

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**A PRECISÃO POSSÍVEL COM GPS L1-C/A EM
GEORREFERENCIAMENTO: O DESAFIO DO
MULTICAMINHO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Evandro Palma

Santa Maria, RS, Brasil
2005

**A PRECISÃO POSSÍVEL COM GPS L1-C/A EM
GEORREFERENCIAMENTO: O DESAFIO DO
MULTICAMINHO**

por

Evandro Palma

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de

Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Farret

Santa Maria, RS, Brasil
2005

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado:

**A PRECISÃO POSSÍVEL COM GPS L1-C/A EM
GEORREFERENCIAMENTO: O DESAFIO DO
MULTICAMINHO**

Elaborada por
Evandro Palma

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Julio Cesar Farret
(Presidente/ Orientador)

Prof. Dr. Quintino Dalmolin
Membro

Prof. Dr. Carlito Vieira de Moraes
Membro

Santa Maria, 24 de novembro de 2005.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

A PRECISÃO POSSÍVEL COM GPS L1-C/A EM GEORREFERENCIAMENTO: O DESAFIO DO MULTICAMINHO

AUTOR: EVANDRO PALMA
ORIENTADOR: Prof. Dr. JULIO CESAR FARRET
Data e Local de Defesa: Santa Maria, 24 de novembro de
2005.

Desde a criação do sistema Navstar/GPS, várias fontes de erros nas observáveis foram sendo identificadas e estudadas pela comunidade científica, tais como a solução de ambigüidades, o atraso ionosférico e o não sincronismo de relógios. O problema do erro causado pelo multicaminho, no entanto, persiste como um desafio, especialmente para aplicações que exigem maior acurácia e precisão. No caso do Brasil, com a promulgação em 2001 da Lei 10267 que institui o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais, este desafio passou a ter uma conotação específica, pois influencia a aplicabilidade do novo sistema cadastral. As empresas fabricantes de receptores GPS tem feito grandes investimentos em pesquisa nesse sentido, especialmente em nível de projeto dos seus receptores. A presente pesquisa busca estudar as tecnologias aplicadas em dois modelos de receptores GPS bastante utilizados no Estado do Rio Grande do Sul que são, o Ashtech Promark2 e o Leica GS20, bem como analisar o sucesso dessas tecnologias em nível de condições de campo representativas da realidade do georreferenciamento no Estado. Os resultados mostram grande potencial de uso desses receptores para trabalhos de certificação junto ao INCRA, bem como evidenciam situações limites em que o emprego dos mesmos fica prejudicado.

Palavras-chave: GPS, Multicaminho, DLL, PLL

ABSTRACT

Master Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

THE POSSIBLE PRECISION WITH GPS L1-C/A IN GEODETIC SURVEYS: THE CHALLENGE OF THE MULTIPATH

AUTHOR: EVANDRO PALMA
ADVISER: Prof. Dr. JULIO CESAR FARRET
Place and Date of Examination: Santa Maria, November, 24th
of 2005.

Since the creation of the system Navstar/GPS, several sources of observation errors went identified and studied by the scientific community, like as solution of ambiguities, delay ionospheric and non clock synchronous. The problem of the mistake caused by the multipath, however, persists as a challenge, especially for applications that demand larger accuracy and precision. In the case of Brazil, with the promulgation in 2001 of the Law 10267 of the National Cadaster of Rural Properties, this challenge have a specific feature, therefore it influences the applicability of the new cadastral system. The manufacturing companies of GPS receivers has been making great investments in research in that meaning, especially in level of project of receivers. This work analyses the applied technologies in two models of GPS receivers quite a lot used in the State of Rio Grande do Sul, BR, in other words, Ashtech Promark2 and Leica GS20, as well as to analyze the success of those technologies in level of representative field conditions of the reality of geodetic surveys in the State. The results show great potential of use of those receivers to certification works by Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), as well as they evidences limit situations in that the employment of the same ones is not advised.

Key-words: GPS, Multipath, DLL, PLL

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Importância	3
2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS	5
2.1 O georreferenciamento no Cadastro Nacional de Imóveis Rurais	5
2.2 O multicaminho	5
2.2.1 Técnicas de atenuação do multicaminho	7
2.2.1.1 Técnicas externas ao receptor	8
2.2.1.1.1 Baseadas em antenas	8
2.2.1.1.2 Baseadas no tratamento de sinais em nível de pós-processamento	9
2.2.1.2 Técnicas internas ao receptor	10
2.2.1.2.1 Baseadas no rastreamento (“ <i>tracking</i> ”) do sinal	10
2.2.1.2.2 Baseadas na forma de determinação da distância receptor-satélite	12
2.3 A Atenuação do multicaminho no receptor Leica GS20	16
2.4 A Atenuação do multicaminho no receptor ProMark2	19
3. MATERIAL E METODOLOGIA	23
3.1 Material	23
3.1.1 Receptor GPS Leica GS20	23
3.1.2 Receptor GPS Ashtech Promark2	24
3.1.3 Receptor GPS Trimble 4000SSI	25
3.1.4 Estação total Leica TC307	25

3.1.5 Programas de computador	26
3.1.6 Equipamentos de informática	26
3.2 Metodologia	26
3.2.1 Cenário do experimento	27
3.2.2 Levantamento dos pontos de teste	28
3.2.2.1 Estatística utilizada.....	29
3.2.2.1.1 Média aritmética	29
3.2.2.1.2 Desvio padrão	29
3.2.2.1.3 Acurácia	30
3.2.3 Levantamentos com GS20	30
3.2.4 Levantamentos com ProMark2.....	31
4 RESULTADOS E ANÁLISES	33
4.1 Resultados com GS20.....	33
4.1.1 Perdas de ciclos	33
4.1.2 Posicionamento com código suavizado.....	33
4.2 Resultados com Promark2	40
5. CONCLUSÕES	47
5.1 Em relação ao GS20	47
5.2 Em relação ao Promark2.....	48
5.3 Em relação aos procedimentos de campo.....	48
6. RECOMENDAÇÕES.....	50
6.1 Em relação ao GS20	50
6.2 Em relação ao ProMark2.....	50
6.3 Em relação aos procedimentos de campo.....	51
6.4 Para trabalhos futuros	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sinal de Caminho Direto e Multicaminho (Caminho Refletido).....	6
Figura 2: Pseudodistância suavizada pela portadora.....	13
Figura 3: Erro na pseudodistância com o uso dos correlacionadores “narrow” e “wide” no código C/A comparado com o erro na pseudodistância com o uso do correlacionador de atenuação do multicaminho Leica Tipo A.....	17
Figura 4: Erro na pseudodistância com o uso dos correlacionadores “narrow” e “wide” no código C/A comparado com o erro na pseudodistância com o uso do correlacionador de atenuação do multicaminho Leica Tipo B.....	18
Figura 5: Erro na pseudodistância com o uso dos correlacionadores “narrow” e “wide” no código C/A comparado com o erro na pseudodistância com o uso da tecnologia MM Correlator.....	19
Figura 6: Erros de multicaminho no rastreamento do código com a tecnologia Ashtech de rejeição de multicaminho comparado com correlacionadores padrão.....	20
Figura 7: Erros de rastreamento do código para atrasos curtos.....	21
Figura 8: Erros de multicaminho no rastreamento da portadora.....	22
Figura 9: Receptor Ashtech ProMark2.....	25
Figura 10: Croqui dos pontos levantados.....	28
Figura 11: Dispersão das coordenadas no ponto GS1MRE1D.....	35
Figura 12: Dispersão das coordenadas no ponto GS1MRE2D.....	35
Figura 13: Dispersão das coordenadas no ponto GS2MRE1D.....	36
Figura 14: Dispersão das coordenadas no ponto GS2MRE2D.....	36
Figura 15: Dispersão das coordenadas no ponto GS3MRE1D.....	37
Figura 16: Dispersão das coordenadas no ponto GS3MRE2D.....	37
Figura 17: Dispersão das coordenadas no ponto GS4MRE1D.....	38
Figura 18: Dispersão das coordenadas no ponto GS4MRE2D.....	38
Figura 19: Dispersão das coordenadas no ponto GS5MRE1D.....	39
Figura 20: Dispersão das coordenadas no ponto GS5MRE2D.....	39
Figura 21: Dispersão das coordenadas no ponto PM1MRE1D.....	41
Figura 22: Dispersão das coordenadas no ponto PM1MRE2D.....	42

Figura 23: Dispersão das coordenadas no ponto PM2MRE1D.....	42
Figura 24: Dispersão das coordenadas no ponto PM2MRE2D.....	43
Figura 25: Dispersão das coordenadas no ponto PM3MRE1D.....	43
Figura 26: Dispersão das coordenadas no ponto PM3MRE2D.....	44
Figura 27: Dispersão das coordenadas no ponto PM4MRE1D.....	44
Figura 28: Dispersão das coordenadas no ponto PM4MRE2D.....	45
Figura 29: Dispersão das coordenadas no ponto PM5MRE1D.....	45
Figura 30: Dispersão das coordenadas no ponto PM5MRE2D.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Nomenclatura dos pontos com GS20.....	31
Quadro 2 - Nomenclatura dos pontos com Promark2.	32
Quadro 3 - Resultados Obtidos no Levantamento da Área Teste com o receptor GS20	34
Quadro 4 - Resultados Obtidos no Levantamento da Área Teste com o receptor ProMark2.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas UTM em SAD69 dos pontos de referência.....	34
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- CCR – Centro de Ciências Rurais da UFSM
- CNIR – Cadastro Nacional de Imóveis Rurais
- DER – Departamento de Engenharia Rural da UFSM
- DLL – *Delay Look Loop*
- Ed - editora
- GPS – *Global Position System*
- GPS3 – tipo de receptor GPS conforme Norma Técnica
- GS20 – receptor GPS Leica
- ION – *Institute of Navigation*
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- PDOP – *Dilution of Precision Position*
- PLL – *Phase Look Loop*
- ppm – partes por milhão
- RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
- RMS – *Root-Mean-Square*
- SAD 69 – *South American Datum 1969*
- SMAR – Estação RBMC Santa Maria, Rio Grande do Sul
- UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
- UTM – *Universal Transverse Mercator*

LISTA DE SÍMBOLOS

$\phi_{L_1}(t_1)$ - distância satélite-receptor obtida por fase da portadora;

$\phi_{L_2}(t_1)$ - distância satélite-receptor obtida por fase da portadora;

Hz – hertz;

$l_1, l_2 \dots l_n$ - observações;

L_1 - frequência do sinal satélite-receptor;

L_2 - frequência do sinal satélite-receptor;

l_v - coordenada verdadeira do ponto considerado;

m – metro;

n - número de observações;

$R_{L_1}(t_1)$ - distância satélite-receptor obtida por código;

$R_{L_2}(t_1)$ - distância satélite-receptor obtida por código;

$R_{(\tau)}$ - função de correlação cruzada;

$R(t_i)_{ex}$ - valores extrapolados de distâncias obtidas por código;

$R(t_i)_{suav}$ - valores de distâncias obtidas por código suavizado;

$\hat{\sigma}_x$ - desvio padrão;

$\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ - desvio padrão da média aritmética;

t - tempo;

τ – tempo de atraso da réplica do código do receptor;

ω - fator de peso dependente do tempo;

\bar{X} - média aritmética;

1. INTRODUÇÃO

Durante a propagação as observáveis GPS estão sujeitas a erros devido a problemas diversos, os quais se transmitem para as coordenadas estimadas, podendo ser tradicionalmente caracterizados como aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Erros sistemáticos podem ser parametrizados (modelados como termos adicionais) ou eliminados por técnicas apropriadas de observação. Erros aleatórios não apresentam nenhuma relação funcional com as medidas, sendo considerados inevitáveis e, portanto, uma propriedade inerente da observação (MONICO, 2000).

Pode-se relacionar esses erros à suas fontes, como no caso dos erros relacionados aos satélites (erros de órbita e relógio) e erros relacionados à propagação do sinal e à estação receptora (refração troposférica e ionosférica, perdas de ciclos, rotação da Terra e multicaminho). Pesquisadores e empresas fabricantes de receptores GPS vêm empenhando-se em apresentar soluções para a atenuação e/ou eliminação desses erros, sendo que a maioria já não representa problemas para a obtenção de grandes precisões com o uso do GPS. Esse não é o caso do erro devido ao multicaminho, pois, apesar de alguns avanços nas técnicas de atenuação, ainda se trata de uma das últimas fronteiras para obtenção de elevada precisão e acurácia, como necessário em levantamentos cadastrais legais, como é o caso do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR).

Objetivando dar maior competitividade comercial a seus produtos, as empresas fabricantes de receptores GPS financiaram estudos e pesquisas com o intuito de criar técnicas capazes de, pelo menos, atenuar esse problema. Devido às peculiaridades do multicaminho, principalmente relacionadas às características de diversidade e não estaticidade dos ambientes, os maiores investimentos foram em estudos para melhoras do projeto interno dos receptores, ou seja, para o tratamento do problema em nível de rastreamento do sinal e, mais especificamente, em nível de função de correlação do sinal vindo do satélite com a réplica gerada internamente no receptor. Desses estudos resultaram técnicas

de processamento como: “*Narrow Correlator*” (receptores Novatel), “*Strobe Correlator*” e “*Enhanced Strobe Correlator*” (receptores Ashtech), “*Multipath Estimating Delay Lock Loop – MEDLL*” (Van NEE, 1994), “*Edge Correlator*” (GARIN et al., 1996), “*Gated Correlator*” (BRAASH & McGRAW, 1999), “*Multipath Mitigation Correlator - MM Correlator*” (receptores Leica), “*Smoothing*” (HATCH, 1982 e LACHAPELLE et al., 1986) dentre outras.

Estas e outras técnicas de processamento de sinal estão atualmente introduzidas sob a forma de algoritmos em diferentes tipos de receptores GPS disponíveis no mercado. Estas técnicas resultaram em melhoras efetivas no desempenho dos receptores GPS? Qual o desempenho desses receptores nas condições de campo impostas pela nova Lei 10267/2001 do CNIR? Tendo em vista estes aspectos, o presente trabalho procura subsidiar usuários de receptores GPS, especialmente aqueles que se dedicam ao georreferenciamento de imóveis rurais no Rio Grande do Sul. Para isso, faz-se uma análise do desempenho de duas marcas de receptores GPS muito utilizadas no estado: O GS20 (Leica) e o ProMark2 (Ashtech).

Atendendo à recomendação da Norma Técnica editada pelo INCRA para o georreferenciamento pela Lei 10267/2001, os receptores foram utilizados conforme a recomendação das próprias empresas fabricantes. Os resultados apontam para o uso pleno desses produtos para o georreferenciamento no CNIR.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Busca-se avaliar a eficiência das técnicas de atenuação do multicaminho implementadas nos receptores Leica GS20 e Ashtech ProMark2, em situações de multicaminho representativas da realidade dos levantamentos de campo.

Espera-se que os resultados possam subsidiar e apoiar os profissionais que fazem levantamentos com GPS.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Estabelecer pontos para teste com alta precisão e acurácia em situações representativas do multicaminho em levantamentos para o CNIR;
- b) Realizar levantamentos em situações de multicaminho crescente, mas obedecendo às recomendações dos fabricantes para obtenção da acurácia exigida pela Lei 10267/2001;
- c) Extração e verificação do multicaminho nos pontos levantados através da técnica de correlação em dias siderais consecutivos;
- d) Verificação das perdas de ciclos, para ambos os receptores em todos os pontos levantados;
- e) Análise da qualidade dos resultados em função do grau de dificuldade apresentado pelo ambiente;
- f) Elaboração de sugestões aos usuários.

1.2 Importância

As numerosas pesquisas em GPS realizadas pela comunidade científica desde a sua implementação resultaram em receptores capazes de oferecer precisão compatível com as exigências da maioria das aplicações modernas, inclusive com relação à Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais, editadas pelo INCRA em novembro de 2003. Apesar disso, há peculiaridades de campo em que a geometria e a natureza dos materiais próximos da antena resultam em condições favoráveis à ocorrência de multicaminho. Nesses casos, a confiabilidade do trabalho fica comprometida,

podendo inviabilizar a qualidade do mesmo para entrega ao INCRA. Devido à diversidade dos ambientes e da natureza dos materiais reflexivos, as técnicas de atenuação dos efeitos do multicaminho são, no geral, de resultado diverso e pouco previsível. Para aplicações em georreferenciamento pelo CNIR, esses problemas devem ser enfrentados de forma efetiva, como proposto na presente pesquisa.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 O georreferenciamento no Cadastro Nacional de Imóveis Rurais

A Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 1a Edição, é uma esquematização de procedimentos que visa fazer com que os levantamentos sejam feitos segundo condições que garantam a precisão e a confiabilidade exigidas pela Lei 10267/2001.

O principal motivo para que essa garantia não seja atingida é o multicaminho. Isso se deve ao fato dele não ser um fenômeno plenamente detectável e controlável pelos receptores GPS, embora alguns parâmetros indicadores da qualidade do levantamento possam indicar a presença de multicaminho em maior ou menor grau como, por exemplo, dificuldade de fixação de ambigüidades, baixo valor da taxa “ratio” (relação entre a melhor e a segunda melhor solução estimada para o valor das ambigüidades inteiras) e elevado desvio-padrão. É por esse motivo que a Norma brasileira, como em geral todas as demais, não apresentam indicações de valores e parâmetros seguros que tratem de forma adequada o problema do multicaminho nos levantamentos, mas apenas sugestões preventivas como principalmente, a localização adequada das antenas.

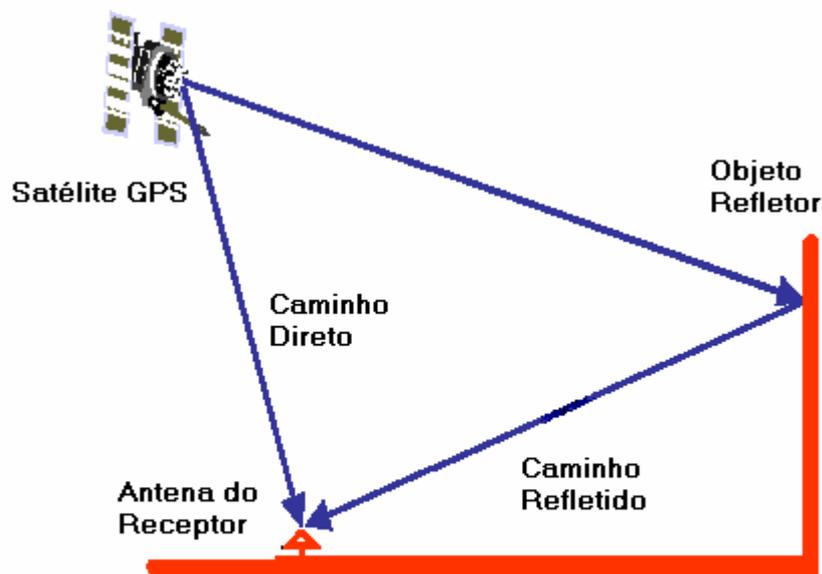
2.2 O multicaminho

Todo receptor GPS calcula sua posição a partir das coordenadas conhecidas de, pelo menos, 4 satélites, e da distância da antena do receptor até esses satélites, fazendo uma resseção no espaço tridimensional.

Num sistema de transmissão ideal tem-se o sinal do satélite GPS “viajando” num caminho direto, em linha reta na forma de frentes de onda até a

antena do receptor. Mas nem todo sinal que chega ao receptor é o do caminho direto. Têm-se também sinais que sofrem alterações em sua rota. Tais sinais têm seu tempo de “viagem” alterado para mais, devido a um incremento no caminho percorrido, isto é, um tempo de propagação maior (figura 1). Estes sinais secundários se sobrepõem ao sinal direto podendo distorcer significativamente o sinal recebido, isto é, a forma, a amplitude e a fase da onda (WEILL, 1997).

Figura 1: Sinal de Caminho Direto e Multicaminho (Caminho Refletido).



Fonte: Townsend et al., 2000.

Townsend e Fenton (1994) *apud* TOWNSEND et al. (1995a) mostram que os sinais com multicaminho apresentam as seguintes características:

- a) Sempre chega após o sinal direto, devido a um caminho de propagação maior, isto é, um maior tempo de “viagem” percorrido até a antena;
- b) É mais fraco que o sinal direto.

Dessa forma, define-se multicaminho como o fenômeno pelo qual o sinal que chega à antena do receptor é o resultado não só do sinal vindo diretamente

do satélite, mas também de sinais secundários, provenientes da reflexão do sinal direto em objetos mais ou menos próximos da antena ou da linha receptor-satélite (FARRET, 2000).

O multicaminho distorce a modulação do sinal e degrada a precisão e a acurácia do sistema tanto em levantamentos absoluto como relativo. Como o multicaminho afeta as medidas de pseudodistância para inicialização com a finalidade de resolução das ambigüidades, o tempo requerido para inicialização pode sofrer um incremento (BRAASCH, 1996, p. 547).

O impacto dos sinais com multicaminho nas observáveis pseudodistância e fase das portadoras depende de fatores como a intensidade e o atraso do sinal refletido (LEICK, 1995). Esses fatores dependem principalmente da geometria do ambiente onde se encontra a antena do receptor. Para um receptor estacionário, a geometria do ambiente não sofre grandes variações, mantendo constantes os parâmetros de multicaminho, mas para receptores em movimento, como em aplicações cinemáticas de navegação, esses parâmetros alteram-se, causando variações no multicaminho.

2.2.1 Técnicas de atenuação do multicaminho

Os efeitos do multicaminho podem ser dirimidos através de técnicas que, de um ponto de vista geral, podem ser divididas em técnicas externas ao receptor e técnicas internas a ele. As técnicas externas são de natureza primária e consistem de técnicas baseadas em antenas e no tratamento de sinais em nível de pós-processamento. As técnicas internas ao receptor compreendem melhoras nas tecnologias de recepção (*“tracking”*) ou no processamento interno do sinal, ou seja, atuam no projeto dos receptores, pressupondo sofisticação tecnológica.

2.2.1.1 Técnicas externas ao receptor

2.2.1.1.1 Baseadas em antenas

Essas técnicas levam em conta a geometria dos sinais ao redor da antena e compreendem a localização adequada das mesmas, o uso de antenas especiais e o uso de múltiplas antenas.

Uma das primeiras idéias em termos de antenas especiais foi a partir do princípio que muito dos sinais secundários que chegam na antena se originam em reflexões no chão. Utiliza-se uma simples chapa metálica circular ou retangular acoplada junto ao sistema receptor. Observou-se posteriormente que a onda eletromagnética vinda de baixo ou de um ângulo próximo da horizontal, atingindo a beira do disco plano, move-se horizontalmente na superfície do mesmo até a antena receptora, afetando o sinal recebido.

Posteriormente surgiram as chamadas antenas do tipo “*choke-ring*”. Elas constam de uma superfície metálica horizontal que forma um plano terra, contendo uma série de anéis ou calhas circulares concêntricas de profundidade de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda, que é o valor máximo do multicaminho para a portadora. Essas calhas atuam como inibidores das ondas de superfície, com significativa proteção contra sinais de multicaminho vindos de direções próximos da horizontal (WEILL, 1997). Uma desvantagem desse tipo de antena é o seu peso e tamanho.

Os sinais GPS possuem polarização circular para direita (RHCP – “*Right-Hand Circular Polarized*”). O sinal refletido é, geralmente, polarizado para esquerda (LHCP – “*Left-Hand Circular Polarized*”), dependendo do ângulo de incidência. Essas características são exploradas para atenuar o multicaminho, projetando-se antenas com capacidade de rejeitar sinais com essa polarização (BRAASH, 1996 e MONICO, 2000). A eficiência dessa técnica é parcial, uma vez que somente partes dos sinais polarizados à esquerda são atenuados. Isso faz com que essa técnica deva ser utilizada em conjunto com outras, especialmente

as técnicas internas ao receptor, como ocorre com a chamada tecnologia “*ClearTrakTM*”, empregada em receptores Leica como o GS20, por exemplo, como é visto no presente trabalho, onde a empresa afirma que sua antena apresenta respostas mínimas a sinais com ângulos de elevação muito baixos, ou seja, aqueles com maior potencial de multicaminho e ruído.

Pode-se ainda reduzir os efeitos do multicaminho adotando o desenvolvimento de múltiplas antenas. Nesse caso pode-se explorar a alta correlação dos sinais em antenas próximas, como em Ray et al. (1998) e Farret (2000) ou o conjunto de múltiplas estações de referência proposto por Lachapelle et al. (1986).

2.2.1.1.2 Baseadas no tratamento de sinais em nível de pós-processamento

As técnicas da alta correlação de antenas próximas (FARRET, 2000 e Ray et al., 1998) também envolvem técnicas de pós-processamento, uma vez que os sinais podem ser tratados e reprocessados com melhor qualidade, ou seja, com sinais mais depurados em termos de multicaminho.

Souza & Monico (2003) usam a técnica de multirresolução baseada em integrais *wavelets* para a detecção do multicaminho nas duplas-diferenças usadas em posicionamento relativo.

Quando o sinal GPS é observado por um longo período de tempo, tem-se a vantagem de poder usar a mudança de geometria das reflexões causada pela movimentação angular dos satélites, quando ocorrem atrasos relativos entre o caminho direto e secundário (WEILL, 1997). O multicaminho pode ser detectado separando-se componentes do caminho secundário identificando-se o mesmo através de variações no nível do sinal. Isto requer longos períodos de observação e é impraticável para a maioria das aplicações, especialmente cinemáticas (WEILL, 1997), prestando-se mais para trabalhos estáticos, como em estações de referência.

2.2.1.2 Técnicas internas ao receptor

Estas técnicas apresentam boa atratividade comercial, pois possibilitam melhoras de precisão por atenuar o multicaminho em condições de navegação em tempo real, com constantes mudanças de cenário, o que provocou bons investimentos em pesquisa por parte das empresas fabricantes de receptores GPS nos últimos anos. Essas técnicas atuam no rastreamento (“*tracking*”) do sinal pelo receptor (medida direta de tempo) ou na própria forma de cálculo da distância receptor-satélite.

2.2.1.2.1 Baseadas no rastreamento (“*tracking*”) do sinal

As distâncias receptor-satélite são básicas para a determinação das coordenadas desejadas com GPS, e são calculadas através do produto do tempo medido de propagação do sinal de cada satélite até o receptor pela velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (velocidade da luz). O tempo de propagação do sinal é determinado medindo a diferença entre o tempo da transmissão (pelo satélite) e o tempo de recepção (pelo receptor) do código PRN “impresso” no sinal. Os receptores também usam as medidas da fase das ondas portadoras para obter essa distância com maior acurácia (WEILL, 1997) através do produto entre o número de ciclos existentes desde a antena do receptor até o satélite e o comprimento de onda da portadora utilizada (L1 e/ou L2). Essa estimativa de tempo é feita através da correlação (alinhamento) entre o sinal que chega e sua réplica, expressa pela chamada Função de Correlação (ou de Auto-Correlação) que, segundo Weill (1997), é o grau desse alinhamento entre os dois sinais. A Função de Correlação Cruzada pode ser expressa matematicamente como:

$$R_{(\tau)} = \int r(t)Cr(t - \tau)dt \quad (1)$$

onde:

τ é o tempo de atraso da réplica do código do receptor;

$C_r(t)$ e $r(t)$ são os ruídos recebidos em forma de onda.

As técnicas de atenuação do multicaminho baseadas no “*tracking*” do sinal geralmente atuam na Função de Correlação. Para uma condição favorável para uma boa precisão nas medidas de pseudodistâncias, quanto mais agudo for o pico da Função de Correlação Cruzada, melhor.

Fenton et al. (1991) e Van Dierendonck et al. (1992) introduziram pela primeira vez a técnica chamada de Correlacionadores Estreitos - “*Narrow Correlators*”. Esta técnica se baseia na diminuição nos intervalos de correlação entre o sinal original e sua réplica, buscando uma diminuição das interferências de sinais adjacentes ao pico da função, como o multicaminho. Esta é uma técnica significativa de redução dos efeitos do multicaminho, servindo de base para outros métodos similares originados posteriormente. O “*Narrow Correlator*” utiliza espaçamentos de 0,1 segmento (*chip*) do código C/A para realizar a Função de Correlação, o que ocorre dentro do DLL “*Delay Locked Loop*” (GADALLAH et al., 1998). A técnica “*Narrow Correlator*” oferece uma significativa melhora na atenuação dos efeitos do multicaminho em comparação com o obtido com a correlação padrão (WEILL, 1997).

A técnica MEDLL - “*Multipath Estimating Delay Locked Loop*” (TOWNSEND et al., 1995a), emprega o uso de múltiplos correlacionadores com espaçamento variável para aprimorar o desempenho do rastreamento no DLL. São estimados parâmetros do multicaminho (como amplitude, atraso e fase) a partir do estimador estatístico de máxima probabilidade (Van NEE, 1992). A fase e o atraso do caminho direto são medidos e esses valores são usados para corrigir a fase da portadora e a pseudodistância respectivamente (TOWNSEND et al., 1995b). Essa técnica trouxe avanços em relação ao “*Narrow Correlator*” original, com erros de distância na casa dos 6 (seis) metros em relação aos 10 (dez) metros obtidos na correlação estreita, embora o MEDLL também possa usar correlacionadores estreitos (WEILL, 1997).

Com resultados teóricos que se assemelham ao MEDLL, é proposta a técnica “*Strobe Correlator*” (GARIN et al., 1996). Com forma de atuação semelhante ao MEDLL, apresenta a vantagem sobre o “*Narrow Correlator*” de eliminar quase que por completo os erros de multicaminho no código para atrasos próximos dos 40 (quarenta) metros (GADALLAH et al., 1998).

Em princípios similares de atuação, foi proposto o MRDLL – “*Modified Rake DLL*” (LAXTON, 1996), o qual é uma adaptação da RDLL – “*Rake Delay Locked Loop*” (SHEEN & STUBER, 1995), bem como o n-MRDL - “*n – Multipath Reflections DLL*” (LAXTON, 1996) e “ α - Deploying Estimator” (GADALLAH et al., 1998).

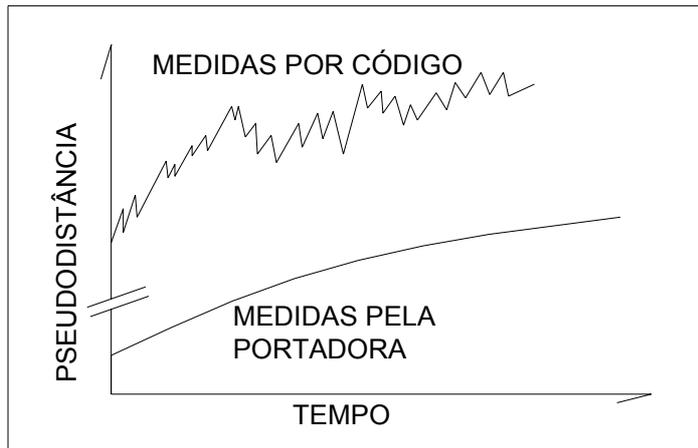
As técnicas chamadas “*Strobe Correlator*” e “*Edge Correlator*” introduzidas por Garin et al. (1996), utilizam uma estrutura de “*hardware*” com correlacionadores extras para melhorar o rastreamento do código, distinguindo o caminho direto do caminho secundário, impedindo a sobreposição entre esses sinais. Essas técnicas formaram a base da técnica conhecida como “*Enhanced Strobe Correlator*” (GARIN et al., 1997). Essa técnica tem importância no presente trabalho por estar implementada nos receptores Ashtech ProMark2.

2.2.1.2.2 Baseadas na forma de determinação da distância receptor-satélite

A forma mais consagrada deste grupo de técnicas baseia-se no fato de usar a quantificação precisa da variação da pseudodistância determinada através das medidas da fase da portadora para gerar medidas de pseudodistâncias receptor-satélite bem mais precisas que aquelas derivadas de código simples. A grande vantagem desta técnica é a operacionalidade, pois não depende da resolução de ambigüidades. A forma original foi proposta por Hatch (1982) a serviço da Leica, a qual não patenteou a mesma. Ela foi aperfeiçoada posteriormente por Lachapelle et al. (1986) e Westrop et al. (1990). Segundo Seeber (2003), a técnica passou a apresentar melhores resultados após a desativação do AS em 1° de maio de 2000. Segundo Bisnath (2002),

posicionamentos absolutos são possíveis com alta precisão usando-se uma combinação de código suavizado com órbitas precisas. A figura 2 ilustra a situação intermediária em termos de precisão entre as pseudodistâncias originadas por fase e as mesmas originadas das medidas de código.

Figura 2: Pseudodistância suavizada pela portadora.



Fonte: SEEBER, (2003, p. 296).

Descreve-se a seguir o desenvolvimento matemático dessa técnica apresentada por Hofmann-Wellenhof (2001), Seeber (2003) e Farret (2003).

Imaginando-se um receptor de dupla frequência, pode-se obter as distâncias por código $R_{L1}(t_1)$ e $R_{L2}(t_1)$ (passadas para ciclos através da divisão pelo comprimento de onda λ) bem como as distâncias por fase das portadoras $\phi_{L1}(t_1)$ e $\phi_{L2}(t_1)$. Para a época t_1 nas distâncias por código e no sinal “wide lane”, pode-se obter a combinação:

$$R(t_1) = \frac{f_{L1} R_{L1}(t_1) - f_{L2} R_{L2}(t_1)}{f_{L1} + f_{L2}} \quad (2)$$

E, para as distâncias por fases das portadoras, pode-se obter a combinação:

$$\phi(t_1) = \phi_{L1}(t_1) - \phi_{L2}(t_1) \quad (3)$$

Extrapolando-se combinações do tipo (2) e (3) para todas as demais épocas além da primeira, podem-se formar valores extrapolados de distância por código:

$$R(t_i)_{ex} = R(t_1) + [\phi(t_i) - \phi(t_1)] \quad (4)$$

O valor suavizado é obtido:

$$R(t_i)_{suav} = \frac{1}{2} [R(t_i) + R(t_i)_{ex}] \quad (5)$$

Usando-se as expressões anteriores pode-se formular um algoritmo recursivo (solucionável por etapas) para uma época t_i em relação à época anterior t_{i-1} :

$$\begin{aligned} R(t_i) &= \frac{f_{L1} R_{L1}(t_i) - f_{L2} R_{L2}(t_i)}{f_{L1} + f_{L2}} \\ \phi(t_i) &= \phi_{L1}(t_i) - \phi_{L2}(t_i) \\ R(t_i)_{ex} &= R(t_{i-1})_{suav} + [\phi(t_i) - \phi(t_{i-1})] \\ R(t_i)_{suav} &= \frac{1}{2} [R(t_i) + R(t_i)_{ex}] \end{aligned} \quad (6)$$

o qual considera a condição inicial $R(t_1) = R(t_1)_{ex} = R(t_1)_{suav}$ para $i)1$, onde pressupõem um sistema livre de erros grosseiros, o que não é o caso das medidas de fase que são sujeitas a perdas de contagem de ciclos (“*cicle slips*”). Isso é resolvido através da seguinte expressão:

$$R(t_i)_{suav} = \omega R(t_i) + (1 - \omega) [R(t_{i-1})_{suav} + \phi(t_i) - \phi(t_{i-1})] \quad (7)$$

onde ω = fator de peso dependente do tempo. Para a primeira época $i = 1$ este fator vale 1, conferindo peso máximo às distâncias por código. Para as épocas seguintes este valor é continuamente reduzido de forma a aumentar o peso das medidas de fase. Uma estimativa desse fator de redução é dado por Lachapelle et al. (1986) como sendo de 0,01 de uma época para outra para casos cinemáticos com intervalo de amostragem de dados de 1 Hz. Isso significa que, após 100 segundos somente os valores suavizados da época anterior serão considerados, com pesos máximos para fase. Se ocorrer perda de ciclo (o que pode ser detectado pelo produto de duas épocas consecutivas do valor Doppler e o intervalo de tempo) o valor de ω é novamente configurado para 1 (peso total nos códigos) eliminando o peso das medidas de fase para aquele instante, eliminando a influência daquela perda de ciclos nas medidas de distância e reiniciando o processo, com erros maiores nesse momento. Logo, a exigência é que a perda de ciclo seja detectada, não sendo necessária a sua correção, o que é automaticamente solucionado pelo algoritmo. Este é um aspecto fundamental para o sucesso dessa tecnologia em ambientes de difícil rastreamento, sujeitos a multicaminho, onde ocorrem freqüentes quedas de ciclos.

Pode-se auferir desse fato, que um tempo de tomada de dados de 100 segundos com intervalo entre épocas de um segundo (1,7 minutos de tempo de rastreamento), seria o suficiente para atingir a máxima qualidade possível na posição. Mas isso somente será correto se não houver perda na medida da fase. Segundo Farret et al. (2005), este tempo é de 2,5 minutos (150 segundos). A explicação para essa necessidade de um tempo maior pode estar na necessidade de um tempo de tomadas de medidas com máxima precisão para possibilitar a estatística (média) das medidas. Ainda assim existe a necessidade de verificar o comportamento do sistema se, durante essa tomada de tempo extra houver a queda nas medidas de fase. Nesse caso, o peso do código voltará ao máximo, mas qual a influência das medidas feitas até então com precisão máxima? No presente trabalho buscou-se essa resposta pela quantificação dessas quedas em um ambiente real de trabalho, aproximando-se gradativamente o receptor do refletor principal (mato) e contando as quedas de ciclos, as quais foram relacionadas com a acurácia obtida por código suavizado em cada ponto.

Deve-se ter em mente, em relação às combinações, que o ruído nelas nunca é inferior às observáveis originais que entraram em sua formação.

2.3 A Atenuação do multicaminho no receptor Leica GS20

Os mais modernos receptores da Leica, como o GS20, um dos objetos da presente pesquisa, são dotados da tecnologia de atenuação do multicaminho chamada pela empresa fabricante de *ClearTrak™*.

Essa tecnologia é baseada na técnica de filtragem das medidas de distância por código pelas medidas de fase das ondas portadoras (item 2.2.1.2.2.), e também em tecnologias de antenas especiais (item 2.2.1.1.1.).

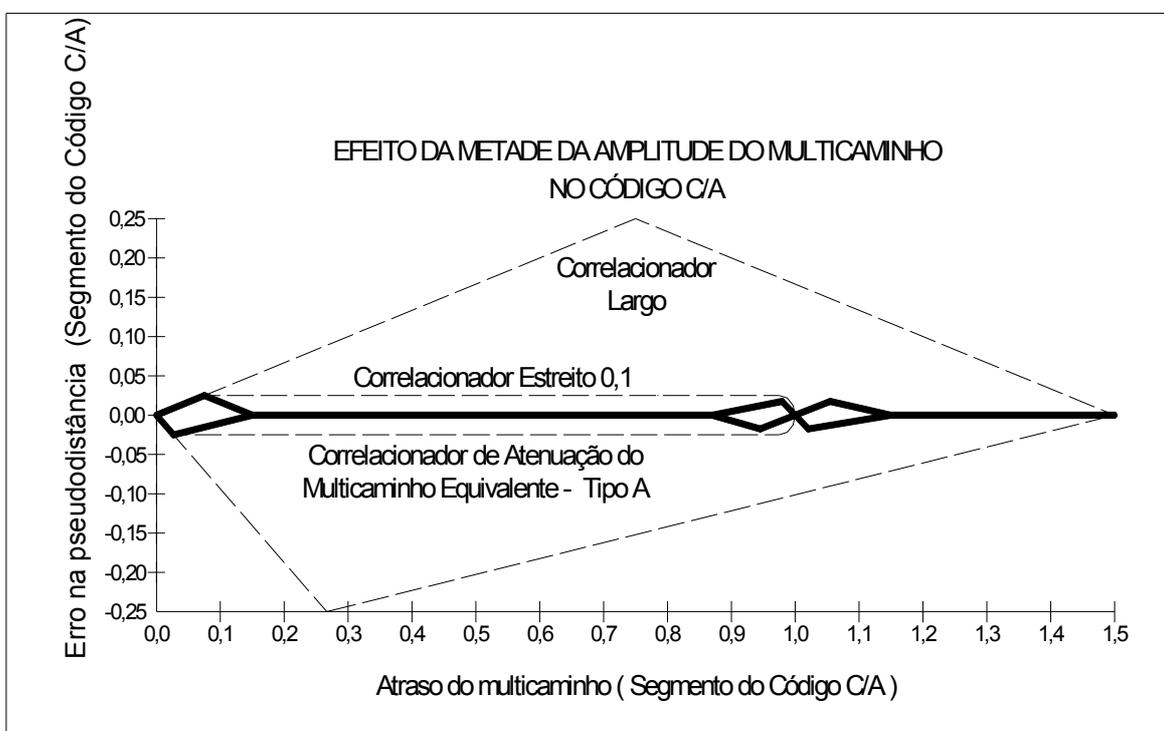
A empresa não apresenta maiores detalhes técnicos de como são implementadas de forma específica essas tecnologias em seus receptores, mas cita a implementação de uma tecnologia de rastreamento ("*tracking*") dos sinais em nível de DLL ("*Delay Lock Loop*") e PLL ("*Phase Lock Loop*") que, ainda segundo a empresa fabricante, proporciona ganhos significativos na atenuação do multicaminho e ruído, com reflexo em coordenadas com maior precisão e acurácia.

Essas novas metodologias de atenuação do multicaminho foram desenvolvidas, com propósitos comerciais de utilização em seus receptores, por Hatch, Keegan e Stansell (1998). Eles começaram a apresentar resultados dessas novas técnicas para atenuação do multicaminho no código e uma para o multicaminho na fase. Elas foram chamadas de Correlacionador de Atenuação do Multicaminho Leica Tipo A (*Leica Type A Multipath Mitigation Correlator*), Correlacionador de Atenuação do Multicaminho Leica Tipo B (*Leica Type B Multipath Mitigation Correlator*) e Atenuador do Multicaminho na Fase (*Phase Multipath Mitigation*). Como estes dois últimos apresentam evolução em relação ao primeiro, em 1999 foi apresentada a técnica chamada simplesmente Correlacionador de Atenuação de Multicaminho (*Multipath Mitigation Correlator – MM Correlator*), com capacidade de atenuação do multicaminho e interferências

em código e fase. Todas essas técnicas foram devidamente patenteadas pela Leica.

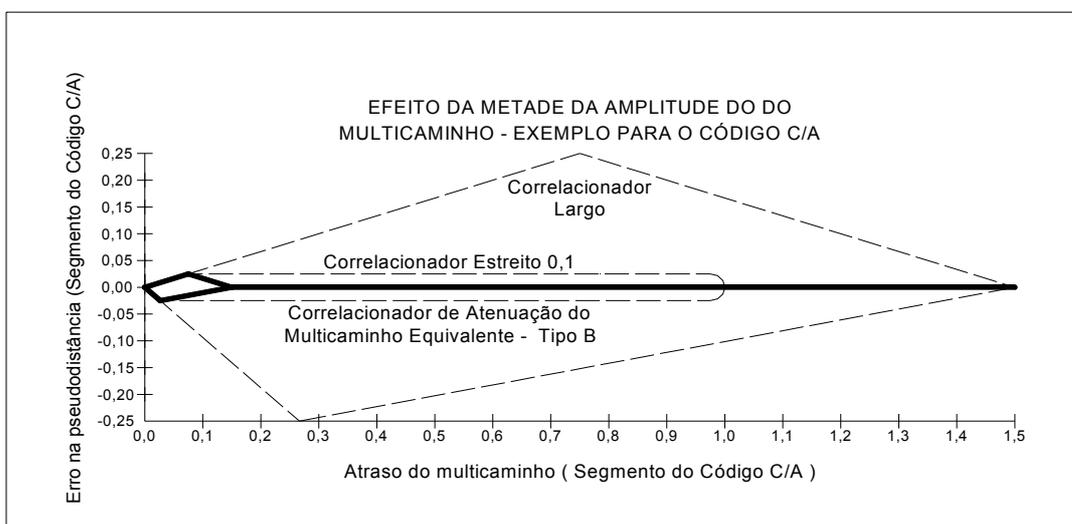
As figuras 3 e 4 mostram os resultados apresentados por Hatch et al. (1998), para essas novas tecnologias, comparando a tecnologia *MM Correlator* com o correlacionador de espaçamento reduzido padrão ("*narrow correlator*") e o correlacionador de espaçamento largo ("*wide correlator*"). O espaçamento usado para o *narrow correlator* é de 10% em relação ao *wide correlator*.

Figura 3: Erro na pseudodistância com o uso dos correlacionadores "narrow" e "wide" no código C/A comparado com o erro na pseudodistância com o uso do correlacionador de atenuação do multicaminho Leica Tipo A.



Fonte: HATCH, KEEGAN e STANSELL (1998, p.15).

Figura 4: Erro na pseudodistância com o uso dos correlacionadores “*narrow*” e “*wide*” no código C/A comparado com o erro na pseudodistância com o uso do correlacionador de atenuação do multicaminho Leica Tipo B.



Fonte: HATCH, KEEGAN e STANSELL (1998, p.15).

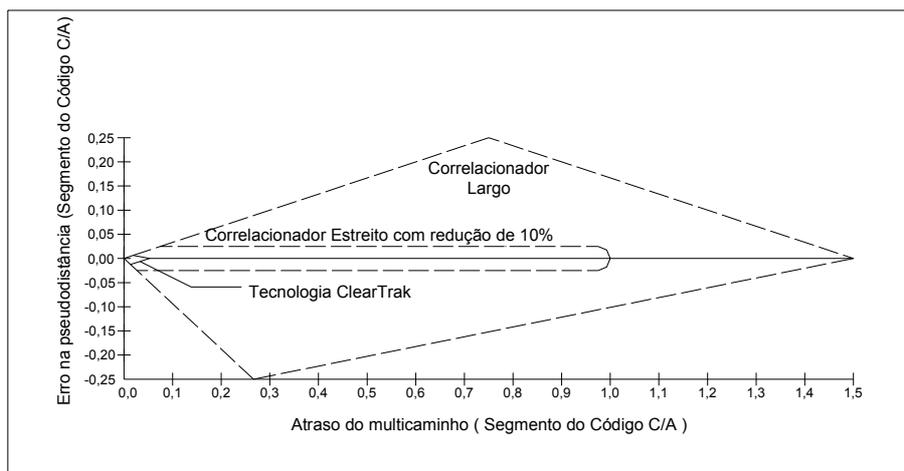
A figura 3 mostra que o erro devido ao multicaminho tende a zero para atrasos maiores que 0,115 segmentos de código C/A, exceto para atrasos de multicaminho entre 0,85 e 1,15, sendo que 1 (um) segmento do código C/A equivale a 300m. Na figura 4 esse efeito residual é eliminado pelo Correlacionador de Atenuação do Multicaminho Leica Tipo B (*Leica Type B Multipath Mitigation Correlator*) e Atenuador de Multicaminho na Fase (*Phase Multipath Mitigation*), para atrasos de multicaminho entre 0,85 e 1,15 segmentos de código C/A.

Assim como o Correlacionador de Atenuação de Multicaminho Leica Tipo B traz melhoras significativas às medidas por código, o Atenuador de Multicaminho na Fase o faz em relação às medidas por fase. Isso ocorre porque sinais de multicaminho com atrasos muito curtos afetam significativamente a acurácia nas medidas de fase da portadora, o que não ocorre em relação aos atrasos longos (HATCH et al., 1998), conforme apresentado na figura 8.

Segundo Hatch et al. (1998), o Correlacionador de Atenuação do Multicaminho Leica Tipo A (*Leica Type A Multipath Mitigation Correlator*) tem desempenho semelhante ao *Ashtech Strobe Correlator*, como mostrado no item 2.4.

Stansell e Maenpa (1999) apresentaram a tecnologia chamada de *MM Correlator* como uma evolução das tecnologias implementadas até então pela Leica. Esta tecnologia apresenta um erro máximo de $\frac{1}{4}$ em relação aos correlacionadores de espaçamento reduzido de 10% em relação aos correlacionadores de espaçamentos largos. O sinal de multicaminho tem a metade da amplitude do sinal direto o que corresponde a um quarto da potência do sinal direto. Na figura 05, a tecnologia *MM Correlator* é comparada com os correlacionadores padrão “*wide*” e “*narrow*”, sendo o espaçamento deste último de 10% em relação ao “*wide correlator*”. A resposta dos erros na pseudodistância tende a zero para qualquer atraso de multicaminho maior que 0,05 segmento de código C/A (14,7 metros) (STANSELL & MAENPA, 1999).

Figura 5: Erro na pseudodistância com o uso dos correlacionadores “*narrow*” e “*wide*” no código C/A comparado com o erro na pseudodistância com o uso da tecnologia MM Correlator.



Fonte: STANSELL & MAENPA (1999, p. 3).

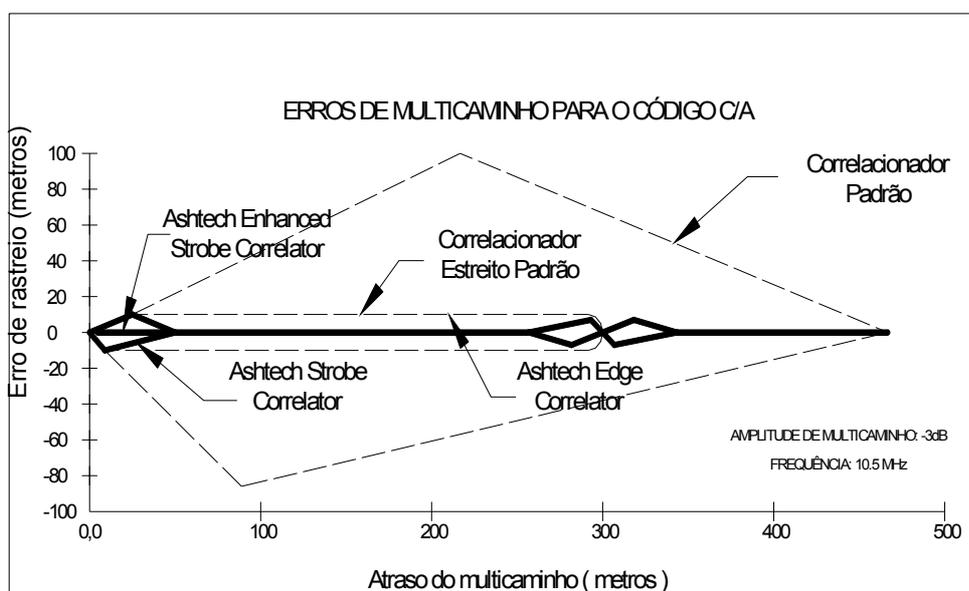
2.4 A Atenuação do multicaminho no receptor ProMark2

Garin & Rousseau (1997) propuseram as tecnologias conhecidas como “*Edge Correlator*” e “*Strobe Correlator*”. Implementadas em receptores da marca Ashtech, elas buscam reduzir os efeitos do multicaminho nas medidas por

código. Mais modernamente, esses mesmos autores propuseram a tecnologia conhecida como “*Enhanced Strobe Correlator*” (ESC), também implementada em receptores Ashtech, como o ProMark2, e evoluída para reduzir o multicaminho não somente nas medidas de código como também nas de fase das portadoras, num trabalho intitulado “*Enhanced Strobe Correlator Multipath Rejection for Code and Carrier*”. Essa tecnologia é uma evolução da “*Strobe Correlator*” que está baseada na combinação de dois correlacionadores de espaçamento reduzido formando uma combinação linear, com resposta para atraso do multicaminho próxima a zero quando a correlação for máxima (GARIN et al., 1997). A tecnologia “*Ashtech Strobe Correlator*” agrupa diferentes combinações lineares de correlacionadores de espaçamento reduzido e estão cobertos por patentes comerciais pela Ashtech.

As figuras 6 e 7 mostram um diagrama de erros de multicaminho no código C/A com o uso das técnicas da Ashtech em comparação com os correlacionadores padrão.

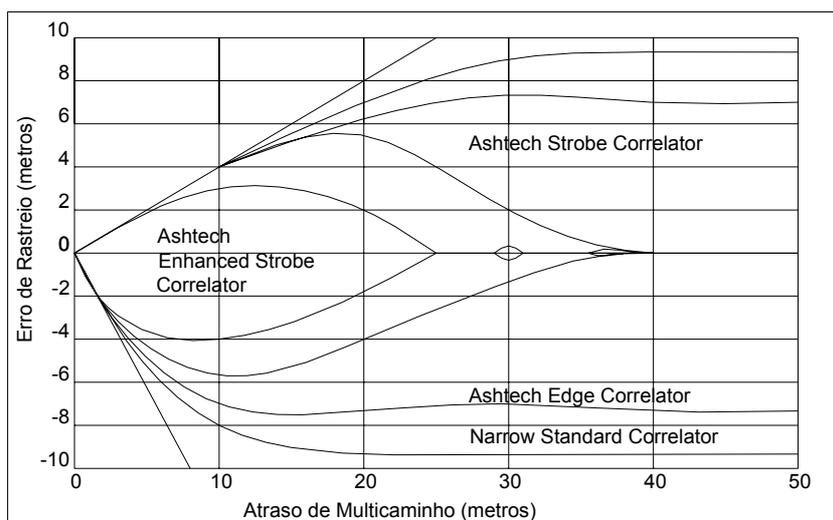
Figura 6: Erros de multicaminho no rastreo do código com a tecnologia Ashtech de rejeição de multicaminho comparado com correlacionadores padrão.



Fonte: GARIN et al. (1997).

A figura 7 apresenta o diagrama com *Ashtech Enhanced Strobe Correlator* em comparação com as demais técnicas Ashtech e com os correlacionadores padrão, mostrando os erros de rastreamento do código para atrasos curtos, ou seja, que envolvem segmentos pequenos do código.

Figura 7: Erros de rastreamento do código para atrasos curtos.

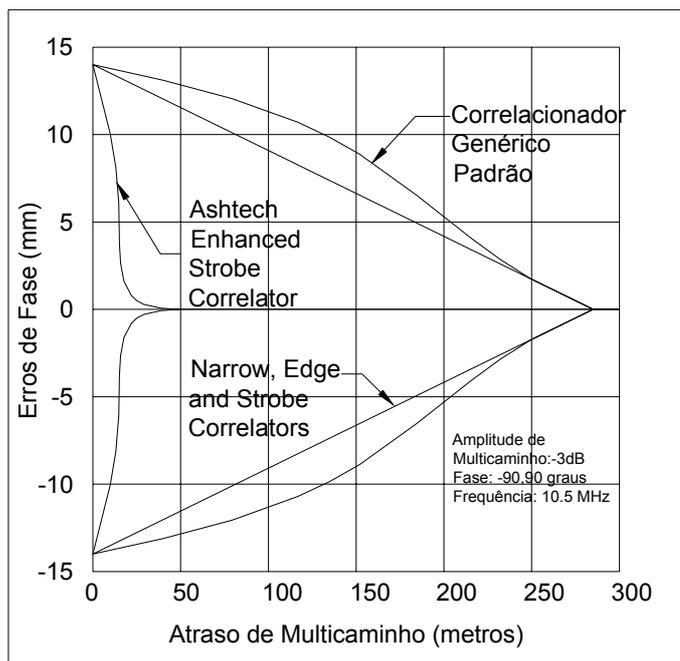


Fonte: GARIN et al. (1997).

De acordo com a figura 7, o erro devido ao multicaminho é de aproximadamente 24 metros (80 ns) com erro de rastreamento de 3,5 metros na pseudodistância, apresentando um desempenho, para a técnica *Enhanced Strobe Correlator*, melhor que aqueles obtidos pelo código P/Y (GARIN et al., 1997).

Garin et al. (1997) mostra que, com a técnica *Enhanced Strobe Correlator*, os erros devidos ao multicaminho no rastreamento da portadora tendem a zero para atrasos maiores que 40 metros, como mostrado na figura 8.

Figura 8: Erros de multicaminho no rastreo da portadora.



Fonte: GARIN et al. (1997).

Segundo Garin et al. (1997), uma tecnologia de rejeição de multicaminho de código e fase demonstra ser mais eficiente quando combinados, do que aplicadas separadamente, pois um melhor rastreo do código se faz necessário para posicionar os correlacionadores de rastreo da fase da portadora no ponto de desempenho ótimo.

O presente trabalho analisa o desempenho da tecnologia “*Enhanced Strobe Correlator*”, implementada nos receptores Ashtech Promark2, em condições crescentes de dificuldades de rastreo, especialmente em ambientes de campo para geomensores (mato e redes elétricas).

3. MATERIAL E METODOLOGIA

3.1 Material

3.1.1 Receptor GPS Leica GS20

O receptor GPS Leica GS20 é um receptor de uma frequência (figura 9) e, na presente pesquisa, foi dotado da antena do tipo AT501 Pole. Apresenta medidas de pseudodistância pelo código C/A suavizadas pelas medidas de fase da portadora L1. Segundo a empresa fabricante, fornece precisão RMS (GEMAEL, 1994) de 1 cm + 2 ppm do comprimento da linha de base para trabalhos relativos, ou seja, com a utilização das fases da portadora L1 com ambigüidades resolvidas, e precisão RMS típica de 30 cm para trabalhos com código suavizado. Neste caso, a distância máxima da linha de base não é explicitada nos manuais. Para fins de georreferenciamento pelo CNIR a empresa informou oficialmente que essa distância é de 250 km. A antena AT 501 é uma antena externa, tanto para trabalhos com fase como por código, projetada para dar alta precisão às medidas, o que não ocorre quando do uso da antena interna.

Figura 9: Receptor Leica GS20.



Fonte: Leica Geosystems (2004).

3.1.2 Receptor GPS Ashtech Promark2

O receptor GPS Ashtech Promark2 é um receptor de uma frequência e, na presente pesquisa, foi dotado de antena do tipo ProAntenaTM. Segundo o manual do fabricante, a precisão horizontal (RMS) é de 0,005 metros + 1 ppm e vertical de 0,010 metros + 2 ppm para trabalhos com fase. A precisão de Navegação (RMS) é melhor que 3 metros com antena externa utilizando o sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*).

Figura 10: Receptor Ashtech ProMark2 com antena do tipo ProAntena.



Fonte: Thales Navigation (2004).

3.1.3 Receptor GPS Trimble 4000SSI

O receptor GPS Trimble 4000SSI é um receptor de duas frequências pertencente à estação SMAR (Santa Maria, RS) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), localizada no interior do *campus* da UFSM. O mesmo é equipado com antena do tipo “*choke ring*”, Dorne Margolin T.

3.1.4 Estação total Leica TC307

A estação total Leica TC307 é um taquímetro eletrônico com memória interna e precisão de leitura angular de 7 segundos de arco e precisão de medida eletrônica de distância de 1 mm + 1 ppm da distância medida. Ela foi usada para

determinar as coordenadas dos pontos de teste dos receptores GPS. O uso de uma estação total se justifica porque esses pontos se encontram em localização de forte multicaminho e interferência elétrica.

3.1.5 Programas de computador

Usaram-se os programas comerciais específicos de cada equipamento utilizado na pesquisa, ou seja, Ashtech Solutions 2.6 (Ashtech) e GisDataPro 3.0 (Leica), além do programa FM Geodésico (elaborado no Setor de Geodésia da UFSM).

3.1.6 Equipamentos de informática

Computadores e periféricos da estrutura do Setor de Geodésia e do Laboratório de Geomática do CCR.

3.2 Metodologia

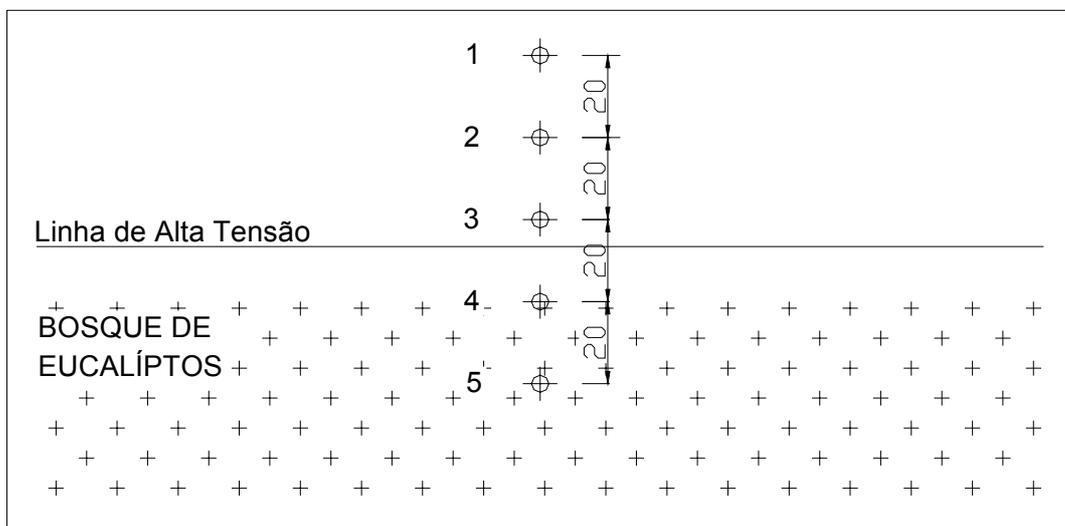
A metodologia constou da utilização dos receptores Promark2 e GS20 em condições representativas da realidade de campo dos profissionais que utilizam esses equipamentos para realizar levantamentos que objetivem a certificação segundo a Lei 10267/2001. Avaliaram-se condições crescentes de dificuldade na recepção do sinal, aplicando-se redundância capaz de gerar parâmetros estatísticos (desvio-padrão, acurácia) que permitam analisar o desempenho das metodologias de atenuação do multicaminho implementadas nos receptores estudados. A configuração deles seguiu a recomendação do

fabricante e a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2004). O receptor GS20 foi testado nas duas configurações possíveis de trabalho segundo a Norma, ou seja, com código suavizado e com fase, enquanto que o receptor Promark2 somente apresenta a possibilidade de trabalhar com fase. Cada condição de campo teve 30 repetições, possibilitando a formação da estatística para cada ponto, bem como em dois dias consecutivos, por questões de confiabilidade. Os pontos foram rastreados por ambos receptores em semelhança de condições, isto é, o rastreo dos pontos foi realizado em dias consecutivos mas nos mesmos horários. Procurou-se obedecer a defasagem diária de 3 minutos e 56 segundos em cada ponto para poder extrair o sinal do multicaminho pela repetibilidade diária (FARRET, 2000). Em todos os casos, a correção foi feita utilizando-se a base SMAR da RBMC.

3.2.1 Cenário do experimento

Os pontos de teste estão localizados relativamente próximos a um bosque de eucalipto com altura em torno de 20 metros e com uma rede elétrica de alta tensão na borda do bosque. Esses pontos, em número de 5 (cinco), estão em linha perpendicular ao bosque e, por conseguinte, à linha de energia elétrica de alta tensão, a distâncias de 20 metros entre si, como mostra a figura 11. Essa localização configura pontos em situação de multicaminho e interferência muito baixa ou quase inexistente até situações onde esses fatores são bastante fortes.

Figura 11: Croqui dos pontos levantados.



As coordenadas desses pontos de referência foram tomadas como verdadeiras e mostradas nos gráficos de dispersão das repetições em cada ponto, para o receptor GS20 a partir da página 31 e para o receptor ProMark2 a partir da página 38.

3.2.2 Levantamento dos pontos de teste

As coordenadas desses pontos de referência foram determinadas a partir de medidas realizadas com a estação total Leica TC307. Tomou-se como base quatro pontos de apoio localizados no interior do *campus* da UFSM, com saída e chegada em pares distintos desses pontos, para verificação da qualidade do transporte de coordenadas, na forma de azimute, inclusive. Para o cálculo desse transporte de coordenadas no elipsóide usaram-se as fórmulas de Puissant, com precisão de 0,002 segundos de arco para distâncias de até 100 km. Esses cálculos foram processados no programa FM Geodésico, desenvolvido no setor de Geodésia do DER/UFSM. As coordenadas assim resultantes foram utilizadas

nos cálculos de acurácia em cada ponto, cuja forma de cálculo foi semelhante ao desvio-padrão, diferindo apenas pelo uso do valor tomado como verdadeiro (no caso da acurácia) e pelo uso da média (no caso do desvio-padrão).

3.2.2.1 Estatística utilizada

3.2.2.1.1 Média aritmética

Para uma grandeza x sobre a qual efetuou-se uma série de n observações, cujas características apresentam o mesmo grau de confiança, resultando um conjunto de n observações (l_1, l_2, \dots, l_n) .

A média aritmética é expressa pela fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (8)$$

3.2.2.1.2 Desvio padrão

A estimativa da precisão é dada pelo desvio padrão $\hat{\sigma}_x$ que é uma medida de dispersão, expressa por:

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

O desvio padrão da média aritmética ($\hat{\sigma}_{\bar{x}}$) é dado por:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}_x}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

3.2.2.1.3 Acurácia

A acurácia para cada ponto é dada em função da coordenada verdadeira do mesmo e é expressa da seguinte forma:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (l_i - l_v)^2} \quad (11)$$

onde l_v é a coordenada verdadeira do ponto considerado.

3.2.3 Levantamentos com GS20

Este receptor apresenta a possibilidade de uso das observáveis fase ou código suavizado. Ambas as formas se enquadram nas condições de uso determinadas pela Norma no item 4.5.3.3, GPS3, página 24. Para os trabalhos com fase, usou-se 2,5 minutos de duração da sessão em cada ponto após inicialização estática no ponto 1 (mais longe das fontes de multicaminho e interferência elétrica) e com intervalo entre épocas de 1 (um) segundo. A diferença básica em relação à ocupação por código suavizado é que, neste caso, não exige a inicialização estática, mas a duração da sessão em cada ponto foi a mesma. O ângulo de corte foi de 15° e o PDOP variou de 2,5 à 5,0. Para o GS20 somente foi realizada a estatística para o levantamento dos pontos com código suavizado, por ter maiores conseqüências em termos de resultados do que com fase, onde a conseqüência principal do multicaminho é prejudicar a fixação das ambigüidades as quais, uma vez fixadas, praticamente garantem a ocorrência da precisão nominal do instrumento. Por esse motivo, para os trabalhos com fase,

procurou-se apenas verificar a ocorrência de perdas de ciclos em relação à aproximação das fontes refletoras principais, isto por que, as perdas de contagem das fases têm influência na qualidade das medidas feitas com código suavizado (item 2.2.1.2.2).

Para identificação dos 5 (cinco) pontos, nos 2 (dois) dias em seqüência, utilizou-se a nomenclatura conforme quadro abaixo, exemplificando-se com os pontos 1 e 2:

PONTO	1	2	3	4	5
NOME	GS1	GS2	GS3	GS4	GS5
DIA	1	2			
NOME	1D	2D			
MRE	MATO E REDE ELÉTRICA				
Como exemplo tem-se:					
PONTO	1		2		
DIA	1		2		
NOME	GS1MRE1D		GS2MRE2D		

Quadro 1 - Nomenclatura dos pontos com GS20

3.2.4 Levantamentos com ProMark2

O tempo de ocupação foi de 2,5 minutos com intervalo entre épocas de 1 (um) segundo. Como este equipamento somente se enquadra na Norma Técnica usando as fases das portadoras, procedeu-se a inicialização estática do mesmo, conforme recomendação do fabricante. Essa inicialização foi feita através de 10 minutos de coleta de dados no ponto número 1 (mais afastado do mato). No contexto do fabricante, segundo as especificações técnicas do receptor, este tipo de posicionamento recebe a denominação *stop and go* (THALES NAVIGATION, 2004), mas não exige reocupação de pontos, como definido na Norma com essa terminologia. Portanto, no contexto da Norma, os trabalhos com Promark2 se

enquadram como GPS3, como definido no item 4.5.3.3, na página 24 tanto no modo estático quanto no de cadeia cinemática, e não como rápido estático (item 4.5.3.5.1) nem como pseudo-estático (item 4.5.3.5.2).

O ângulo de corte foi de 15°, com PDOP variando de 1,5 a 5,0 à medida que as condições do rastreo pioravam, havendo casos de perda de rastreo do número mínimo de satélites (4).

Para identificação dos 5 (cinco) pontos, nos 2 (dois) dias em seqüência, utilizou-se a nomenclatura conforme quadro abaixo, exemplificando-se com os pontos 1 e 2:

PONTO	1	2	3	4	5
NOME	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
DIA	1	2			
NOME	1D	2D			
MRE	MATO E REDE ELÉTRICA				
Como exemplo temos:					
PONTO	1		2		
DIA	1		2		
NOME	PM1MRE1D		PM2MRE2D		

Quadro 2 - Nomenclatura dos pontos com Promark2.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Resultados com GS20

4.1.1 Perdas de ciclos

As medidas de fase aconteceram sem perdas na contagem dos ciclos do ponto 1 ao ponto 3, distantes 60, 40 e 20 metros do refletor principal, respectivamente. Elas somente ocorreram durante o deslocamento para o ponto 4, que fica entre o mato de pinus e a rede de alta tensão, tendo levado cerca de 1 (um) minuto após a chegada ao ponto 4 para ficar com número de satélites abaixo do mínimo para o rastreamento, ficando com 3 a 4 satélites, alternadamente. No pós-processamento relativo, as ambigüidades foram fixadas até esse momento, após o que não mais foi possível obter posição satisfatória com os tempos de permanência testados.

4.1.2 Posicionamento com código suavizado

No quadro 3 é apresentada a estatística de cada ponto, sendo que elas foram calculadas a partir das coordenadas UTM em SAD69, tomadas como verdadeiras conforme a tabela 1.

Ponto

Coordenadas

	E	N	H
1	237276,40318213	6709057,2899917	110,452407
2	237279,40418660	6709037,6407323	110,625542
3	237282,53310800	6709018,0024875	110,371018
4	237285,55484729	6708998,3573440	109,864796
5	237288,58766890	6708978,8042258	110,026933

Tabela 1: Coordenadas UTM em SAD69 dos pontos de referência.

Pontos	Desvio Padrão	Desvio Padrão	Acurácia	Acurácia	Acurácia
	da coord. Este σ_E (m)	da coord. Norte σ_N (m)	da coord. Este σ_E (m)	da coord. Norte σ_N (m)	Posição 2D (m)
GS1MRE1D	0,1566	0,1590	0,2152	0,1636	0,2703
GS1MRE2D	0,1784	0,1631	0,3002	0,1812	0,3507
GS2MRE1D	0,1330	0,1948	0,2593	0,2008	0,3279
GS2MRE2D	0,1315	0,2101	0,2606	0,2113	0,3355
GS3MRE1D	0,1409	0,2045	0,1441	0,3009	0,3336
GS3MRE2D	0,2154	0,2205	0,2266	0,2274	0,3210
GS4MRE1D	1,0185	1,1170	1,0777	2,1170	1,9967
GS4MRE2D	0,7629	0,8829	0,8367	0,8880	1,2201
GS5MRE1D	1,5702	1,5802	1,5772	1,7067	2,3239
GS5MRE2D	1,1895	1,2642	1,2183	1,2666	1,7574

Quadro 3 - Resultados Obtidos no Levantamento da Área Teste com o receptor GS20

A comparação entre o desvio-padrão em E e em N com as respectivas acurácias, demonstram valores sistematicamente maiores para essas últimas em todos os pontos, o que indica a presença de efeitos sistemáticos nas medidas que não podem ser atribuídos somente ao multicaminho, pois permanecem com pouca variação mesmo com a aproximação aos refletores. Uma indicação segura da magnitude desses efeitos sobre as coordenadas pode ser dada pela distância entre o desvio-padrão total (colunas 2 e 3) e a acurácia (coluna 6).

Para melhor visualização da dispersão das repetições de cada ponto relativamente ao valor verdadeiro (coordenada verdadeira), e tendo em vista o limite de 0,5 m a partir dele imposto pela Lei 10267/2001, as figuras a seguir ilustram essa dispersão. Os pontos são enumerados do mais distante do bosque (ponto 1) para o mais interno a ele (ponto 5), conforme figura 11.

Figura 12: Dispersão das coordenadas no ponto GS1MRE1D.

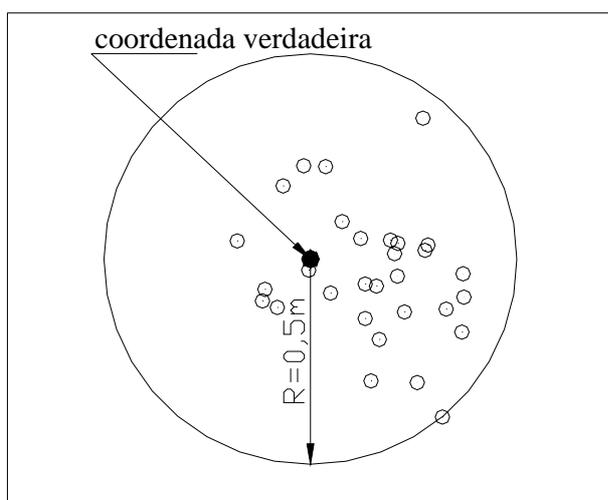


Figura 13: Dispersão das coordenadas no ponto GS1MRE2D.

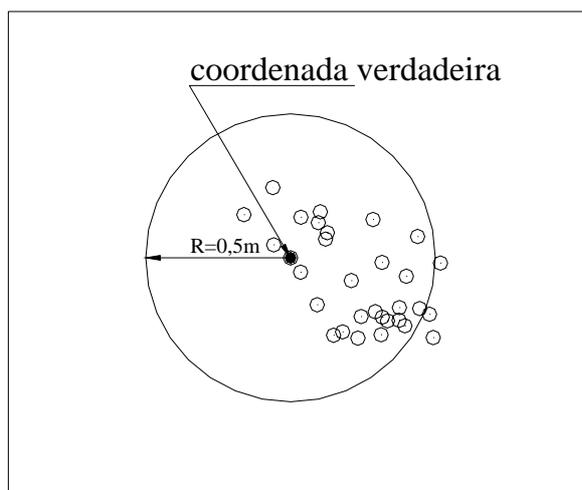


Figura 14: Dispersão das coordenadas no ponto GS2MRE1D.

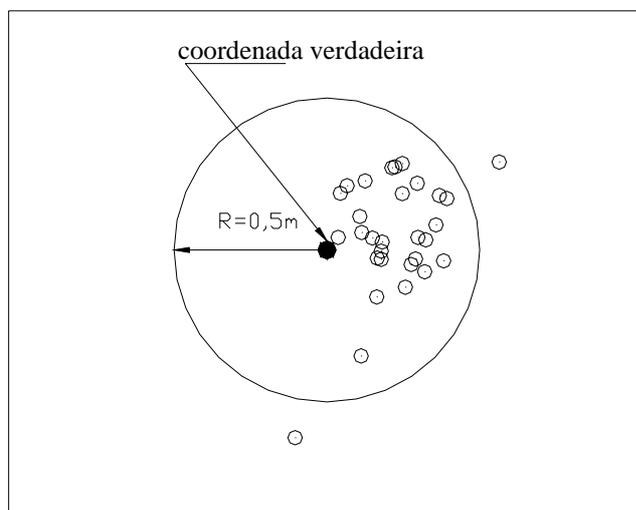


Figura 15: Dispersão das coordenadas no ponto GS2MRE2D.

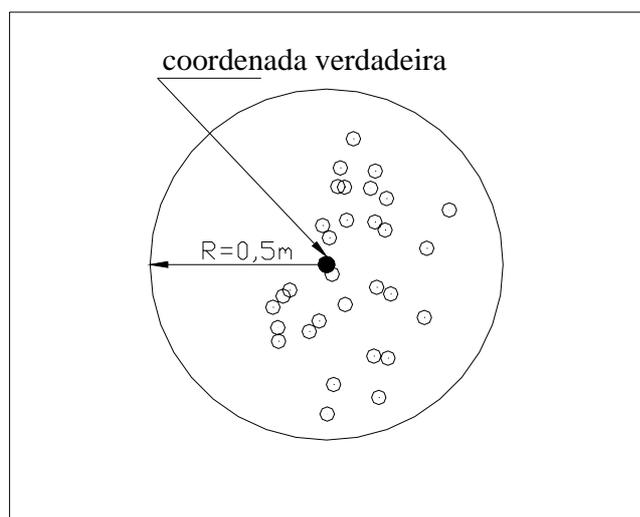


Figura 16: Dispersão das coordenadas no ponto GS3MRE1D.

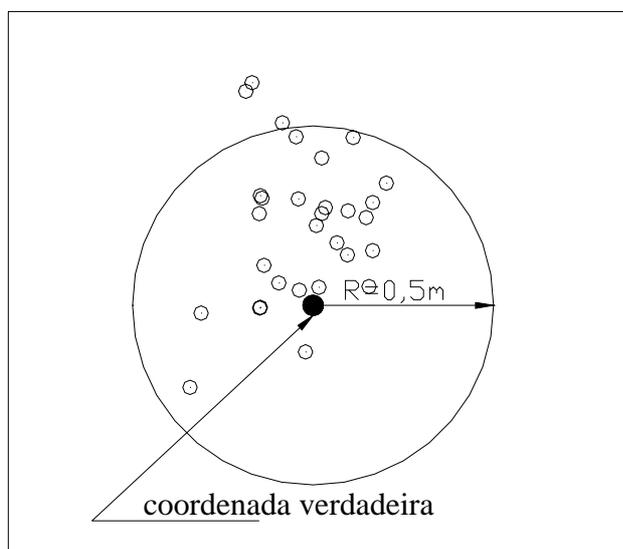


Figura 17: Dispersão das coordenadas no ponto GS3MRE2D.

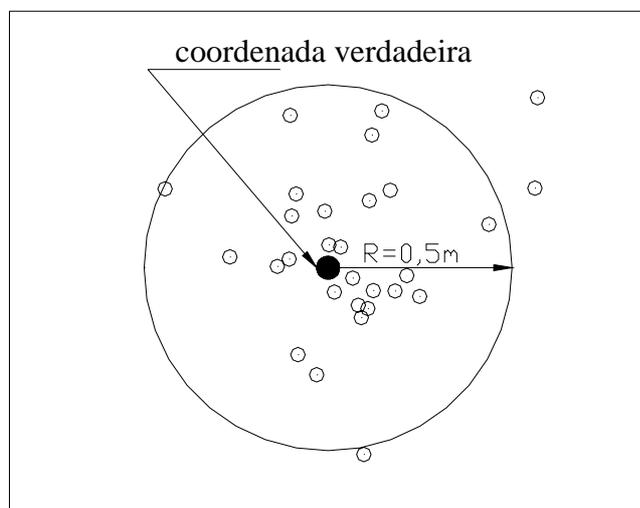


Figura 18: Dispersão das coordenadas no ponto GS4MRE1D.

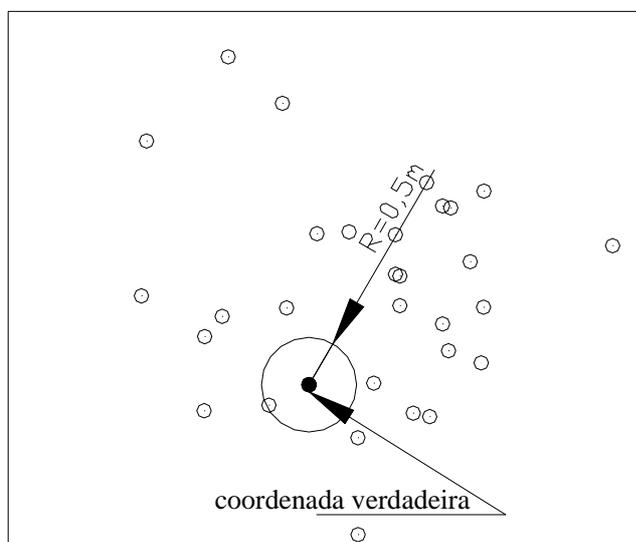


Figura 19: Dispersão das coordenadas no ponto GS4MRE2D.

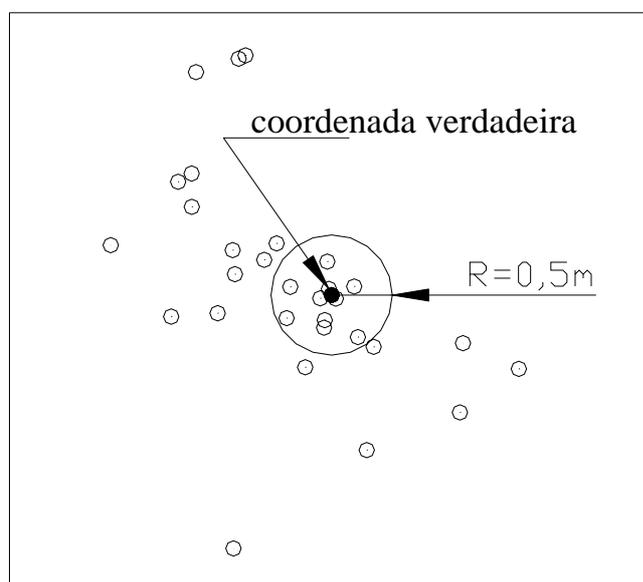


Figura 20: Dispersão das coordenadas no ponto GS5MRE1D.

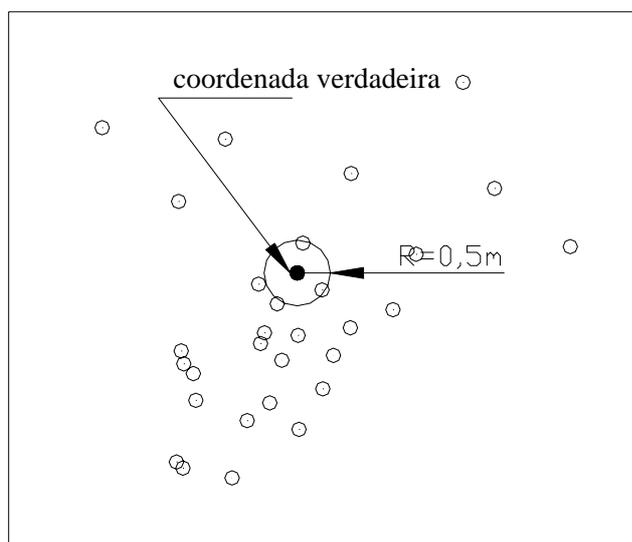
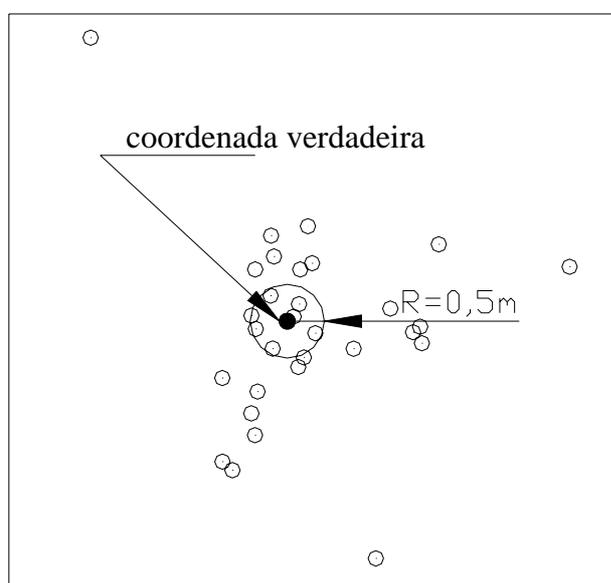


Figura 21: Dispersão das coordenadas no ponto GS5MRE2D.



A verificação das figuras 12 a 21 mostra os efeitos sistemáticos apontados no quadro 3, na medida em que mostram tendências de posicionamento dos pontos em uma determinada região em relação ao valor

verdadeiro. O maior efeito do multicaminho e de eventuais ruídos podem ser percebidos com bastante clareza sobre o desvio-padrão onde, nos pontos sujeitos a multicaminho mais intenso, a dispersão é significativamente maior, apresentando maiores valores para a acurácia (pontos GS4MRE1D, GS4MRE2D, GS5MRE1D e GS5MRE2D).

4.2 Resultados com Promark2

No quadro 4 é apresentada a estatística de cada ponto, tendo as mesmas sido calculadas a partir das coordenada UTM em SAD69.

Pontos	Desvio Padrão da coord. Este σ_E (m)	Desvio Padrão da coord. Norte σ_N (m)	Acurácia da coord. Este σ_E (m)	Acurácia da coord. Norte σ_N (m)	Acurácia Posição 2D (m)
PM1MRE1D	0,0014	0,0016	0,0472	0,0195	0,0511
PM1MRE2D	0,0021	0,0021	0,0435	0,0235	0,0494
PM2MRE1D	0,0013	0,0025	0,0500	0,0218	0,0545
PM2MRE2D	0,0027	0,0033	0,0622	0,0377	0,0727
PM3MRE1D	0,0067	0,0071	0,0537	0,0384	0,0660
PM3MRE2D	0,0131	0,0088	0,0479	0,0384	0,0614
PM4MRE1D	3,8983	0,9199	4,8252	0,9905	4,9258
PM4MRE2D	2,3449	1,8727	3,5715	1,9515	4,0699
PM5MRE1D	11,4597	15,4184	11,9448	15,8298	19,8308
PM5MRE2D	9,5196	11,8835	9,9966	12,7602	16,2097

Quadro 4 - Resultados Obtidos no Levantamento da Área Teste com o receptor ProMark2

O quadro 4 indica diferença mais significativa entre precisão e acurácia do que no caso do GS20, embora as magnitudes dos erros sejam significativamente menores em relação àquele, pelo fato do trabalho ser realizado

somente com fase. Nesse caso, os desvios em relação à média são muito menores do que em relação ao valor verdadeiro. A maior evidência da presença de multicaminho continua sendo o aumento do desvio-padrão, salientando-se os casos em que o multicaminho é forte, quando esse parâmetro assume valores totalmente incompatíveis com aplicações da Lei 10267/2001 Salienta-se que, para efeito dessa pesquisa, efeitos de atenuação pura do sinal não foram considerados como prejudiciais à qualidade da posição, uma vez que a mesma tenha sido obtida.

Embora o aumento do desvio-padrão possa ser atribuído em parte a outras fontes como a atenuação do sinal (relação sinal/ruído) devido a cobertura vegetal, levou-se em consideração apenas os efeitos do multicaminho segundo a reflexão dos sinais, pois nesse sentido não houve a distinção do tipo de sinal.

As figuras a seguir ilustram a dispersão das repetições em relação ao valor verdadeiro tendo em vista o limite de 0,5 m mas em escala que não permite a representação do limite de 0,5 m nos pontos 1, 2 e 3, devido à pequena magnitude dos desvios em relação a esse limite para as condições desses pontos.

Figura 22: Dispersão das coordenadas no ponto PM1MRE1D.

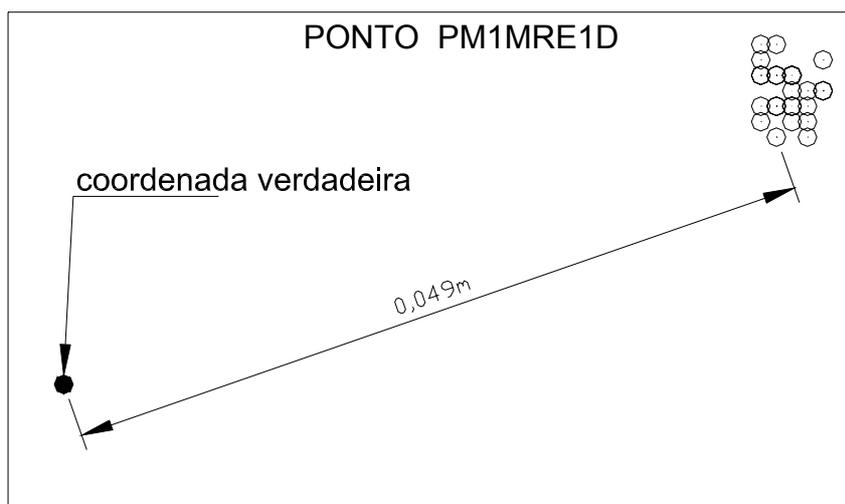


Figura 23: Dispersão das coordenadas no ponto PM1MRE2D.

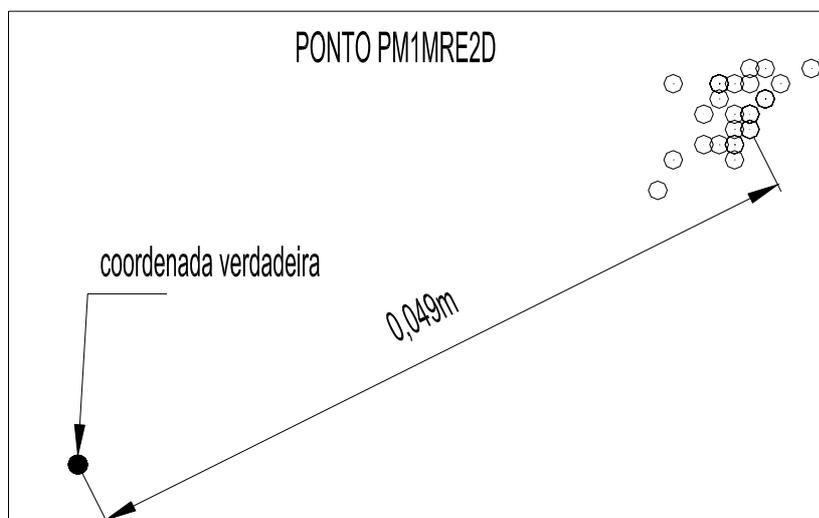


Figura 24: Dispersão das coordenadas no ponto PM2MRE1D.

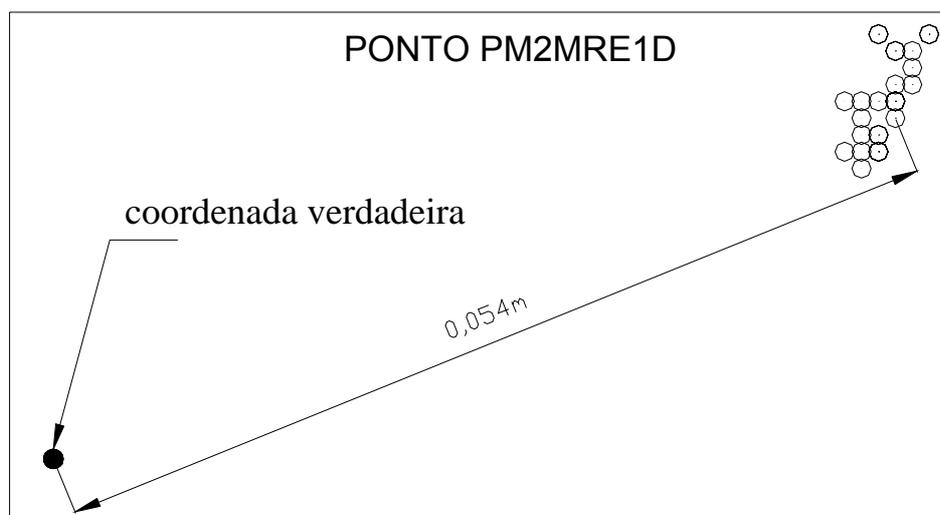


Figura 25: Dispersão das coordenadas no ponto PM2MRE2D.

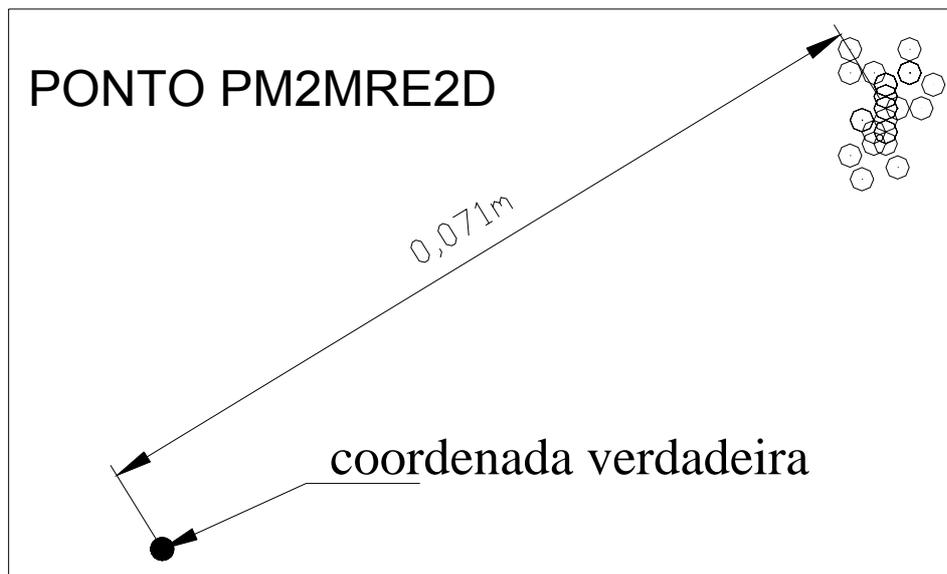


Figura 26: Dispersão das coordenadas no ponto PM3MRE1D.

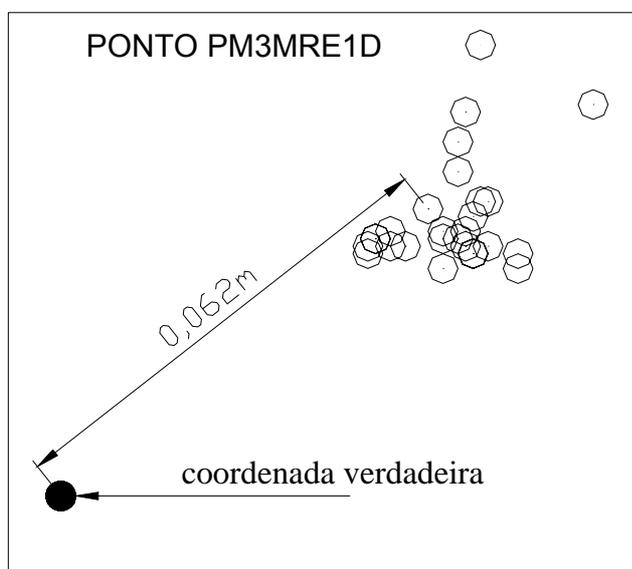


Figura 27: Dispersão das coordenadas no ponto PM3MRE2D.

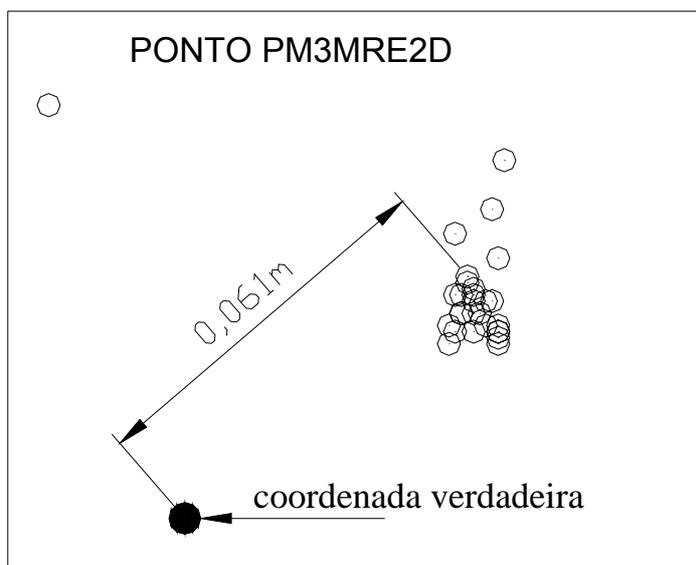


Figura 28: Dispersão das coordenadas no ponto PM4MRE1D.

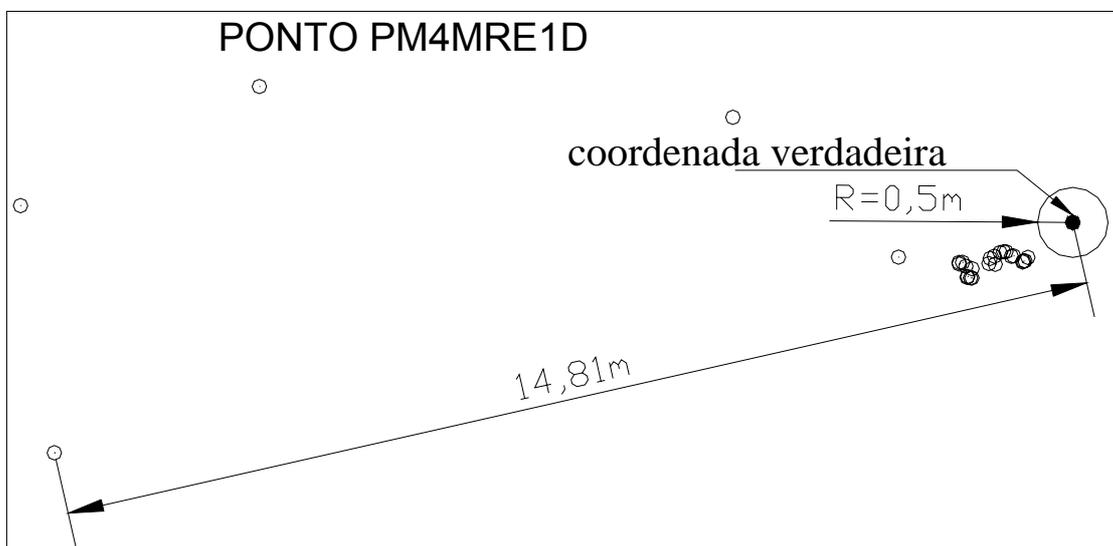


Figura 29: Dispersão das coordenadas no ponto PM4MRE2D.

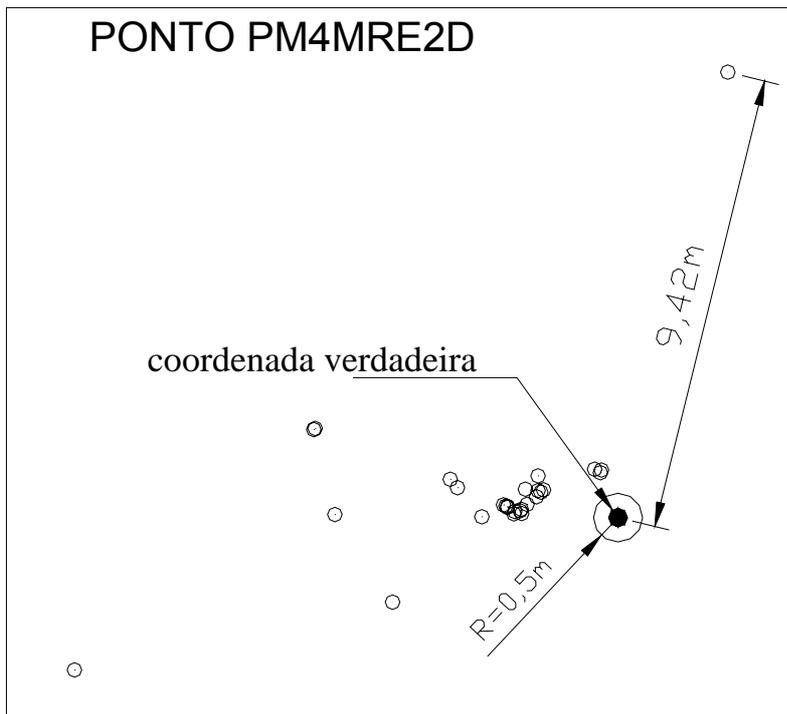


Figura 30: Dispersão das coordenadas no ponto PM5MRE1D.

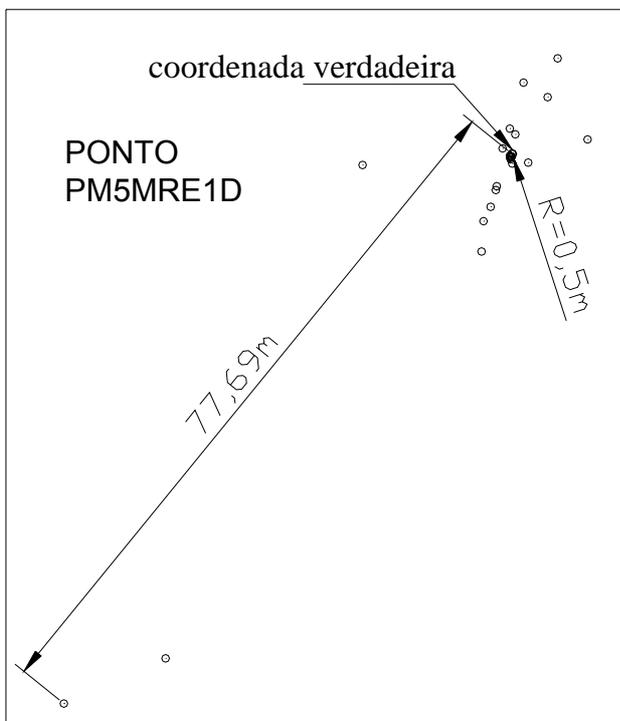
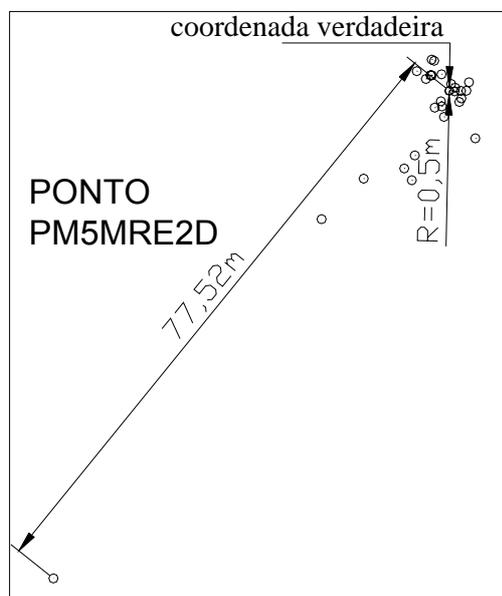


Figura 31: Dispersão das coordenadas no ponto PM5MRE2D.



Nos pontos onde o multicaminho é mais intenso aparecem efeitos significativos sobre o desvio-padrão fornecendo valores elevados, segundo o quadro 4, não obedecendo o nível de acurácia de 0,5m conforme a Norma Técnica, evidenciados na dispersão dos pontos PM4MRE1D, PM4MRE2D, PM5MRE1D e PM5MRE2D, como mostra as figuras 28 a 31.

Observa-se que uma vez perdida a fase, as coordenadas ficam sujeitas a erros de magnitude muito grande, que podem, inclusive ser classificadas como erros grosseiros.

5. CONCLUSÕES

5.1 Em relação ao GS20

Os resultados com fase mostram que 20 metros de distância em relação ao tipo de refletor estudado, é uma distância segura para trabalhar com fase com o GS20, havendo baixa perda de ciclos e segurança para fixação das ambigüidades, podendo haver casos em que seja possível o uso de distâncias menores, pois somente embaixo da cobertura vegetal houve a perda quase total dos sinais de fase. Deve-se observar as condições aqui estudadas, ou seja, inicialização estática de 9 minutos, intervalo entre épocas de um segundo e permanência no ponto de 2,5 minutos. Nesses casos, pode-se esperar com segurança a realização da precisão nominal do receptor, o que é um demonstrativo do excelente desempenho da tecnologia “*ClearTrak*” para as condições gerais de uso dos receptores com essa tecnologia para trabalhos de georreferenciamento. Pontos com forte obstrução têm as medidas de fase dificultadas, praticamente inviabilizando seu uso em sessões de ocupação relativamente curtas, o que demonstra uma deficiência que parece estar ligada à eventual deficiência da tecnologia.

Os resultados com código suavizado mostram coerência com os resultados de fase. Também nesses casos somente houve acurácia incompatível com a Norma em pontos sob os refletores principais e fonte de interferência elétrica. A coerência reside no fato de que as perdas nas medidas de fase influenciaram o desempenho do algoritmo de suavização do código pelas ondas portadoras. Nesse caso, também uma eventual deficiência da antena em detectar um número muito grande de refletores pode ter influenciado. Como a taxa de suavização do código parece ser de 0,01 Hz, poder-se-ia esperar um desempenho máximo do algoritmo após 100 segundos para as condições da pesquisa, o que corresponde a 1,7 minutos. Nesse caso, o tempo excedente

poderia ser justificado pela busca de maior segurança quando houvesse queda de ciclos.

5.2 Em relação ao Promark2

Os resultados mostram que as medidas com fase apresentam estabilidade até aproximadamente 20 metros em relação aos refletores matos e rede elétrica, sendo praticamente impossível o trabalho em obstruções maiores. Nesses casos, a solução geralmente apresentada no pós-processamento é a solução por código que, por não ser suavizado, apresentam magnitudes de erros incompatíveis com as exigências da Lei 10267/2001. A presença de alguns pontos muito distantes dos demais (figuras 28 a 31), como nos pontos próximos ou abaixo dos refletores, evidenciam picos periódicos de multicaminho que deterioram bastante a precisão e acurácia da posição estimada, como é característico do multicaminho, especialmente os causados por refletores próximos, ou seja, até 30 metros (FARRET, 2000). Também no caso da tecnologia “*Enhanced Strobe Correlator*”, há mérito na diminuição da distância possível de trabalho em relação a refletores significativos, mas ainda continua o problema de não possibilitar o trabalho sob as coberturas vegetais, devido a perda de fase.

5.3 Em relação aos procedimentos de campo

Nos trabalhos com fase com ambos os receptores pesquisados, as tecnologias de recepção de sinais e de atenuação de multicaminho possibilitam segurança em termos de acurácia e confiabilidade para trabalhos até 20 metros desses refletores. No caso de trabalhos com código, somente é possível o uso de código suavizado, como no caso do receptor GS20. Esse receptor apresentou

uma boa capacidade de continuar o rastreo mesmo sob forte cobertura vegetal, mas com desvio-padrão maior em relação ao estabelecido pela Norma dentro da confiabilidade exigida. Portanto, sob forte cobertura vegetal ou distâncias menores que 20 metros dos refletores, o rastreo por código suavizado apresenta deficiência em termos de confiabilidade em relação às exigências da Norma Técnica para georreferenciamento de imóveis rurais.

6. RECOMENDAÇÕES

6.1 Em relação ao GS20

Partindo do pressuposto de que o máximo desempenho do receptor GS20 ocorre com 1,7 minutos de rastreo sem queda de ciclos, uma grande vantagem teriam os usuários se a empresa proporcionasse a informação das quedas de ciclos durante a sessão no mostrador do receptor. Nesse caso, o usuário poderia realizar uma sessão mais longa conforme fosse a necessidade, e não de forma preventiva como ocorre em muitos casos, com desperdício de tempo. Parece não haver limitação técnica para que a empresa proceda dessa forma, pois as medidas Doppler possibilitam essa detecção em tempo real, logo, essa é uma recomendação que parece bastante válida e de grande utilidade, e que fica da presente pesquisa. Portanto, somente pontos sob forte cobertura vegetal não podem ser utilizados dentro do estabelecido pela Norma, havendo segurança para o uso em distâncias até 20 metros do tipo de refletor estudado.

6.2 Em relação ao ProMark2

Ficou evidenciado que a distância segura da antena desse receptor em relação ao obstáculos estudados é de 20 metros. Em distâncias menores acentua-se gradativamente as quedas de ciclos, inviabilizando o trabalho. Salienta-se que, para trabalhos de georreferenciamento para o CNIR, esse receptor somente pode ser usado com medidas da fase da onda portadora L1.

6.3 Em relação aos procedimentos de campo

Nos trabalhos com fase, para o caso de haver necessidade de distâncias menores que 20 metros, recomenda-se a prévia desobstrução da cobertura vegetal, utilização de bastões com altura superior a essas ou a realização de vértices virtuais, conforme admitido na Norma.

No caso da utilização do código suavizado, valem as mesmas sugestões para os trabalhos com fase. Como o efeito do multicaminho se refletiu muito mais fortemente no desvio-padrão do que em relação à acurácia, um bom indicativo da presença dele é dado por um desvio-padrão alto. Dessa forma sugere-se, pelo menos nos locais com maior potencial de haver limitação por multicaminho, fazer uma repetição (série) de observações e verificar a dispersão dos mesmos.

6.4 Para trabalhos futuros

Recomenda-se um melhor estudo da influência da perda de ciclos nas medidas por código suavizado, especialmente objetivando a determinação do tempo ideal de rastreamento para esses casos, uma vez que o tempo de 2,5 minutos adotado na presente pesquisa se baseou em dados de pesquisas preliminares (FARRET et al. 2005) e na frequência de atualização do algoritmo de suavização do código pela portadora (0,01 Hz). De uma forma geral, pode-se dizer que as pesquisas de recepção de sinais, especialmente com capacidades de atenuação do multicaminho e/ou ruído, tem muito a avançar em termos de trabalhos em condições de cobertura vegetal. Os problemas apontados pela presente pesquisa, podem ser um ponto de partida importante para esses trabalhos. Fica em aberto o estudo dos efeitos dos refletores vegetais e das redes elétricas de forma separada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bisnath, S.; Beran, T.; Langley, R. Precise Platform Positioning with a Single GPS Receiver. GPS World, 2002. Disponível em: <<http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=15110>>. Acesso em: 23 nov 2004.

BRAASH, M. S. **Multipath Effects**. In: PARKINSON, B. W. e SPILKER, J. J. Global Positioning System: Theory and Applications. Cambridge: American Institute and Aeronautics, 1996, VII, p.547-568.

BRAASCH, M. S.; McGraw, G. **GNSS Multipath Mitigation Using Gated and High Resolution Correlator Concepts**. Proceedings... Institute of Navigation National Technical Meeting, San Diego, CA, Jan, 1999.

Brasil. **Decreto 4.449/2002**. Regulamenta a Lei nº 10.267/2001. Brasília, ed DOU, 2002.

BRASIL. **Lei 10.267/2001**. Altera dispositivos de Leis anteriores e cria o CNIR. Brasília, ed DOU, 2001.

FARRET, J. C. **O Efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase das Portadoras GPS**. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, 2000.

FARRET, J. C. et al. Correlação SNR e Multicaminho na Fase das Portadoras GPS. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3, 2003 Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2003. 1 CD-ROM.

FARRET, et al. A Acurácia Possível no Georreferenciamento com Código Suavizado: O Caso do Receptor GPS GS20 – Multicaminho e Interferência. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4, 2005 Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2005.

FENTON, P. et al., **Novatel's GPS Receiver: The High Performance OEM Sensor of the Future**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 1991, Albuquerque. Proceedings... Washington, p. 49-58, 1991.

GADALLAH, E.S.; PACHTER, M.; DeVILIBISS, S. **Design of GPS Receiver Code and Carrier Tracking Loops for Multipath Mitigation**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 11., 1998 Nashville. Proceedings... Nashville: THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 1998.

GARIN, L.; Van DIGGELEN, F. e ROUSSEAU, J. M. **Strobe & Edge Correlator – Multipath Mitigation for Code**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 9, 1996, Kansas City. Proceedings... Kansas City: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1996. p. 657-664.

GARIN, L.; ROUSSEAU, J. M. **Enhanced Strobe Correlator Multipath Rejection for Code & Carrier**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 10, 1997, Kansas City. Proceedings... Kansas City: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1997. p. 559-567.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994.

HATCH, R. R. *The Synergism of GPS Code and Carrier Measurement*. In: International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, 3., 1982, Washington. *Proceedings...* Washington: 1982.

HATCH, R. R. et al. Code and Phase Multipath Mitigation Techniques, GPS Directory, 1998.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System Theory and practice**. 5.ed Wien: Springer, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRARIA (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Aplicada à Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001 e do Decreto 4.449, de 30 de outubro de 2002. Brasília, DF, nov, 2003. Disponível em: <<http://200.252.80.5/Cartografia/download/Norma%20Técnica.pdf>>. Acesso em: 10 jul 2004.

LACHAPELLE, G. et al. **GPS Land Kinematic Positioning Experiments**. Proceedings 4th Int. Geod. Symp. On Satellite Positioning, Austin, v. 2. 1986, p. 1327-1344.

LAXTON, M. C. **Analysis and Simulation a New Code Tracking Loop For GPS Multipath Mitigation**. WPAFB, Ohio: Master Thesis, Air Force Institute of Technology, 1996.

LEICA GEOSYSTEMS INC., Torrance, CA, USA. Disponível em: <<http://www.leica-geosystems.com/>>. Acesso em: 16 jan 2004.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2000.

PARKINSON, B. W. **Introduction and Heritage of NAVSTAR**, the Global Positioning System, In: PARKINSON, B. W. and SPILKER, J. J. **Global Positioning System: Theory and Applications**. Cambridge: American Institute of Aeronautics, 1996, VII.

Ray, J.K.; Cannon, M.E.; Fenton, P. **Mitigation of Static Carrier Phase Multipath Effects Using Multiple Closely-Spaced Antennas**, In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 11, 1998, Nashville. Proceedings... The Satellite Division of the Institute of Navigation, p. 1025-1034. 1998.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin: W. de Gruyter, 2003.

SHEEN, W. H.; STUBER, G. L. **A coherent tracking loop for direct sequence spread spectrum systems on frequency selective fading channels**. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Seattle, Washington. p. 1364-1368, jun, 1995.

SOUZA, E. M.; MONICO, J. G. **Efeito de Multicaminho nas Medidas de Fase e Pseudodistância GPS: Detecção e Atenuação Utilizando Wavelets**. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3, Curitiba. **Novos Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas: Anais**. Curitiba: UFPR, 2003. 1 CD-ROM.

STANSELL, T. A.; MAENPA, J. E. **ClearTrak™ Receiver Technology**, Leica Geosystems Inc., Torrance, CA, March, 1999.

THALES NAVIGATION, Santa Clara, CA, USA. Promark2 – User's Manual. Disponível em: <<http://www.thalesnavigation.com/>>. Acesso em: 16 jan 2004.

TOWNSEND, B. et al., **Analysis of the Multipath Meter Performance in Enviroments With Multiple Interferes**, In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 09. 2000, Salt Lake City. Proceedings... Salt Lake City: THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2000.

TOWNSEND, B. R.; FENTON, P.; Van NEE, D. J. R.; Van DIERENDONCK, A. J. **Performance Evaluation of the Multipath Estimating Delay Lock Loop**, In: NATIONAL TECHNICAL MEETING, 01. 1995, Anaheim. Proceedings... Anaheim: INSTITUTE OF NAVIGATION, 1995a.

TOWNSEND, B. R.; FENTON, P.; Van NEE, D. J. R.; Van DIERENDONCK, K. J. **L1 Carrier Phase Multipath Error Reduction Using MEDLL Technology**, In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 09. 1995, Palm Springs. Proceedings... Palm Springs: INSTITUTE OF NAVIGATION, 1995b.

TOWNSEND, B. R.; FENTON, P. **A Practical Approach to the Reduction of Pseudorange Multipath Errors in a L1 GPS Receiver**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 7., 1994, Salt Lake City. Proceedings... Salt Lake City: THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 1994.

Van DIERENDONCK, A. J.; FENTON, P.; FORD, T. **Theory and performance of Narrow Correlator Technology in GPS Receiver**. Journal of The Institute of Navigation, USA, v. 39, n. 3. 1992, p. 265-283.

Van NEE, R. **GPS Multipath and Satellite Interference**. Proceedings of the Forty Eight Annual Meeting of Institute of Navigation, Institute of Navigation, Washington, p. 167-177, 1992.

Van NEE, R. D. J.; SIEREYELD, J.; FENTON, P. C.; TOWNSEND, B. R. **The Multipath Estimating Delay Lock Loop Approaching Theoretical Accuracy Limits**, IEEE Position: Location and Navigation Symposium, Las Vegas, 1994.

WEILL, L. R. Conquering Multipath: The GPS Accuracy Battle, GPS World, v. 8, p. 59-66, 1997.

WESTROP, J., Napier, M., Ashkenazi, V. **The use of phase for kinematic positioning by GPS**. In: Book, Leppard (eds), p. 334-339, 1990.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BERNARDI, J. V. E. et al. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na Coleta de Dados**, UNESP, 2002. Disponível em: <<http://ns.rc.unesp.br/igce/aplicada/textogps.pdf>>. Acesso em: 15 mai 2004.

CANNON, M. E. **Characterization of GPS Carrier Phase Multipath and Mitigation through the use of Multiples Antennas**, IMA Conference, Calgary, 2000. Disponível em: < <http://www.ima.umn.edu/gps/abstract/cannon1.html> >. Acesso em: 20 dez 2003.

CANNON, M. E.; LACHAPELLE, G.; QIU, W.; FRODGE, S. L.; REMONDI, B. **Performance Analysis of a Narrow Correlator Spacing Receiver for Precise Static GPS Positioning**, PLANS94. IEEE, Las Vegas, 1994. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html>. Acesso em: 02 mar 2004.

DANA, P. H. **Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications**, Department of Geography, University of Texas, Austin, 1997. Disponível em: <http://www.pdana.com/PHDWWW_files/Rtgps.pdf> Acesso em: 02 mar 2004.

Hatch, R.R; Keegan, R.G.; Stansell, T.A. **Leica's Code and Phase Multipath Mitigation Techniques**. Proceedings of the National Technical Meeting, INSTITUTE of NAVIGATION. January, 1997.

Moelker, D. J. Multiple Antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multipath Direction Finding. ION GPS-97, September 1997.

MONICO, J. F. G. Posicionamento por satélite: situação atual e perspectiva para o início do Terceiro Milênio. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2000.

MORAES, C. V. Aprimoramento da concepção do modelo geodésico para a caracterização de extremas no espaço geométrico. Tese de doutorado: Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2001.

SEGANTINE P. C. L. **GPS Sistema de Posicionamento Global**. Apostila editada pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

TORGE, W. **Geodesy**. 3rd ed. Berlin: de Gruyter, 2001.

Van DIERENDONCK, A. J. W. **GPS Receivers**. In: PARKINSON, B. W. and SPILKER, J. J. Global Positioning System: Theory and Applications. Cambridge: American Institute of Aeronautics, 1996, v1.

WELLENHOF, B.H.; LCHTENEGGER, H. Global Positioning System Theory and practice. 3. New York: Springer-Verlang Wien, 1994.

WELLS, D. et al. **Guide to GPS Positioning**. Fredericton: Canadian GPS Associates, 1987.