.

Foram considerados três tamanhos de propriedade, com 500, com 1000 e com 1500 ha, possibilitando a análise de investimento em um sistema de orientação via satélite. Estas são as áreas médias pulverizadas por três tipos de pulverizadores: um

pulverizador de arrasto de grande capacidade operacional, um pulverizador autopropelido de pequena capacidade operacional e um autopropelido de grande capacidade operacional.

Um sistema de orientação via satélite por barra de luz ou monitor eletrônico custa em média no Brasil US\$ 8000. Desta forma, observa-se que o investimento em um sistema de orientação via satélite é economicamente viável já no primeiro ano agrícola, somente contabilizando a redução de insumo aplicado, desconsiderando todas as outras reduções de custos envolvidos.

Ainda devem-se considerar as vantagens em se ter um sistema de direcionamento via satélite, não somente para a pulverização em campo, mas também para alinhamentos em aplicações de outros insumos, como adubo a lanço, ou mesmo para o plantio a lanço de sementes miúdas, além da possibilidade de se utilizar o equipamento GPS para monitoramentos em campo.

7 CONCLUSÕES

A metodologia de campo apresentada neste trabalho para ensaios de sistemas de direcionamento pôde ser aplicada com sucesso, possibilitando a realização de ensaios em diferentes condições e de diversos sistemas de direcionamento, mesmo até de sistemas convencionais, como o marcador de espuma ou cabo-de-aço.

A vantagem deste método é a possibilidade da reflexão de todos os fatores envolvidos nos erros por um sistema de direcionamento e a possibilidade da mensuração em diretamente campo. A desvantagem do método é a dificuldade de se avaliar qual a causa exata do erro obtido em campo (GPS, correção DGPS, algoritmo de direcionamento do sistema ou o operador).

Todos os sistemas de direcionamento ensaiados permitiram a orientação do operador em faixas adjacentes sucessivas. No entanto, os erros médios apresentados pelos sistemas de orientação por satélites foram menores estatisticamente, sendo que o sistema de auto-direcionamento por satélite apresentou o menor erro quando comparado a todos os outros sistemas.

As orientações das faixas de aplicação utilizando-se de sistemas de orientação via satélite foram melhores que as orientações pelo marcador de linha por espuma, apresentado médias dos erros estatisticamente inferiores, tanto nas operações em reta quanto em curva.

O sistema de direcionamento por cabo de aço apresentou erros semelhantes estatisticamente ao sistema de direcionamento por satélite, quando operando em

reta. Já na operação em curva o erro médio apresentado pelo sistema por cabo de aço foi estatisticamente inferior.

A acurácia obtida com o sistema de direcionamento via satélite por barra de luz ou o monitor eletrônico depende da habilidade do operador. Esta observação não pôde ser realizada para o sistema de auto-direcionamento, já que o sistema não depende da habilidade do operador para o seu funcionamento.

Os erros obtidos com os sistemas de direcionamento foram maiores para as orientações em curva.

Também concluiu-se que praticando os preços médios de insumos no Brasil, assim como os preços dos sistemas de direcionamento via satélite, o investimento realizado nestes equipamentos pode retornar após um ano agrícola, somente contabilizando a redução nos defensivos aplicados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNIASSI, U. R.; BAIIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Leandro Vargas; Erivelton Scherer Roman.. (Org.). *Manual de manejo e controle de plantas daninhas*. 1 ed. Bento Gonçalves/RS, 2004, v. 1, p. 145-184.

BAIO, F.H.R. *Aplicação localizada de defensivos baseada na variabilidade espacial das plantas daninhas*. Piracicaba, 2001. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U.L. Direção certa: barra de luz. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, n.22, p.14-16, 2003.

BAIO, F.H.R.; BALASTREIRE, L.A.; TORRES, F.; RIBEIRO FILHO, A.C. Avaliação da acurácia de uma barra de luz utilizada na agricultura de precisão em relação ao marcador de espuma. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.2, p.357-360, 2001.

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

BALASTREIRE, L.A.; BAILO, F.H.R. Avaliação do desempenho de um GPS com algoritmo otimizado sem sinal de correção para a agricultura de precisão. In: BALASTREIRE, L.A. *Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1998-2001*. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2002. p.285-288.

BALASTREIRE, L.A.; BAILO, 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. ESALQ/USP. Piracicaba, SP. p. 173-181. 2000.

BLITZKOW, D. NAVSTAR/GPS: Um Desafio Tornado Realidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 3., São Paulo, 1995. *Anais...* São Paulo: USP, 1995. p.429-462.

BUICK, R.; WHITE, E. Comparing GPS guidance with foam marker guidance. In: International Conference on Precision Agriculture, 4. *Proceedings...* Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1998. p.1035-1045,

CULTIVA Cultiva. URL: <http://www.cultiva.com>. (03 mar 2005).

DOEBELIN, E.O. *Measurement Systems: Applications and Design*. McGraw-Hill, 1966. 743p.

EHSANI, M. R.; SULLIVAN, M.; WALKER, J. T. EHSANI *A Method of Evaluating Different Guidance Systems*. St. Joseph: ASAE, 2002. 10p. (ASAE Paper, 21115).

ELIAS, A.R. *Técnicas de geoprocessamento utilizadas para a avaliação de dados coletados em campo por diferentes métodos na agricultura de precisão*. 2003. 150p. Tese de Doutorado. Botucatu.

ELIAS, A. I. *Mapeamento da colheita mecanizada de grãos utilizando um sistema de posicionamento global*. 1998. 75p. Dissertação de Mestrado. Piracicaba.

GILBERT, C. Erros em GPS. O que você pode e o que você não pode corrigir. *Fator Gis*, v. 19, p. 62-63, Maio/Jun. 1997.

GORGULHO, M. G.P.S. – O “Sistema de Posicionamento Global”. URL:
http://www.gpstm.com/port/apostila_port.htm. (12 nov 2004).

GRIFFIN, T.; LAMBERT, D.; LOWENBERG-DEBOER, J. Economics of lightbar and auto-guidance GPS navigation technologies. In: *PRECISION AGRICULTURE, 2005, Proceedings...* Wageningen: J. V. Stafford, 2005, p.581-587

HAN, S.; NOH, H.K.; ZHANG, Q.; SHIN, B.S. *Dynamic performance evaluation of DGPS receivers for parallel tracking*. St. Joseph: ASAE, 2002. 17p. (ASAE Paper, 23107)

LANGE, A. F. On datums and geoids. *GIS World*, v.9, n.10, p.62, Oct. 1996.

LEGAT, K. HOFMANN-WELLENHOF, B. *Galileo or for whom the Bell Tolls*. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GPS – GPS’99*. Tsukuba, Japan, 1999. 7p.

MANTOVANI, E. C. *Agricultura de precisão e sua organização no Brasil*. Agricultura de Precisão. Viçosa, MG – Brasil 2000. p. 79 – 92.

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, 1998.

MOLIN, J.P.; CERRI, D.G.P.; BAILO, F.H.R.; TORREZAN, H.F.; ESQUERDO, J.C.D.M.; RÍPOLI, M.L.C. Evaluation of a Light Bar for Parallel Swathing Under Different Forward Speeds. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 1, Foz do Iguaçu, 2002. *Proceedings...* St. Joseph: ASAE/University of Florida, 2002, p.190-195.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo Navistar-GPS: descrição, fundamentos e aplicações*. Departamento de Cartografia FCT/UNESP – Campus de Presidente Prudente. Set. 1998. 182p.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Ed. UNESP, 2000. 287p.

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

ROCKWELL, A.D.; AYERS, P.D. Variable rate sprayer development and evaluation. *Applied Engineering in Agriculture*, v.10, n.3, p.327-333, May. 1994.

SARAIVA, A. M., CUGNASCA, C. E., HIRAKAWA, A. R. *Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes*. Agricultura de Precisão. Viçosa, MG – Brasil 2000. p. 109-145.

SEARCY, S. W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 1995, *Proceedings...* Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1995, p. 603-611.

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

STAFFORD, J. V. Essential Technology for Precision Agriculture. In: PRECISION AGRICULTURE, 1996, *Proceedings...* Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1996, p.595-604.

TEIXEIRA, A. L. A.; CHRISTOFOLETTI, A. *Sistema de Informação Geográfica (Dicionário Ilustrado)*. São Paulo: Ed. HUCITEC. 1997. 244p.

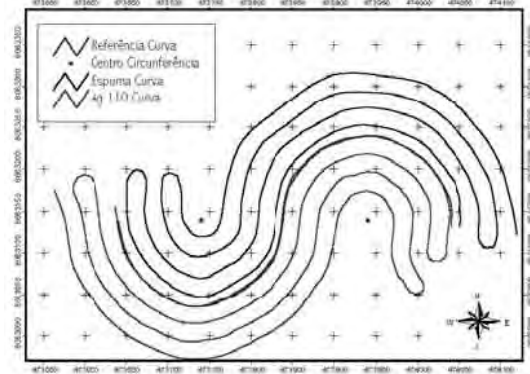
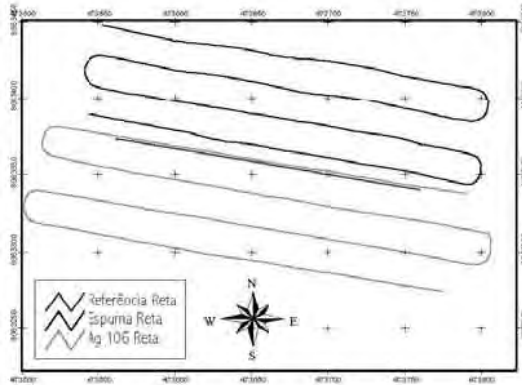
TRIMBLE Assisted Steering System. URL: <http://www.trimble.com/Trimble - AgGPS EZ-Steer.htm> (09 mai 2005).

VALENTINI, M. L.; MOLIN, J. P. *A agricultura de precisão nos campos gerais do Paraná*. O Estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil. L. A. BALASTREIRE. p. 88 – 92. 2000.

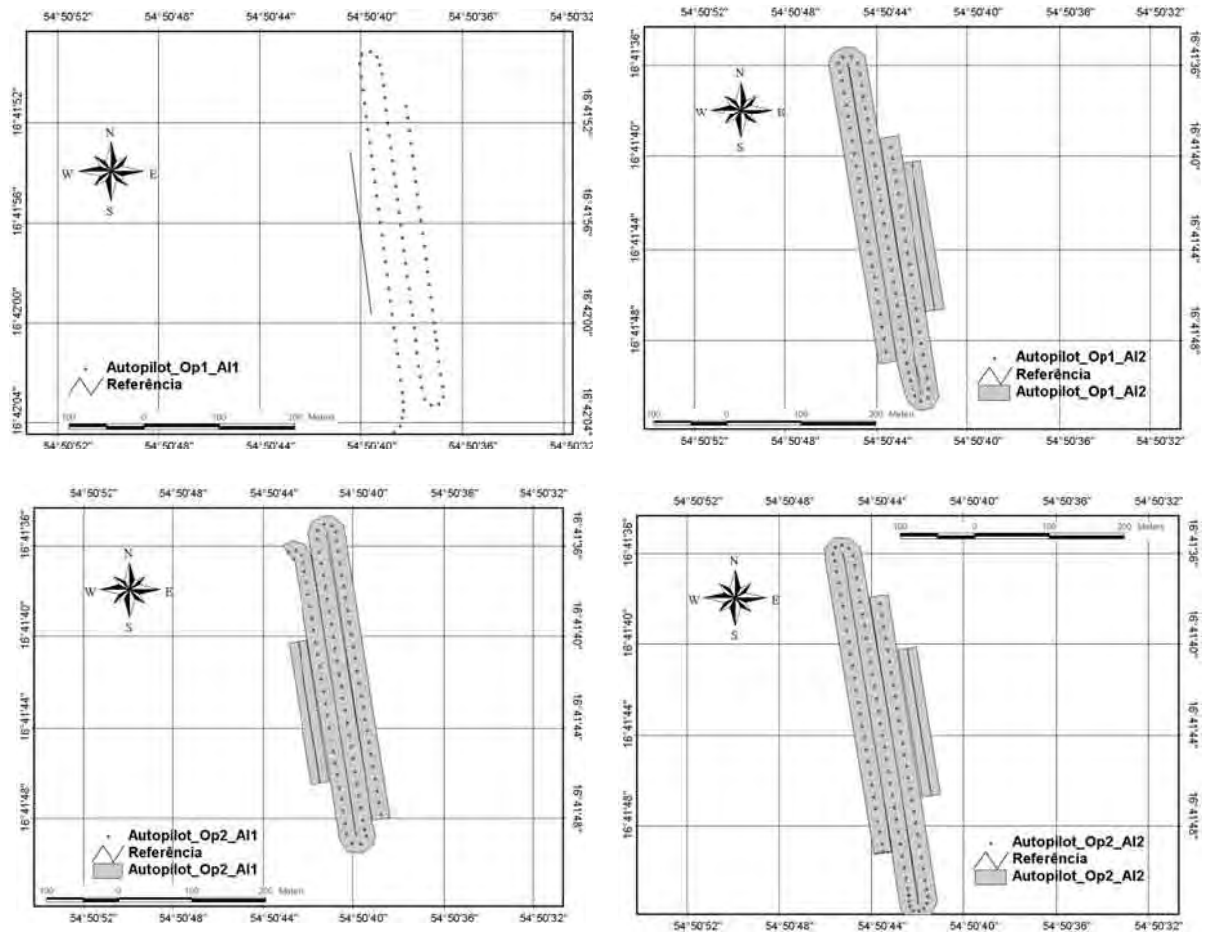
VETTER, A.A. Qualitative evaluation of DGPS guidance for ground-based agricultural applications. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 11, n.3, p.459-464, 1995.

ANEXO 1. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelos veículos dirigidos pelos operadores orientados pelos diferentes sistemas de direcionamento, nos ensaios em reta e em curva (coordenadas geodésicas) e nas diferentes repetições das passadas.

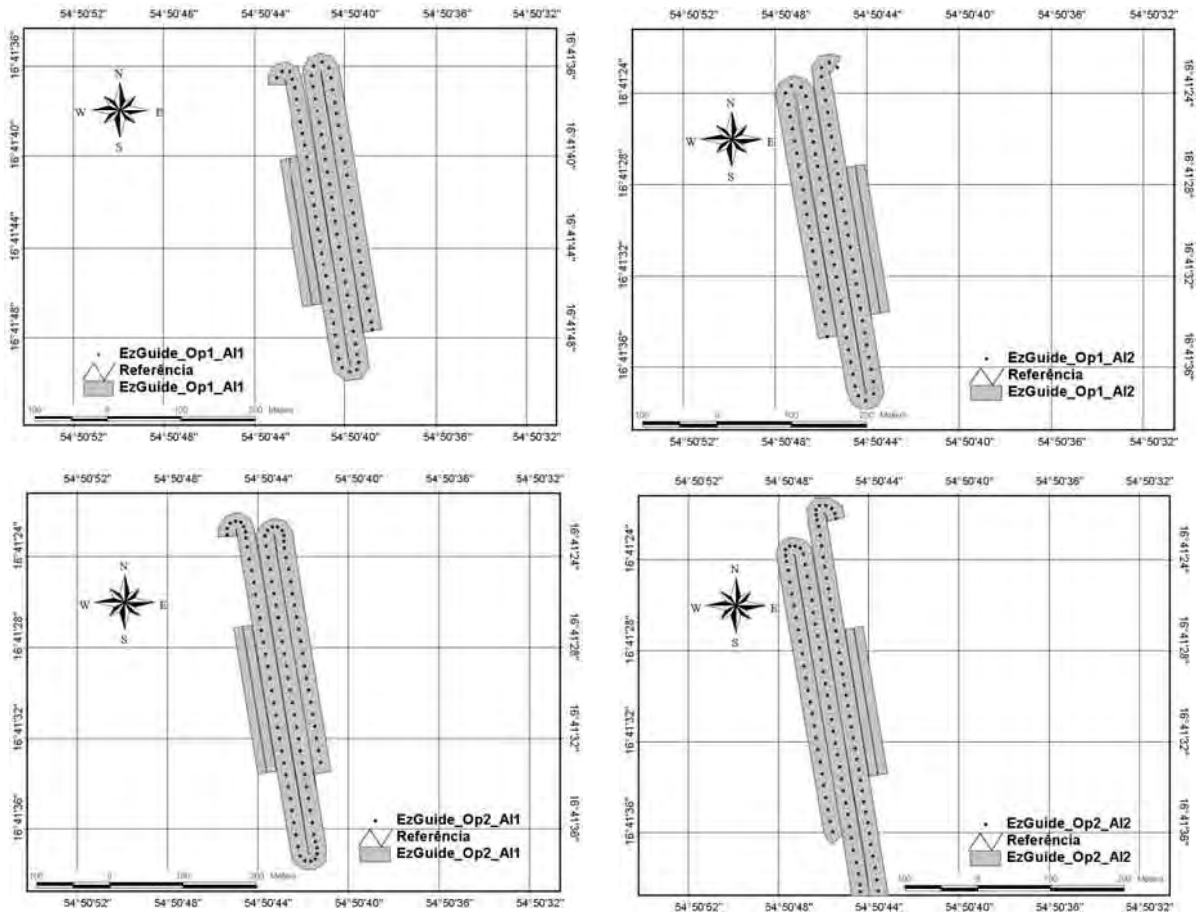
EXPERIMENTO 1. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores direcionados pela barra de luz Trimble Ag 110 em relação às referências.



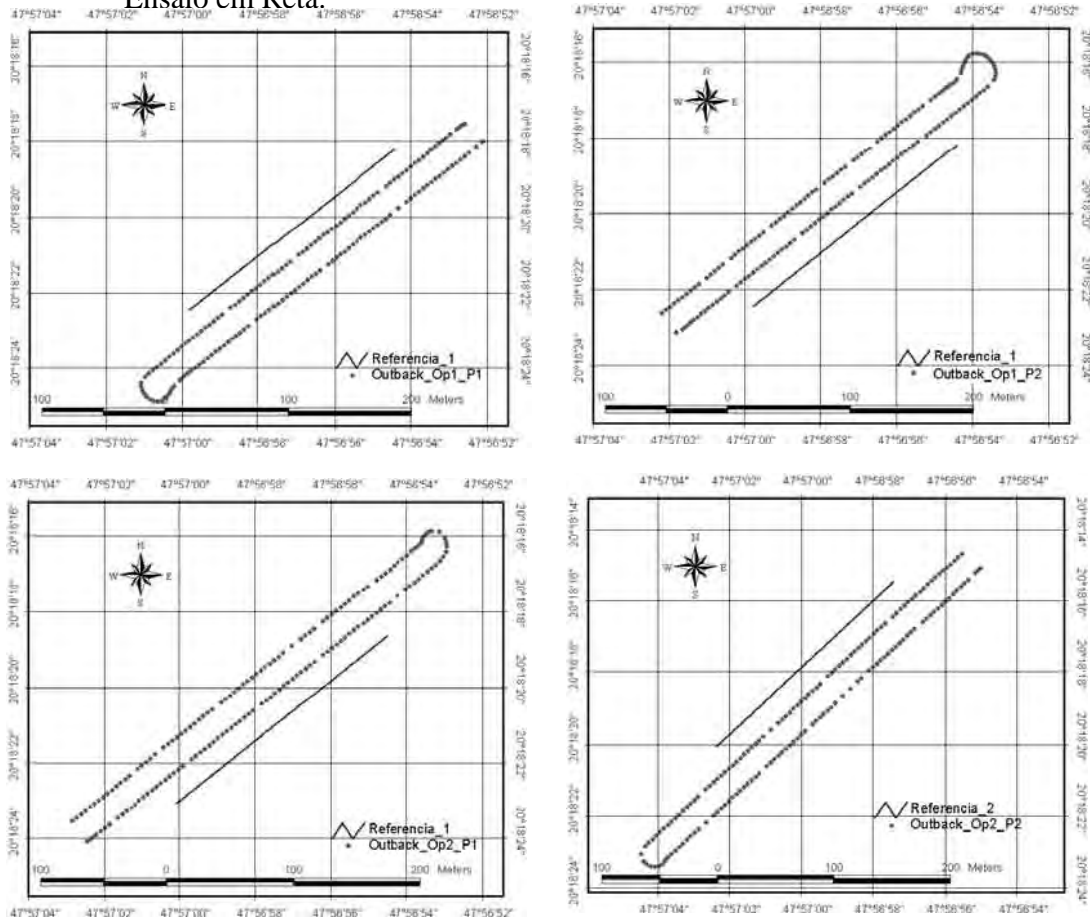
EXPERIMENTO 2. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pelo sistema de auto-direcionamento AutoPilot nas duas Parcelas (A1 e A2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



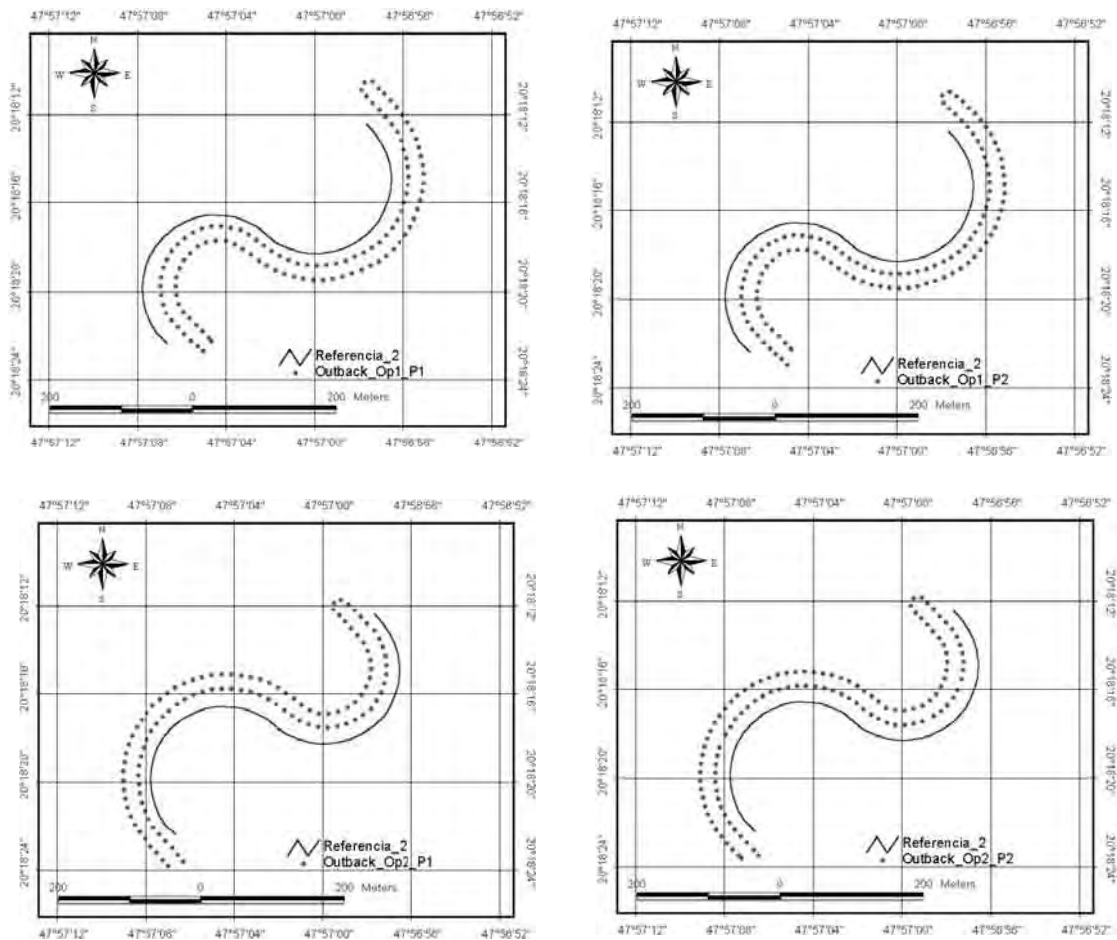
EXPERIMENTO 2. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Ag 110 Ez-Guide nas duas Parcelas (A1 e A2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



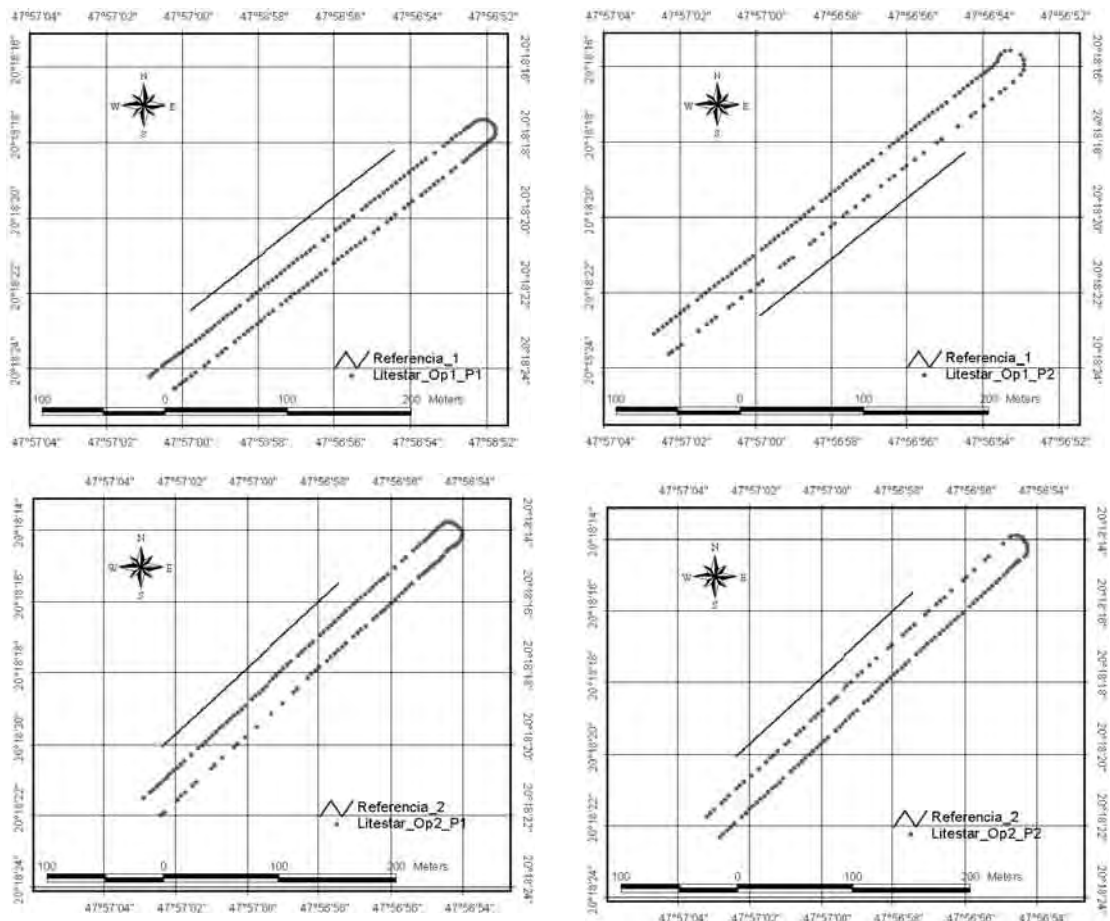
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz OutBack S nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



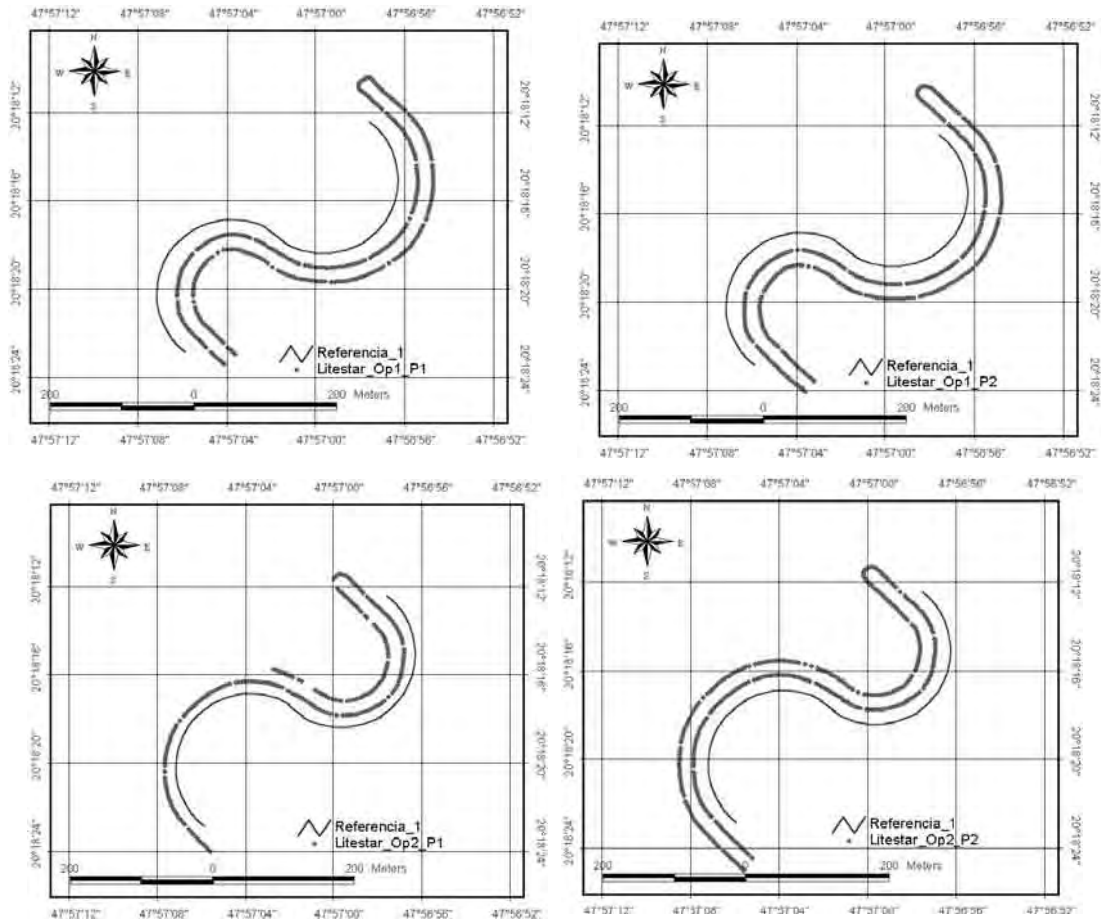
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz OutBack S nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Curva.



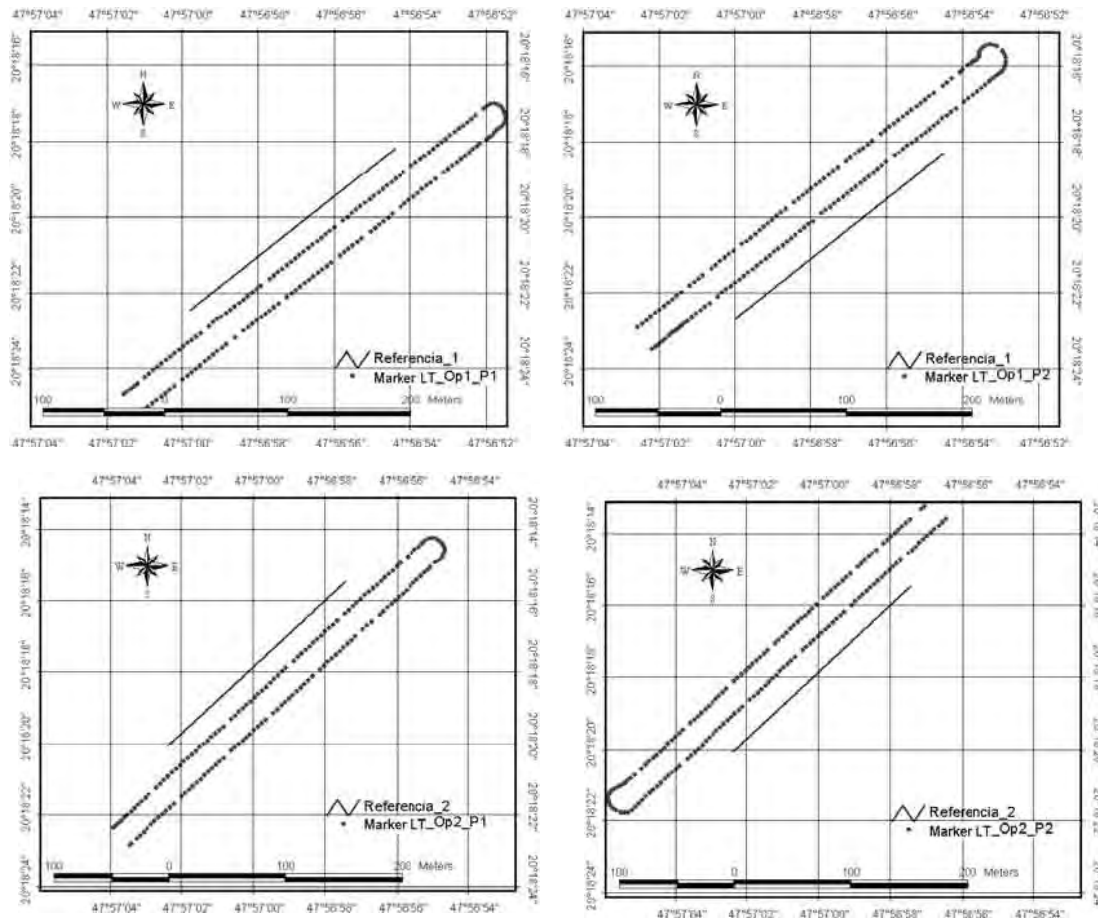
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz LiteStar nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



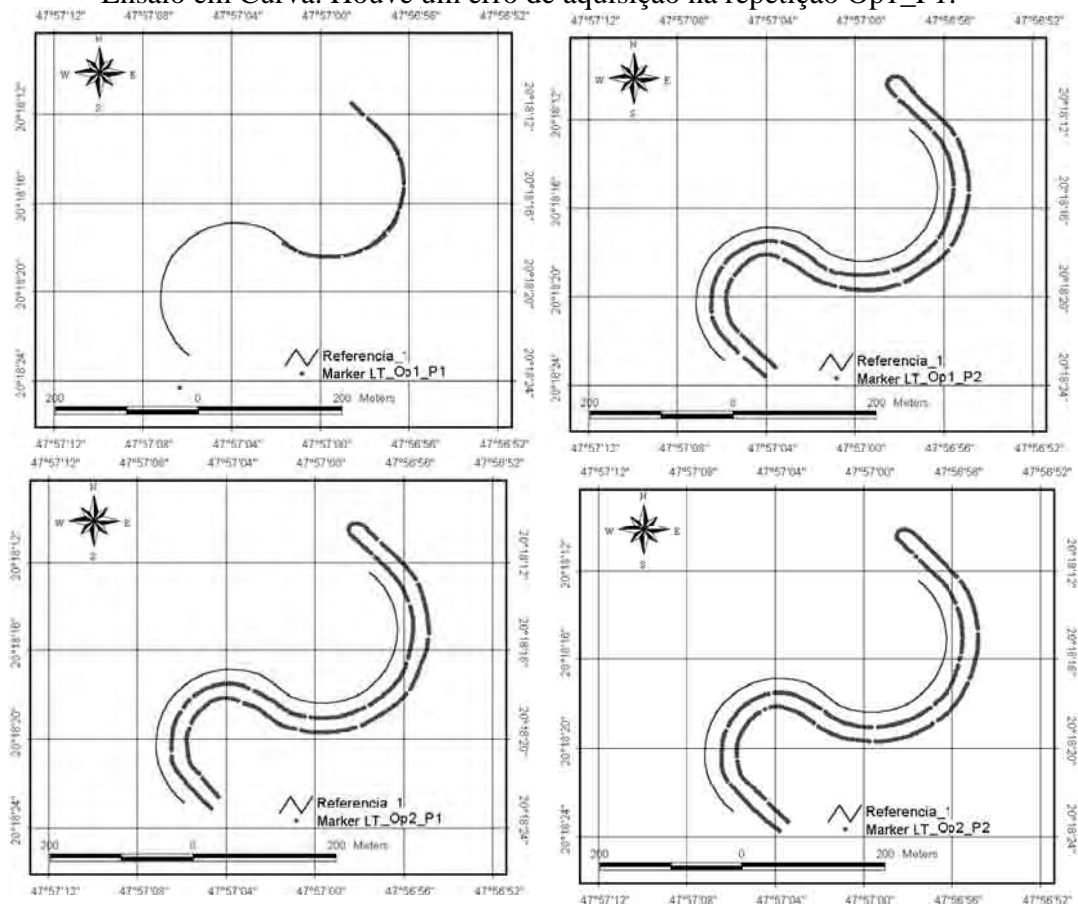
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz LiteStar nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Curva. Houve um erro de aquisição na repetição Op2_P1.



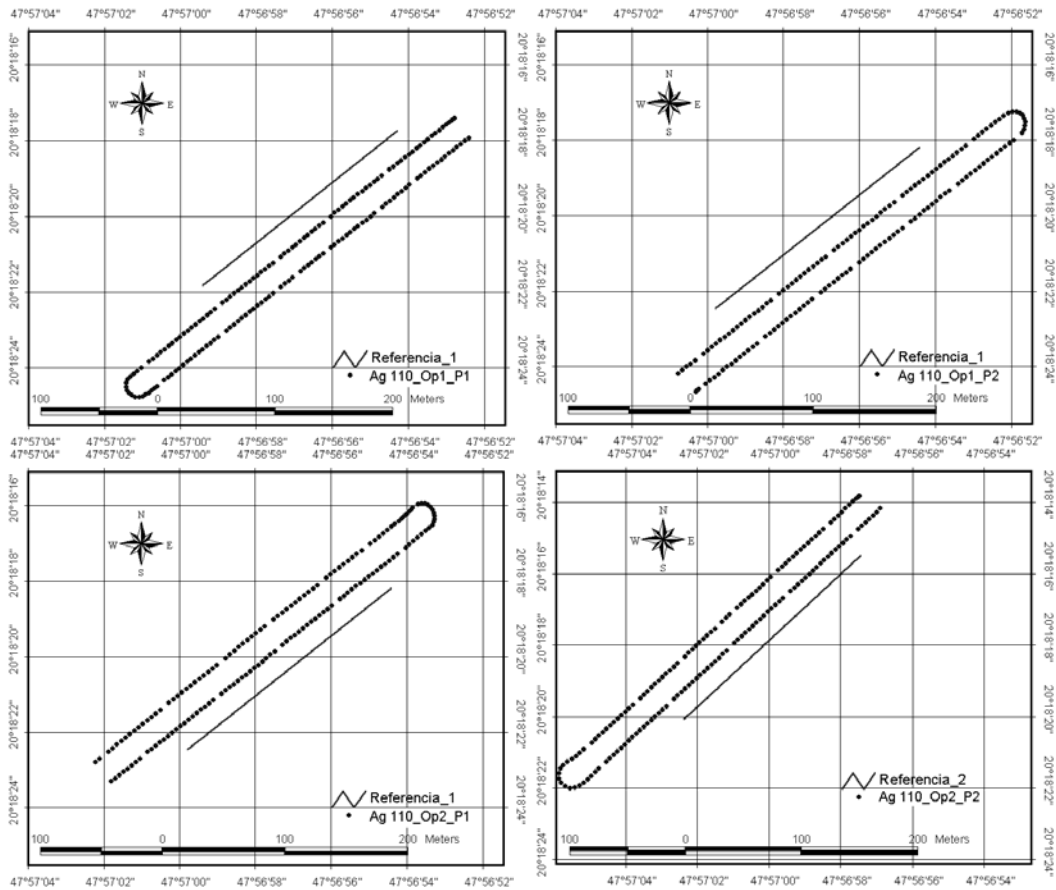
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Marker LTi nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



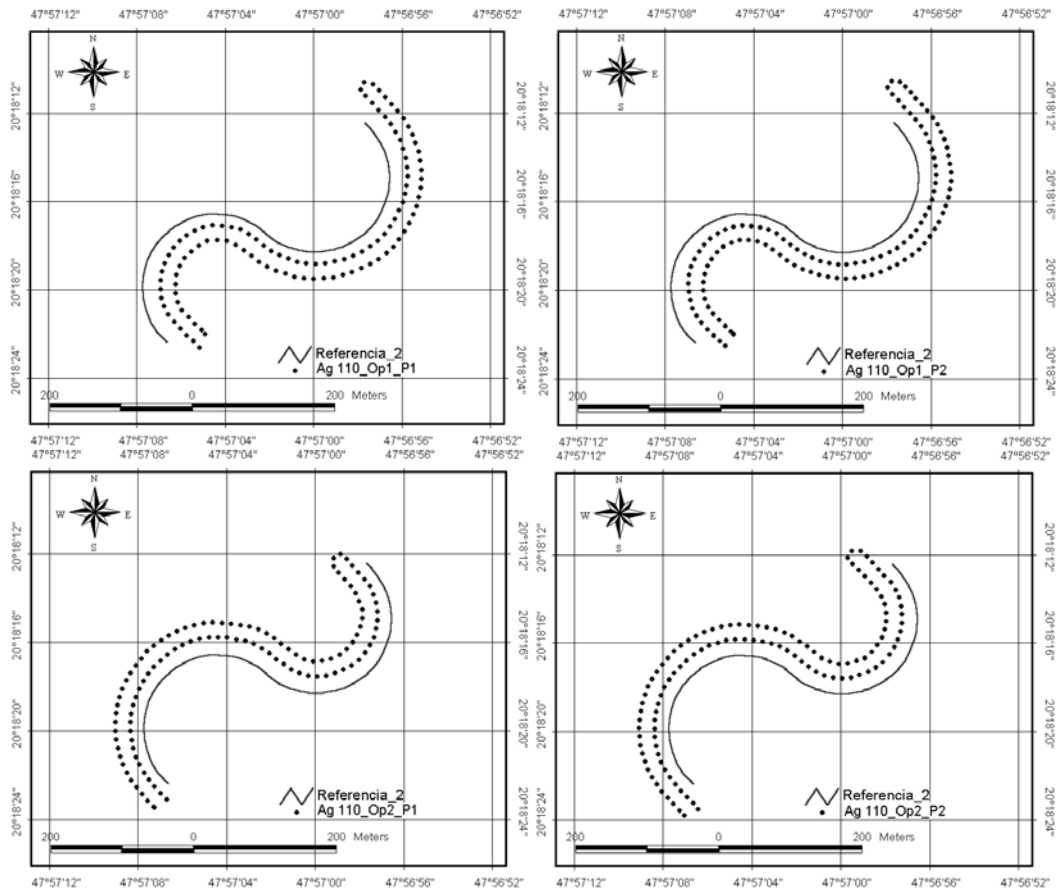
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Marker LTi nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Curva. Houve um erro de aquisição na repetição Op1_P1.



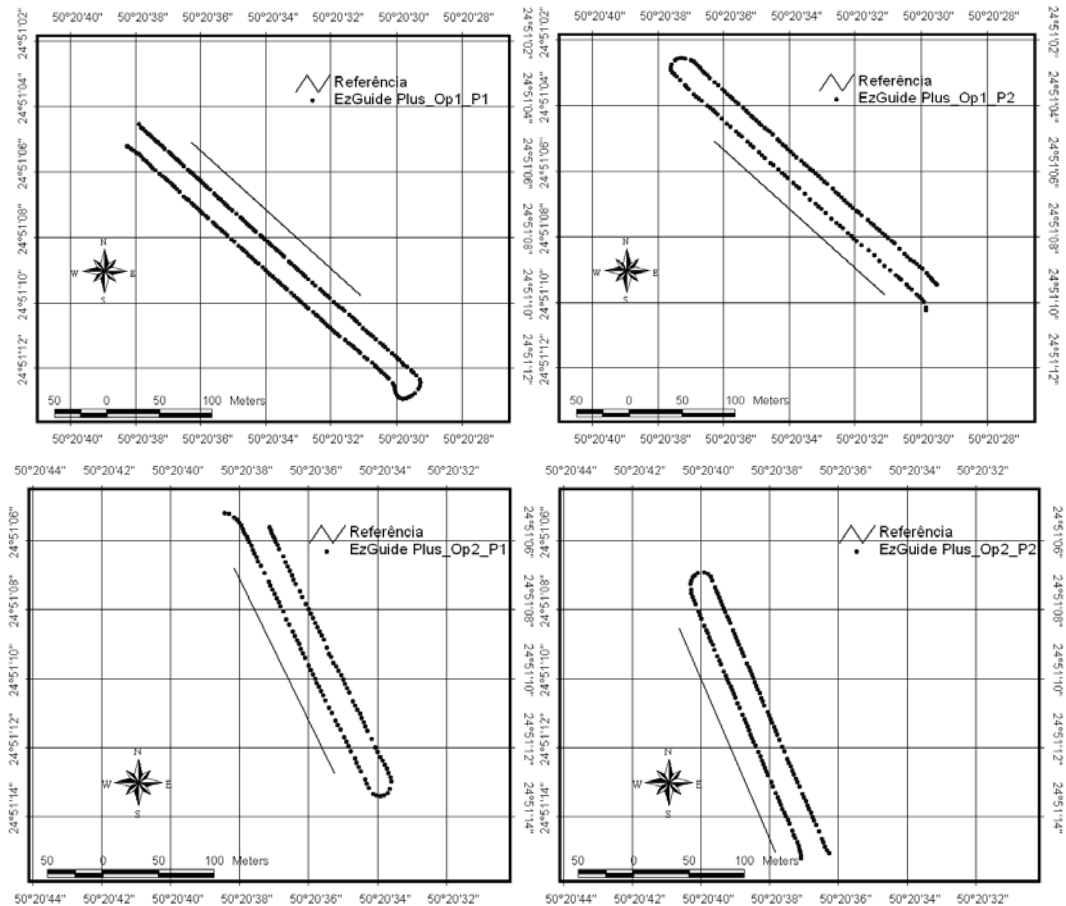
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Trimble Ag 110 nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



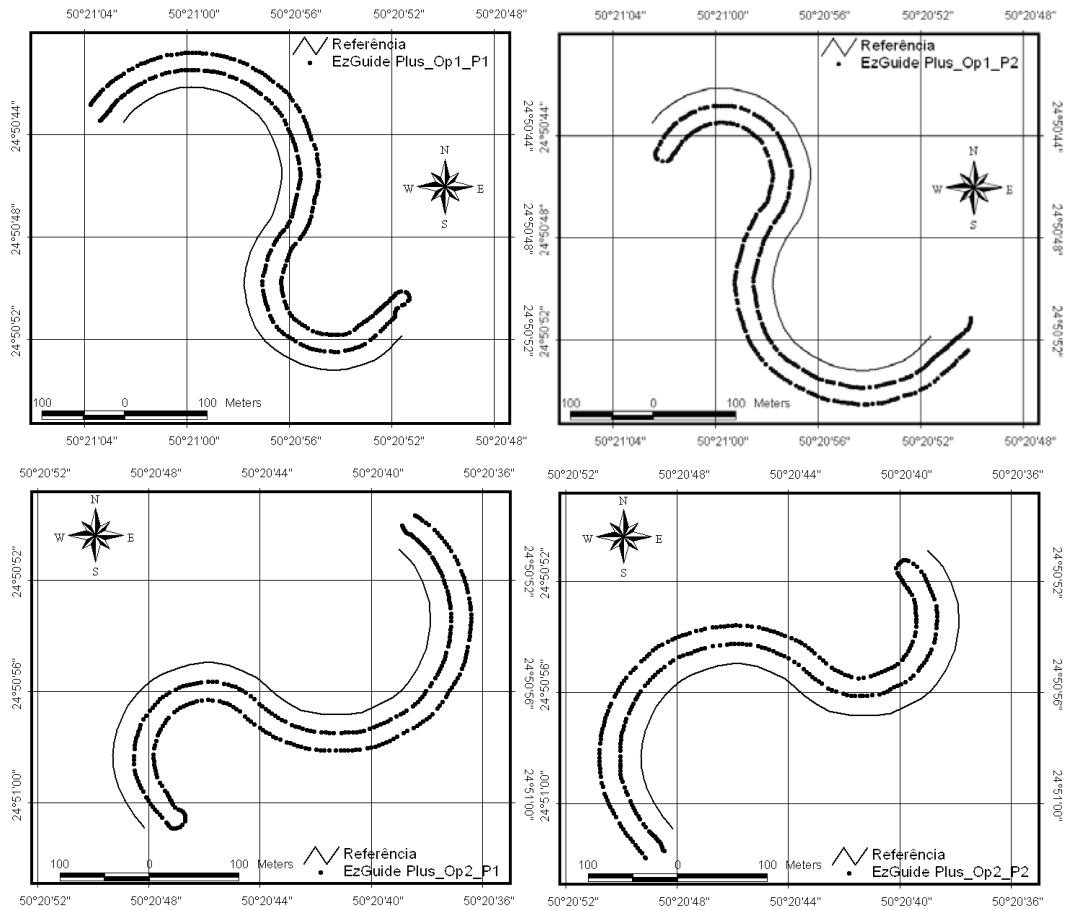
EXPERIMENTO 3. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo pulverizador autopropelido dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Trimble Ag 110 nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Curva.



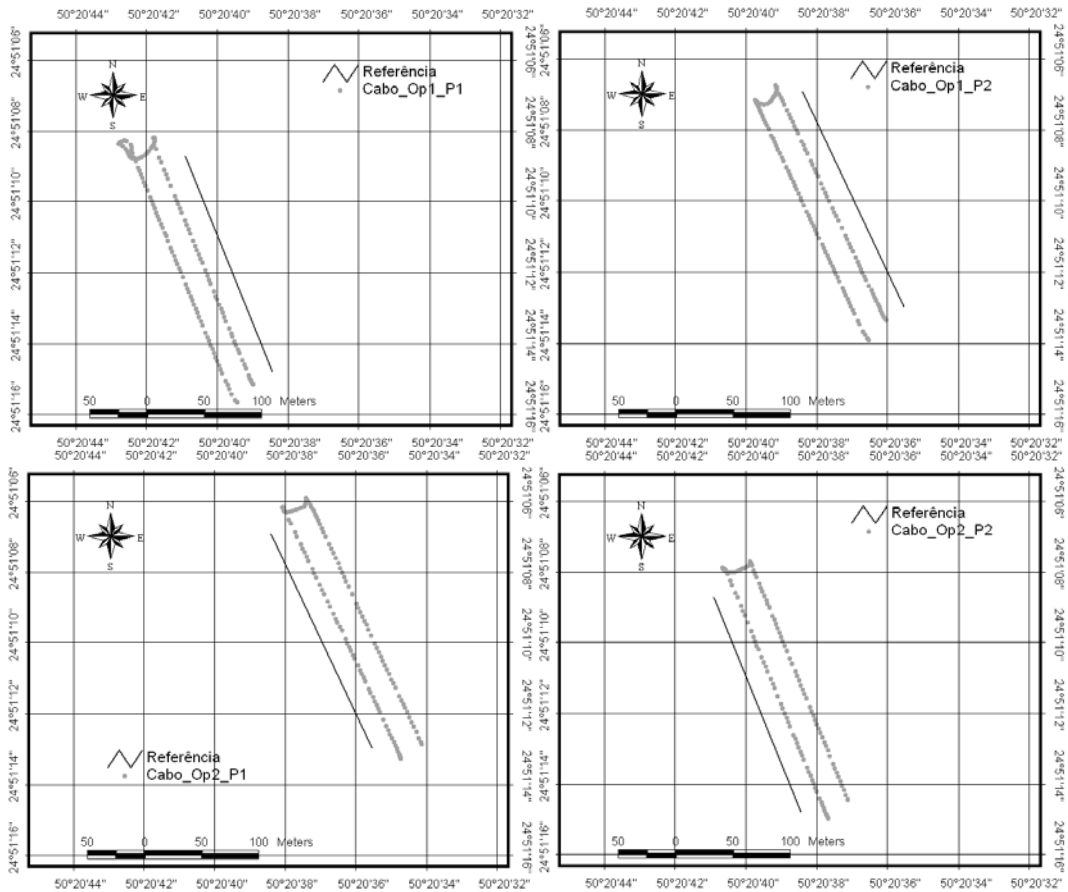
EXPERIMENTO 4. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo trator agrícola dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Trimble Ez-Guide Plus nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



EXPERIMENTO 4. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo trator agrícola dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pela barra de luz Trimble EzGuide Plus nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Curva.



EXPERIMENTO 4. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo trator agrícola dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pelo sistema de orientação por cabo de aço nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Reta.



EXPERIMENTO 4. Ilustração comparativa do trajeto percorrido pelo trator agrícola dirigido pelos Operadores 1 e 2 (Op1 e Op2) direcionados pelo sistema de orientação por cabo de aço nas duas Parcelas (P1 e P2) em relação às referências – Ensaio em Curva.

