

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DIULIANA LEANDRO

**INVESTIGAÇÃO DO POSICIONAMENTO GPS EM AMBIENTES INTERNOS COM
O AUXÍLIO DO EFEITO DE MULTICAMINHO**

Curitiba

2009

DIULIANA LEANDRO

**INVESTIGAÇÃO DO POSICIONAMENTO GPS EM AMBIENTES INTERNOS COM
O AUXÍLIO DO EFEITO DE MULTICAMINHO.**

**Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Ciências
Geodésicas, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira


**CURITIBA
2009**

TERMO DE APROVAÇÃO

DIULIANA LEANDRO

“INVESTIGAÇÃO DO POSICIONAMENTO GPS EM AMBIENTES INTERNOS COM O AUXÍLIO DO EFEITO DE MULTICAMINHO”

Dissertação nº 227 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: 
Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira
Departamento de Geomática, UFPR


Prof. Dr. João Francisco Galera Monico
Universidade Estadual Paulista, UNESP


Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 27 de fevereiro de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Reinaldo Leandro e Cecilia Leandro que sempre buscaram me dar o único bem que levarei no decorrer da vida, o qual nunca ninguém poderá me tirar: a educação.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira pela orientação e permanente incentivo na realização deste trabalho, pelos conselhos e tempo a mim dispensado.

A Prof^a. Dra. Cláudia Pereira KRUEGER pelo apoio e incentivo permanente a realizar o mestrado e por todos os ensinamentos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fomento.

Ao Laboratório de Geodésia Espacial da Universidade Federal do Paraná – LAGE, ao Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG e ao Laboratório de Topografia - LABTOPO pelo empréstimo dos equipamentos.

A todos os amigos do CPGCG que diretamente ou indiretamente ajudaram, uns pelo simples fato de simplesmente ouvirem, outros pelas sugestões, pelas contribuições, pelo companheirismo, pelo incentivo em todos os momentos. Em especial André Luiz Alencar de Mendonça, Suelen Huinca, Fabiani Miranda, Karoline P. Jamur, Anna Carolina Cavalheiro, Maria de Lourdes de Aquino Macedo Gonçalves, Marco Nadal, Marcis Gualberto Mendonça Junior, Rogers Ademir Drunn Pereira, Alessandro Salles Carvalho, Mauricio Sejas, Sydney de Oliveira Dias Claudionor, Márcio Schmidt, Naissa da Luz, Renan Martins Pombo, João Batista Ramos Côrtes, Daniel Perozzo dos Santos, Nassau Nardez, Fabio Moreira de Oliveira, Vagner Gonçalves Ferreira, Niarkios da Graça.

E finalmente, a toda minha família, em especial aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado dando apoio e incentivo, acreditando que tudo daria certo.

RESUMO

O posicionamento GPS ainda é bastante restrito em ambientes internos, pois nesses locais os sinais GPS chegam muito atenuados, impossibilitando que seja possível extrair deles as mensagens de navegação e tempo, tornando inviável o posicionamento com receptores clássicos. Atualmente, um grande número de novas tecnologias para a navegação nesses ambientes vem sendo desenvolvidas. Nessa pesquisa, foi proposto investigar a possibilidade de posicionar-se em ambientes internos empregando receptores geodésicos clássicos, utilizando um erro inerente no posicionamento, o efeito de multicaminho. Esse efeito ocorre quando o sinal vindo satélite encontra algum obstáculo antes de atingir a antena, sendo refletido por objetos no entorno desta. O objetivo geral desse trabalho foi investigar a possibilidade de redirecionar os sinais GPS do ambiente externo para o ambiente interno, usando superfícies refletoras. Para isso adotou-se duas estratégias: uma utilizando exclusivamente sinais de multicaminho e a outra usando sinais diretos de satélites de baixa elevação e aqueles oriundos de multicaminho. Deste modo, verificou-se a possibilidade de posicionamento em ambientes internos, por meio do efeito de multicaminho e os resultados apresentaram acurácia submétrica. A pesquisa focou-se em realizar uma análise qualitativa desses posicionamentos, através de fatores indicativos de multicaminho e da relação sinal ruído, obtidos pelo processamento das observações no programa TEQC (Translate Edit Quality Check).

Palavras Chaves: Multicaminho, Posicionamento em Ambientes Internos, SNR, Superfícies Refletoras, GPS.

ABSTRACT

Positioning by GPS still has restrictions at indoor environments because of the attenuation of the signals, making impossible to extract navigation and time data. Currently a large number of new navigation technologies for such environments are under development. In this research it was proposed to investigate the possibility of positioning at indoor environments through traditional receivers using an inherent surveying error, the multipath effect. This effect occurs when the satellite signal faces any obstacle before it can reach the antenna, because it reflected by objects in the surroundings. The general objective of this study was to investigate the possibility of redirecting GPS signals from external to internal environment using reflecting surfaces. Two strategies were proposed, the first one using only multipath signals and the other using both direct low elevation satellite and from multipath signs. The possibility of positioning at indoor environments using the multipath effect was verified, resulting in sub-metric accuracy. The research focused on achieving a qualitative analysis of these events, through signal's multipath indicative factors and the relationship between signal to ratio obtained by observation data processing, in the TEQC (Translate Edit Quality Check) software.

Keywords: Multipath, Indoor Positioning, SNR, Reflecting Surfaces, GPS.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – SERVIÇOS DE MONITORAMENTO DE CARROS, CELULARES E PESSOAS..... | 14 |
| FIGURA 2 – TIPOS DE PSEUDOLITOS | 17 |
| FIGURA 3 – PSEUDOLITO..... | 18 |
| FIGURA 4 – PSEUDOLITO MONTADO EM AMBIENTE INTERNO..... | 19 |
| FIGURA 5 – AZIMUTES EM QUE O RECEPTOR HSGPS POSSUI MAIOR PROBABILIDADE DE ENCONTRAR SINAIS GPS | 21 |
| FIGURA 6 – ESQUEMATIZAÇÃO DA TÉCNICA DE GPS ASSISTIDO | 23 |
| FIGURA 7 – ONDA LINEARMENTE POLARIZADA..... | 24 |
| FIGURA 8 – POLARIZAÇÃO CIRCULAR..... | 25 |
| FIGURA 9 – MULTICAMINHO: REFLEXÃO ESPECULAR, REFLEXÃO DIFUSA E DIFRAÇÃO | 26 |
| FIGURA 10 – REFLEXÃO ESPECULAR..... | 28 |
| FIGURA 11 – REFLEXÃO DIFUSA | 28 |
| FIGURA 12 – DIFRAÇÃO | 29 |
| FIGURA 13 – MULTICAMINHO ESTÁTICO..... | 31 |
| FIGURA 14 – MULTICAMINHO CINEMÁTICO | 31 |
| FIGURA 15 – FORMAÇÃO DA DUPLA DIFERENÇA..... | 35 |
| FIGURA 16 – PRÉDIO DA 1ªBCALBR E DETALHE DO OBSERVATÓRIO CAMIL GEMAEI | 37 |
| FIGURA 17 – MARCO | 38 |
| FIGURA 18 – RECEPTOR LEICA GPS900 E ANTENA LEICA ATX900 | 38 |
| FIGURA 19 – CHAPAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS COMO REFLETORES | 39 |
| FIGURA 20 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO MOVIMENTO DE ELEVAÇÃO DA ANTENA GPS. ... | 40 |
| FIGURA 21 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO MOVIMENTO AZIMUTAL DA ANTENA GPS. | 40 |
| FIGURA 22 – PRÉ-PROJETO DO SUPORTE PARA ANTENA GPS. | 41 |
| FIGURA 23 – PRÉ-PROJETO BASE DE FIXAÇÃO DO DISPOSITIVO PARA ANTENA GPS..... | 42 |
| FIGURA 24 – BASE NIVELADORA E ADAPTADOR PARA O SUPORTE DA ANTENA. | 42 |
| FIGURA 25 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA COMPLETO..... | 43 |
| FIGURA 26 – DETALHE DO SISTEMA COMPLETO..... | 43 |
| FIGURA 27 – RASTREIO COM O TELHADO ABERTO | 45 |
| FIGURA 28 – RASTREIO COM A HASTE EXTENSORA | 45 |
| FIGURA 29 – RASTREIO COM A ANTENA SOBRE O MARCO E O TELHADO ABERTO. A)VISTA SUPERIOR DO OBSERVATÓRIO. B) VISTA LATERAL..... | 47 |
| FIGURA 30 – VERIFICAÇÃO DA REFLEXÃO DE MULTICAMINHO EM AMBIENTE INTERNO. A) ANTENA POSICIONADA SOBRE O MARCO. B) DETALHE DA ANTENA ATX900 SOBRE O MARCO. C) VISTA EXTERNA DO EXPERIMENTO. | 48 |
| FIGURA 31 – VERIFICAÇÃO DA REFLEXÃO DE MULTICAMINHO EM AMBIENTE INTERNO UTILIZANDO A ETAPA 3. A) VISTA DOS REFLETORES LOCALIZADOS NA PARTE EXTERNA. B) ANTENA SOBRE O MARCO. C) VISTA DA ANTENA LOCALIZADA NO INTERIOR DO OBSERVATÓRIO..... | 49 |
| FIGURA 32 – EXEMPLO DO ARQUIVO MP1 GERADO PELO PROGRAMA TEQC PARA MULTICAMINHO..... | 52 |
| FIGURA 33 – DISTRIBUIÇÃO DOS SATÉLITES NO MÓDULO MISSION PLANNING DO PROGRAMA <i>ASHTECH SOLUTIONS 2.6</i> | 54 |
| FIGURA 34 – SATÉLITES RASTREADOS E O TEMPO DE RASTREIO NO SOFTWARE LGO. | 55 |
| FIGURA 35 – EXEMPLO DE GRÁFICO GERADO PARA O SATÉLITE 25 RELACIONANDO VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO E ELEVAÇÃO DO SATÉLITE | 56 |
| FIGURA 36 – EXEMPLO DE GRÁFICO GERADO PARA O SATÉLITE 25 RELACIONANDO VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO E SNR | 57 |
| FIGURA 37 – VARIAÇÃO DAS COORDENADAS OBTIDAS COM O RASTREIO COM O TELHADO ABERTO VARIANDO A MASCÁRA DE ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O PÓS-PROCESSAMENTO..... | 60 |
| FIGURA 38 – DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS | 62 |
| FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDOS EM ALGUMAS SESSÕES | 63 |
| FIGURA 40 – DISTRIBUIÇÃO DAS COORDENADAS OBTIDOS EM ALGUMAS SESSÕES COM RELAÇÃO A DISTRIBUIÇÃO DOS REFLETORES NO OBSERVATÓRIO. A) SESSÃO 01. B) SESSÃO 03. C) REFLETOR EXERNO. D)REFLETOR INTERNO. E) SESSÃO 07. F) SESSÃO 09. G) SESSÃO 11..... | 64 |
| FIGURA 41 – TEMPO REFERENTE ÀS OBSERVAÇÕES COLETADAS DE 13 SATÉLITES UTILIZANDO O EFEITO DE MULTICAMINHO VISUALIZADAS ATRAVÉS DO LGO | 65 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 42 – CONSTELAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O PERÍODO DE COLETA DOS DADOS..... | 66 |
| FIGURA 43 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 9 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO PARA A SESSÃO 1 | 67 |
| FIGURA 44 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 9 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO PARA A SESSÃO 1 | 67 |
| FIGURA 45 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM O SNR PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O SATÉLITE 9 NA SESSÃO 1 | 68 |
| FIGURA 46 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM O SNR PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O SATÉLITE 9 NA SESSÃO 1 | 68 |
| FIGURA 47 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA A SESSÃO 1 | 69 |
| FIGURA 48 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA A SESSÃO 1 | 69 |
| FIGURA 49 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 21 NA ONDA PORTADORA L1 PARA A SESSÃO 1..... | 70 |
| FIGURA 50 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 21 NA ONDA PORTADORA L2 PARA A SESSÃO 1..... | 70 |
| FIGURA 51 – TEMPO TOTAL DE RASTREIO DA SESSÃO 5..... | 71 |
| FIGURA 52 – TEMPO REFERENTE ÀS OBSERVAÇÕES COLETADAS DE 15 SATÉLITES..... | 72 |
| FIGURA 53 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 06 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 5..... | 72 |
| FIGURA 54 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 22 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 5 | 73 |
| FIGURA 55 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 06 PARA A ONDA PORTADORA L1 NA SESSÃO 5..... | 73 |
| FIGURA 56 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 22 PARA A ONDA PORTADORA L1 NA SESSÃO 5..... | 74 |
| FIGURA 57 – TEMPO REFERENTE ÀS OBSERVAÇÕES COLETADAS NA SESSÃO 11..... | 75 |
| FIGURA 58 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 11 | 75 |
| FIGURA 59 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA O MARCO NA SESSÃO 11 | 76 |
| FIGURA 60 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO PARA AS ONDAS PORTADORAS L1 E L2 NA SESSÃO 11 | 76 |
| FIGURA 61 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L1 PARA O SATÉLITE 23 NA SESSÃO 11 | 77 |
| FIGURA 62 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L2 NO SATÉLITE 23 NA SESSÃO 11..... | 77 |
| FIGURA 63 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 25 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 11 | 78 |
| FIGURA 64 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 25 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA O MARCO NA SESSÃO 11 | 78 |
| FIGURA 65 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L1 PARA O SATÉLITE 25 NA SESSÃO 11 | 79 |
| FIGURA 66 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L2 PARA O SATÉLITE 25 NA SESSÃO 11 | 79 |
| FIGURA 67 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 16 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 11 | 80 |
| FIGURA 68 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 16 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA O MARCO NA SESSÃO 11 | 80 |
| FIGURA 69 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L1 PARA O SATÉLITE 16 NA SESSÃO 11 | 81 |
| FIGURA 70 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L2 PARA O SATÉLITE 16 NA SESSÃO 11 | 81 |
| FIGURA 71 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 3 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8..... | 91 |
| FIGURA 72 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 3 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8..... | 91 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 73 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 3 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8 | 92 |
| FIGURA 74 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8..... | 92 |
| FIGURA 75 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8..... | 93 |
| FIGURA 76 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8..... | 93 |
| FIGURA 77 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 7 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9..... | 94 |
| FIGURA 78 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 16 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9..... | 94 |
| FIGURA 79 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9..... | 95 |
| FIGURA 80 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9..... | 95 |
| FIGURA 81 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9..... | 96 |
| FIGURA 82 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 10..... | 96 |
| FIGURA 83 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 10..... | 97 |
| FIGURA 84 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 10..... | 97 |
| FIGURA 85 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 32 NA SESSÃO 10 | 98 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS COEFICIENTES DE POLARIZAÇÃO | 27 |
| QUADRO 2 – VALOR APROXIMADO DOS ERROS GERADOS POR MULTICAMINHO PARA AS ONDAS PORTADORAS | 29 |
| QUADRO 3 – VALOR APROXIMADO DOS ERROS GERADOS POR MULTICAMINHO PARA OS CÓDIGOS..... | 30 |
| QUADRO 4 – SESSÕES DE RASTREIO ESTRATÉGIA 2..... | 48 |
| QUADRO 5 – SESSÕES DE RASTREIO COM A ESTRATÉGIA 3..... | 50 |
| QUADRO 6 - COMPARAÇÃO DOS DADOS COLETADOS NOS DOIS DIAS DE RASTREIO..... | 59 |
| QUADRO 7 - DIFERENÇAS RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS..... | 59 |
| QUADRO 8 – DIFERENÇAS ENCONTRADAS ENTRE AS COORDENADAS OBTIDAS PELO PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS BRUTOS COM AS COORDENADAS PADRÃO..... | 61 |
| QUADRO 9 – CARACTERÍSTICAS DO PÓS-PROCESSAMENTO DAS OBSERVAÇÕES | 62 |
| QUADRO 10 – ELEVÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO | 66 |
| QUADRO 12 – COORDENADAS GEODÉSICAS EM WGS 84. | 90 |

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| AGPS | <i>Assisted GPS</i> |
| CAD | <i>Computer-Aided Design</i> |
| CDGPS | <i>Carrier Differential-Phase GPS</i> |
| DD | <i>Dupla Diferença</i> |
| GBAS | <i>Ground Based Augmentation System</i> |
| GNSS | <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| HSGPS | <i>High Sensitivity GPS</i> |
| IBLS | <i>Integrity Beacon Landing System</i> |
| LBS | <i>Location Based Services</i> |
| LGO | <i>LEICA Geo Office</i> |
| PRN | <i>Pseudo-Random Noise</i> |
| RBMC | <i>Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo</i> |
| RHCP | <i>Right Hand Circularly Polarized</i> |
| RINEX | <i>Receiver Independent Exchange Format</i> |
| SNR | <i>Signal to Noise Ratio</i> |
| TEQC | <i>Translate Edit Quality Check</i> |
| UNAVCO | <i>University NAVSTAR Consortium</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 15 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 16 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 16 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 17 |
| 2.1 | PSEUDOLITOS | 17 |
| 2.1.1 | Exemplos de Aplicação de Pseudolitos | 18 |
| 2.2 | GPS DE SENSIBILIDADE ELEVADA - HSGPS | 20 |
| 2.3 | GPS ASSISTIDO (AGPS)..... | 21 |
| 2.4 | CARACTERÍSTICAS DO SINAL | 23 |
| 2.5 | MULTICAMINHO..... | 25 |
| 2.5.1 | Multicaminho na Fase da Onda Portadora..... | 29 |
| 2.5.2 | Multicaminho na Pseudodistância..... | 29 |
| 2.5.3 | Multicaminho no Posicionamento Estático..... | 30 |
| 2.5.4 | Multicaminho no Posicionamento Cinemático..... | 31 |
| 2.5.5 | Sinais dos satélites de baixa elevação..... | 32 |
| 2.5.6 | Relação Sinal Ruído..... | 33 |
| 2.6 | SISTEMA DE REFERÊNCIA | 34 |
| 2.7 | DUPLA DIFERENÇA DAS OBSERVÁVEIS GPS ENTRE DIFERENTES ESTAÇÕES | 34 |
| 3. | METODOLOGIA | 36 |
| 3.1 | POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO | 36 |
| 3.2 | ÁREA DE ESTUDO | 37 |
| 3.3 | EQUIPAMENTOS..... | 38 |
| 3.3.1 | Antena e Receptor..... | 38 |
| 3.3.2 | Refletores | 39 |
| 3.4 | DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA ANTENA..... | 39 |
| 3.5 | ESTRATÉGIAS DE RASTREIO | 44 |
| 3.5.1 | ETAPA 1 | 44 |
| 3.5.2 | ETAPA 2 | 47 |
| 3.5.3 | ETAPA 3 | 49 |
| 3.6 | PROGRAMAS | 51 |
| 3.6.1 | Processamento e Análise..... | 51 |
| 3.6.1.1 | TEQC..... | 51 |
| 3.6.1.2 | ASHTECH SOLUTION | 53 |
| 3.6.1.3 | LEICA Geo Office | 54 |
| 3.6.1.4 | MATLAB 7.4 | 55 |
| 3.6.1.5 | AutoCAD..... | 55 |
| 3.6.1.6 | ANÁLISE..... | 56 |
| 4. | RESULTADOS E ANÁLISES | 58 |
| 4.1 | INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO ENTORNO | 58 |
| 4.2 | VIABILIDADE DO PROCESSAMENTO | 60 |
| 4.3 | INDICATIVO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO E RELAÇÃO SINAL RUÍDO | 64 |
| 4.3.1 | Levantamentos da Etapa 2..... | 64 |
| 4.3.2 | Levantamentos da Etapa 3..... | 70 |
| 4.3.2.1 | Sessão 5..... | 71 |
| 4.3.2.2 | Sessão 11..... | 74 |
| 5. | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 82 |
| | REFERÊNCIAS..... | 85 |
| | DOCUMENTOS CONSULTADOS..... | 89 |
| | APÊNDICE | 90 |
| | APÊNDICE A - COORDENADAS GEODÉSICAS | 90 |

APÊNDICE B – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO E ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES 91

| | |
|----------------|----|
| Sessão 8..... | 91 |
| Sessão 9..... | 94 |
| Sessão 10..... | 96 |

1. INTRODUÇÃO

O NAVSTAR-GPS, conhecido por GPS, originalmente foi desenvolvido com finalidades militares. E hoje é um recurso importante nas aplicações civis. Os receptores GPS são projetados para operar a céu aberto, recebendo sinais de no mínimo quatro satélites para permitir a determinação da posição tridimensional da antena do receptor. Porém, atualmente existe uma grande necessidade de posicionamento e navegação em ambientes operacionais de difícil captação dos sinais GPS, como por exemplo em ambientes internos, florestas e paredões urbanos, o que vem tornando essencial o desenvolvimento de novas tecnologias que supram tais necessidades. Em ambientes internos os sinais são atenuados e sofrem grande influência de sinais refletidos, além de chegarem a esses locais tão fracos que impossibilitam a extração das mensagens de navegação e tempo, tornando inviável o posicionamento nesses ambientes. A atenuação do sinal, devido às paredes, faz com que os receptores tenham grande dificuldade em procurar e identificar os satélites, tornando o processo extremamente lento.

Devido a isso, serviços de segurança pessoal, monitoramento de carros e monitoramento de celulares têm investido no desenvolvimento de navegação *indoor*, buscando soluções para a perda de sinal em paredões urbanos e ambientes internos (FIGURA 1). Algumas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para a navegação *indoor* como, por exemplo, os pseudolitos, GPS de Sensibilidade Elevada (HSGPS) e GPS Assistido (AGPS).

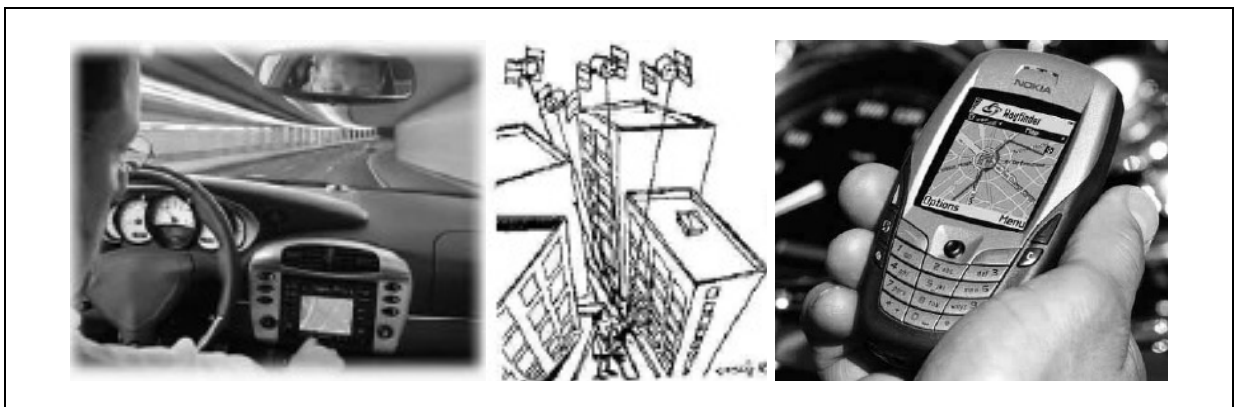


FIGURA 1 – SERVIÇOS DE MONITORAMENTO DE CARROS, CELULARES E PESSOAS
 FONTE: ADAPTADO DE BERNARDI E LANDIM (2002); E ASHKENAZI (2005)

Os pseudolitos funcionam como transmissores de sinais GPS em terra (DRIRA, 2006). São estações de referência com posição conhecida, que geram

correções diferenciais em tempo real, empregando a fase da portadora, para o receptor móvel (YUN ET AL., 2007). Os receptores HSGPS, utilizam um banco de correlações e processam o sinal digital para procurar pelo sinal GPS rapidamente (SCHWIEGER, 2007); enquanto o AGPS é uma técnica na qual o receptor GPS recebe auxílio para a determinação da sua posição por meio de uma ligação *wireless*¹ (DRIRA, 2006).

1.1 JUSTIFICATIVA

Existe um grande número de novas tecnologias para a navegação em ambientes internos. No entanto, nenhuma dessas técnicas se destina especificamente ao posicionamento. Isso, porque os investimentos que vem sendo realizados nessa área destinam-se à receptores GPS de navegação, devido ao seu baixo custo. Atualmente, os receptores GPS geodésicos representam somente uma fatia em torno de 1% de todo o mercado mundial. Devido a isso, tornou-se importante a pesquisa de novas técnicas para realizar o posicionamento em ambientes internos, desenvolvendo novas metodologias com a tecnologia já existente e sem a necessidade de grandes investimentos.

Os levantamentos de alta precisão têm sido afetados pelo erro de multicaminho (COMP e AXELRAD, 1996). Estudos detalhados podem permitir sua manipulação, ou seja, ao invés de se buscar técnicas para que esse seja minimizado, este talvez possa ser direcionado, tornando-se uma possível solução para o posicionamento em ambientes internos.

Considerando que os sinais GPS permitam ser manipulados de forma que seus sinais possam ser direcionados utilizando o efeito do multicaminho nas ondas portadoras L1 e L2, a dificuldade de procura e identificação dos sinais dos satélites em ambientes internos que impossibilitava o posicionamento é suprida, já que este efeito não é eliminado nas combinações lineares entre as observáveis GPS. Assim, todos os outros erros inerentes ao posicionamento como erro dos relógios, erro das

¹ Comunicação sem cabos ou fios que usa ondas eletromagnéticas como meio de propagação para estabelecer a comunicação entre dois pontos.

órbitas dos satélites, erros ionosféricos serão minimizados, tornando-se assim o multicaminho a única variável implicadora no posicionamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa pesquisa é verificar a possibilidade de se utilizar a reflexão de sinais GPS de ambiente externos para ambientes internos, de forma a realizar o posicionamento nestes ambientes, utilizando receptores convencionais para posicionamento geodésico.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Verificar a possibilidade do posicionamento em ambientes internos utilizando superfícies refletoras para redirecionar o sinal GPS;
- Analisar a qualidade deste posicionamento;
- Identificar a influência do entorno da área do experimento nos sinais da antena, realizando um levantamento para verificar como se comporta o efeito de multicaminho e sua influência no experimento;
- Verificar se uma superfície de alumínio pode ser utilizada para a reflexão dos sinais GPS;
- Desenvolver um suporte para antena GPS que permita seu movimento de elevação e azimute controlado para a coleta de dados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Recentemente a grande procura para soluções de posicionamento em ambientes internos e próximos a paredões urbanos, nos quais os sinais GPS são extremamente atenuados fez com que surgissem novas técnicas para sanar o problema. A seguir são expostas as principais tecnologias desenvolvidas na área de Geodésia e telefonia celular, e são descritas as características básicas do sinal GPS e do efeito de multicaminho.

2.1 PSEUDOLITOS

Segundo Drira (2006), um pseudolito utiliza o mesmo modo de geração da onda portadora, do código PRN e das mensagens de navegação e serve como uma fonte adicional de sinal ao receptor GPS. São transmissores de sinais GPS locados em terra que empregam a técnica de posicionamento diferencial² em tempo real.

Os pseudolitos podem ser de dois tipos (FIGURA 2):

- síncrono, os chamados *synchrolites*; e
- assíncrono.

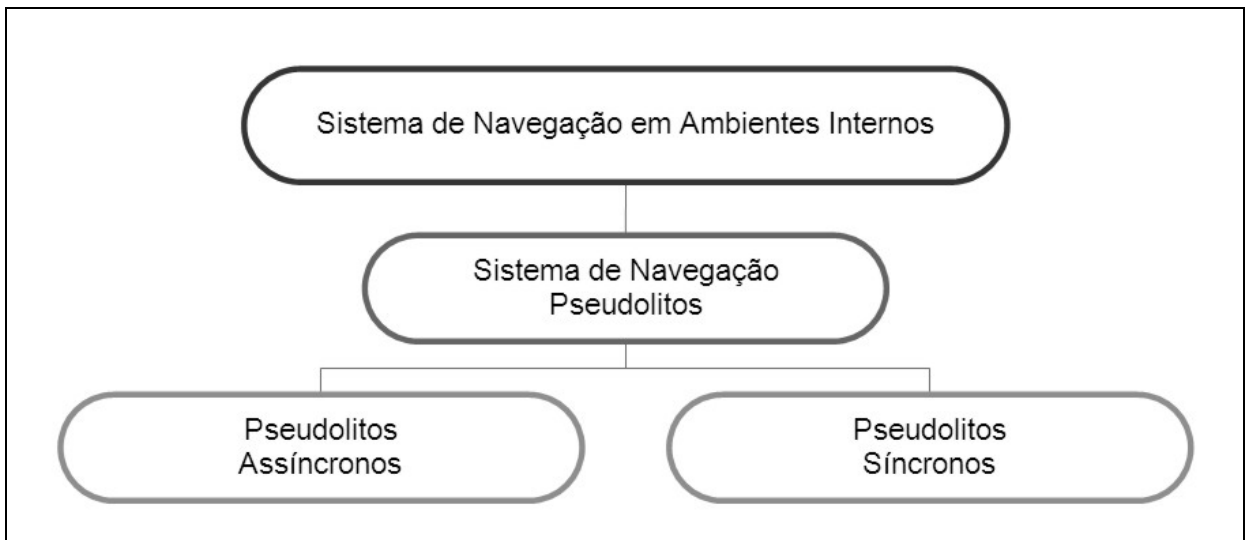


FIGURA 2 – TIPOS DE PSEUDOLITOS

² O princípio básico do método diferencial consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas na estação de referência (KRUEGER, 1996).

FONTE: ADAPTADO DE DRIRA (2006)

A diferença entre o sistema assíncrono e síncrono consiste nos pulsos de disparo do sinal gerado pelo pseudolito (FIGURA 3) derivarem seu sincronismo dos satélites do GPS ou não.

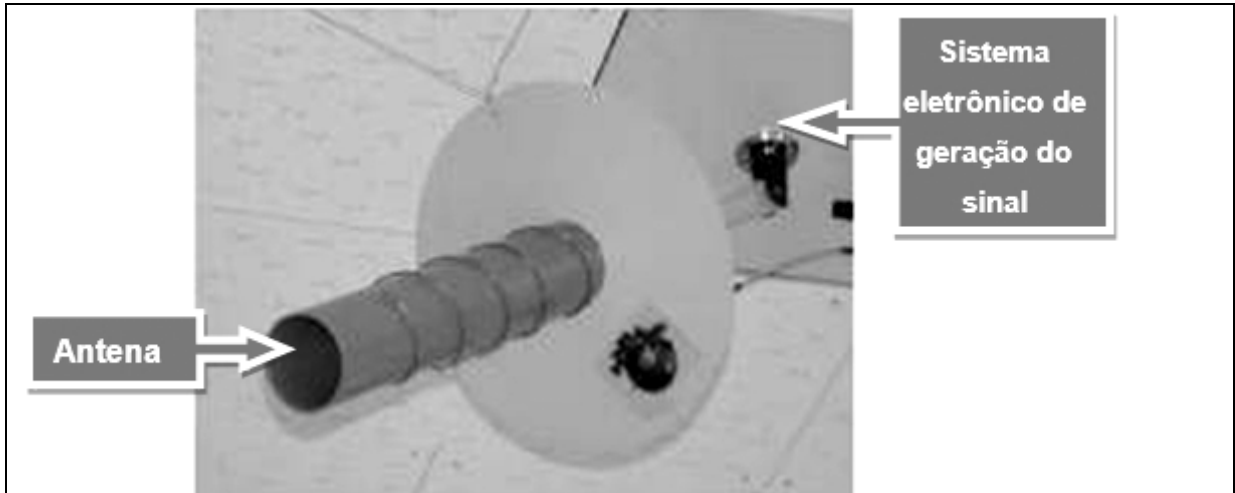


FIGURA 3 – PSEUDOLITO

FONTE: ADAPTADO DE YUN ET AL. (2007)

Somente um pseudolito não permite o posicionamento preciso, submétrico, em um ambiente interno. Devido a isso geralmente utiliza-se um sistema de navegação em ambientes internos composto por um conjunto de, no mínimo quatro, pseudólitos, com as posições conhecidas, e uma estação de referência GPS externa, com a posição também conhecida, a qual permite o sincronismo do tempo dos pseudolitos com o sistema de tempo GPS.

Para o usuário do sistema conseguir se posicionar no ambiente interno, é essencial que este tenha a sua posição inicial a céu aberto conhecida. A estação de referência externa serve para transmitir erros de diferença de tempo da geração do sinal no pseudolito com relação aos dos satélites GPS ao usuário através de um telecomando (ligação de dados wireless) (DRIRA, 2006).

2.1.1 Exemplos de Aplicação de Pseudolitos

Segundo Drira (2006), desde 1999, o Laboratório Nacional GPS da Universidade de Seoul (SNUGL) vem desenvolvendo sistemas de navegação em ambientes internos. Os primeiros experimentos utilizavam pseudolitos assíncronos

para controlar a posição de um veículo. Os resultados obtidos nesses experimentos foram satisfatórios e apresentaram acurácia centimétrica.

Desde então, o SNUGL vem investindo em laboratórios de testes para a navegação e posicionamento GPS em ambientes internos, visando aprimorar as técnicas de posicionamento utilizando os pseudolitos. Um exemplo desses laboratórios de teste é apresentado na FIGURA 4.

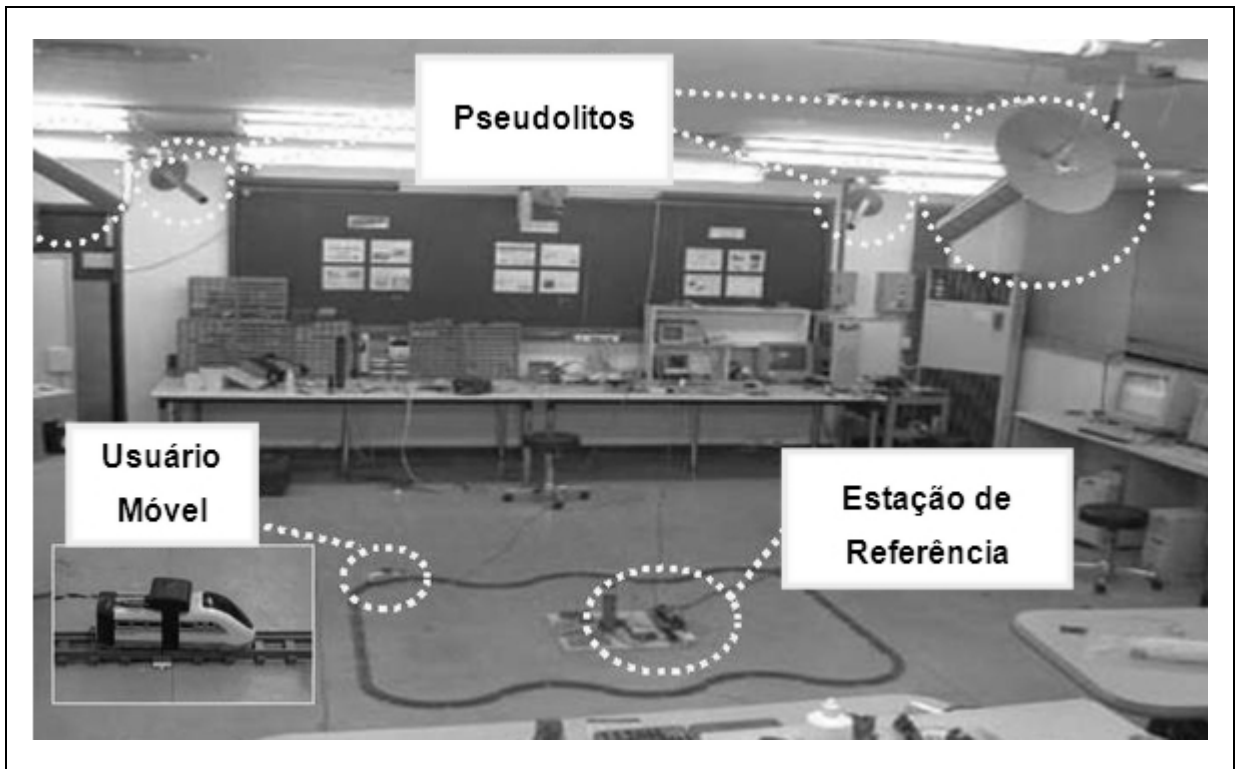


FIGURA 4 – PSEUDOLITO MONTADO EM AMBIENTE INTERNO
 FONTE: ADAPTADO DE YUN ET AL. (2007)

Os pseudolitos também vêm sendo utilizados nos *Integrity Beacon Landing System* (IBLS) em aeroportos, servindo como uma ferramenta adicional de segurança aeroviária (DRIRA, 2006). Eles são parte determinante para as inovações GNSS-1³, por constituírem as GBAS⁴, sistemas baseados em estações, os quais visam dar suporte à aviação, alcançando melhores níveis de acurácia e segurança.

³ GNSS-1 baseia-se no NAVSTAR-GPS e ou no GLONASS, sendo aumentado por componentes civis. E deve ter como principais características: a integridade, a disponibilidade e fornecer um serviço contínuo aos usuários (KRUEGER, 2007).

⁴ São compostas por uma estação de referência, uma ou mais estações monitoras e vários transmissores (pseudolitos) que transmitem sinais igual ao GPS (KRUEGER, 2007).

2.2 GPS DE SENSIBILIDADE ELEVADA - HSGPS

Os HSGPS são receptores com sensibilidade elevada, *High Sensitivity GPS*. Esses possuem um poder de processamento maior que os receptores convencionais. Segundo Dao e Lachapelle (2005) esses receptores têm tecnologia implementada para reduzir o ruído térmico e possuem relógios mais estáveis, pois utilizam uma micro plaqueta com um banco de correlatores, permitindo a execução do processo da correlação e integração em tempo real, o que permite reparos muito rápidos do sinal GPS em situações normais de recepção de sinal. E quando os sinais GPS são mais fracos, o receptor possui um poder de processamento maior para a determinação da posição e a solução de sincronização.

O desenvolvimento de receptores de alta sensibilidade tem sido de grande valia para atividades de navegação e posicionamento, pois segundo Schwieger (2007) esses receptores são capazes de receber sinais até 1000 vezes mais fracos que os receptores convencionais.

Tipicamente os receptores convencionais possuem capacidade de adquirir sinais em torno de -160 dBW. Na maioria das vezes os sinais GPS que chegam as antenas localizadas ao ar livre estão em torno de -155dBW. Porém, esses sinais quando deparam-se com árvores e edificações são ainda mais atenuados, por exemplo, segundo Wieser e Hartinger (2006) apud Schwieger (2007):

- dentro de edifícios a atenuação é de aproximadamente 20 dB;
- dentro de um carro o sinal chega a ser atenuado em média 5 dB;
- em garagens subterrâneas a atenuação é de mais de 25 dB.

Os HSGP têm sensibilidade capaz de adquirir sinais de até -30 dB, o que é suficiente para que o receptor seja capaz de seguir os sinais GPS, mesmo que a antena se encontre em locais totalmente vedados por até três camadas de tijolo ou 20 cm de concreto reforçado com aço (SCHWIEGER, 2007). Na FIGURA 5 pode-se observar, um exemplo de posicionamento em ambiente interno, os azimutes em que o receptor possui maior probabilidade de encontrar sinais GPS, nesse caso no azimute de 90°.

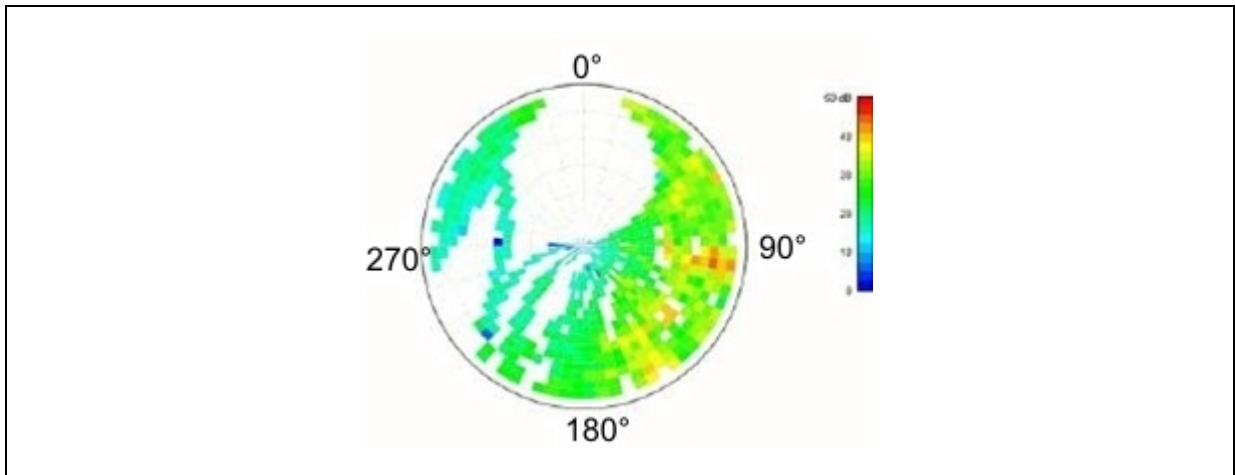


FIGURA 5 – AZIMUTES EM QUE O RECEPTOR HSGPS POSSUI MAIOR PROBABILIDADE DE ENCONTRAR SINAIS GPS
 FONTE: ADAPTADO DE ASHKENAZI (2005)

Atualmente no Brasil, a tecnologia HSGPS vem sendo utilizada no Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) para o desenvolvimento de um robô ambiental híbrido. Os resultados têm se mostrado muito promissores. No entanto, somente a tecnologia HSGPS não tem sido suficiente para atender as necessidades do projeto. Devido a isso, tem sido integrado ao robô um Sistema de Navegação Inercial (INS), o qual ajuda na determinação da posição em áreas com maior degradação do sinal. Maiores informações sobre o esse projeto podem ser encontradas em Stein e Reis (2007).

2.3 GPS ASSISTIDO (AGPS)

O GPS Assistido, conhecido como *Assisted GPS* é uma técnica onde o receptor GPS recebe auxílio para a determinação da posição através de uma rede de estações de referência GPS, a qual coleta dados continuamente e alimenta o usuário do sistema com informações adicionais enviadas via celular (PROCTOR e CATMUR, 2007). Tal tecnologia vem sendo incorporada não só em telefones celulares, mas em *laptop*, *datacards*, *pdas*, e outros equipamentos móveis.

Essa tecnologia vem recebendo grandes investimentos em pesquisa por possuir como foco um mercado muito promissor, os chamados Serviços Baseados em Localização (LBS). Os serviços de posicionamento baseados no GNSS das indústrias de entretenimento, guias de transporte, trabalhos em rede e comunicação

e segurança, são exemplos destes serviços, os quais têm gerado bilhões de dólares em rendimentos (DAO e LACHAPELLE, 2005).

O usuário de AGPS precisa ter sua posição aproximada definida ao ar livre, a qual será utilizada como a posição inicial de referência com um desvio-padrão associado. Neste momento o receptor também coleta o almanaque dos satélites, nos quais haverá a posição, as velocidades e as informações de tempo dos satélites.

Segundo Lachapelle (2004), o almanaque de satélites permite que o receptor móvel saiba a distribuição espacial dos satélites para determinada época, restringindo o espaço de procura aos azimutes e elevações de maior possibilidade de haver recepção de sinal quando o usuário se encontra em ambiente interno, sendo possível a determinação da sua posição. O almanaque é atualizado constantemente, pois pode estar sendo adquirido em um receptor GPS externo e transmitido pelo telefone celular ao receptor em ambiente interno.

A informação de maior peso obtida em espaço aberto ou via rede está relacionada com o sincronismo dos relógios, que podem gerar erros muito grandes. Por exemplo, 1s pode degradar a posição em algumas centenas de metros.

Os métodos de AGPS podem ser divididos em duas categorias, dependendo de onde o cálculo da posição do usuário for realizada. Se a posição for calculada pelo próprio usuário, na estação móvel, o método é chamado de *Ms-based*. Se for calculado pela rede e a posição posteriormente for enviada ao usuário do receptor o método é chamado de *Ms-assisted* (LACHAPELLE, 2004).

As correções geradas pelos Centros de Transmissão de Informações AGPS são bastante eficientes, principalmente devido às correções geradas serem as mesmas para uma grande área geográfica, fazendo com que a mesma informação atenda muitos usuários (FIGURA 6) (ASHKENAZI, 2005).

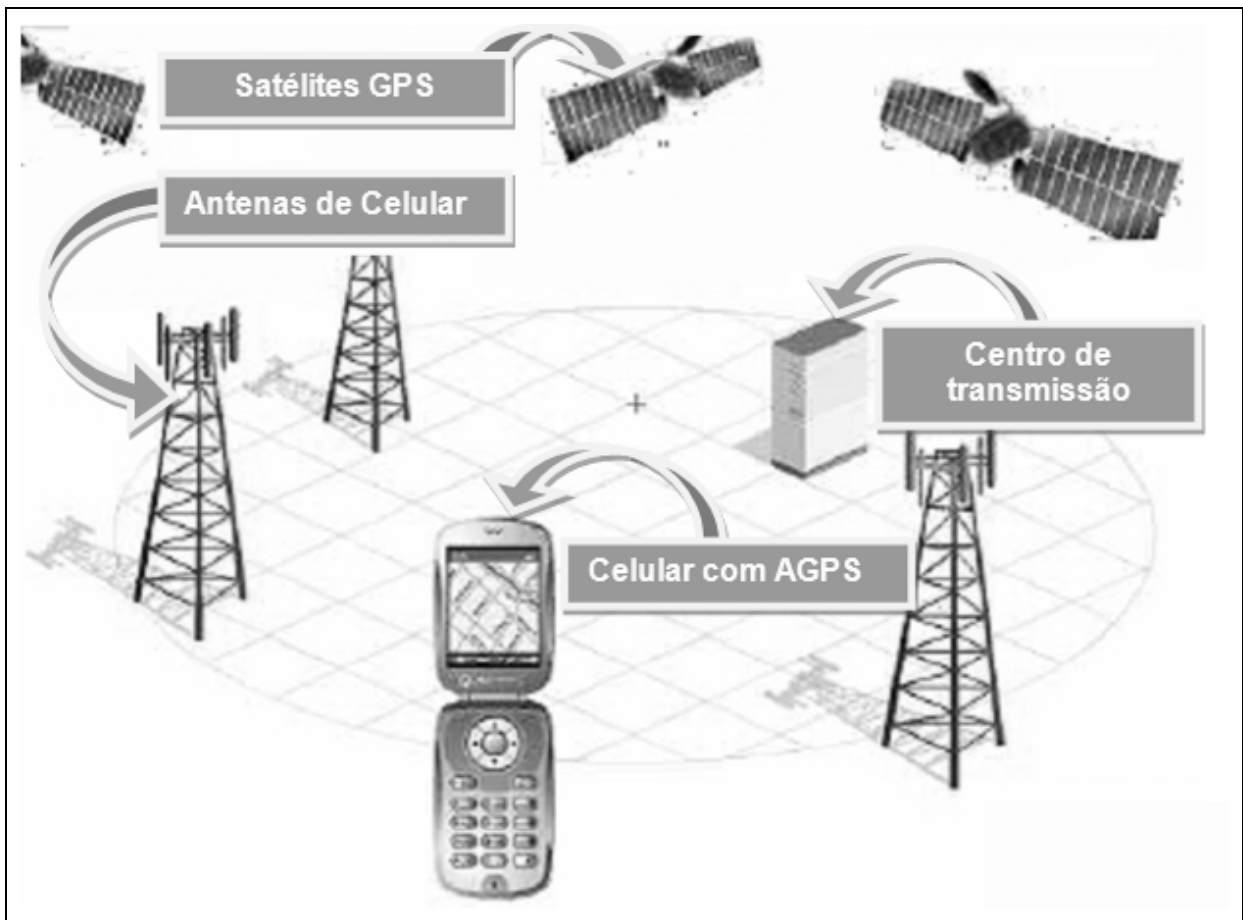


FIGURA 6 – ESQUEMATIZAÇÃO DA TÉCNICA DE GPS ASSISTIDO
 FONTE: ADAPTADO DE ASHKENAZI (2005)

As tecnologias AGPS e HSGP vêm sendo de grande valia quando se trata de receptores para posicionamento e navegação em ambientes internos com baixa precisão. Quando há a necessidade de precisão apenas os pseudolitos podem fornecer esse tipo de posicionamento em ambientes fechado, porém essa tecnologia está calcada em um alto custo, semelhante ou superior a um receptor de dupla frequência.

2.4 CARACTERÍSTICAS DO SINAL

O sinal GPS é uma onda eletromagnética polarizada⁵ composta por um campo elétrico e um campo magnético, sempre situados em planos ortogonais e

⁵ Uma onda está polarizada quando oscila num só plano de vibração, chamado plano de polarização da onda.

variando em fase. Segundo Szilágyi e Hirano (2007), esses campos se propagam em qualquer material isolante (dielétrico) com uma certa velocidade de propagação, cujo vetor está a 90 graus dos vetores campo elétrico e magnético, como pode ser observado na FIGURA 7. No vácuo, esta velocidade é a da luz.

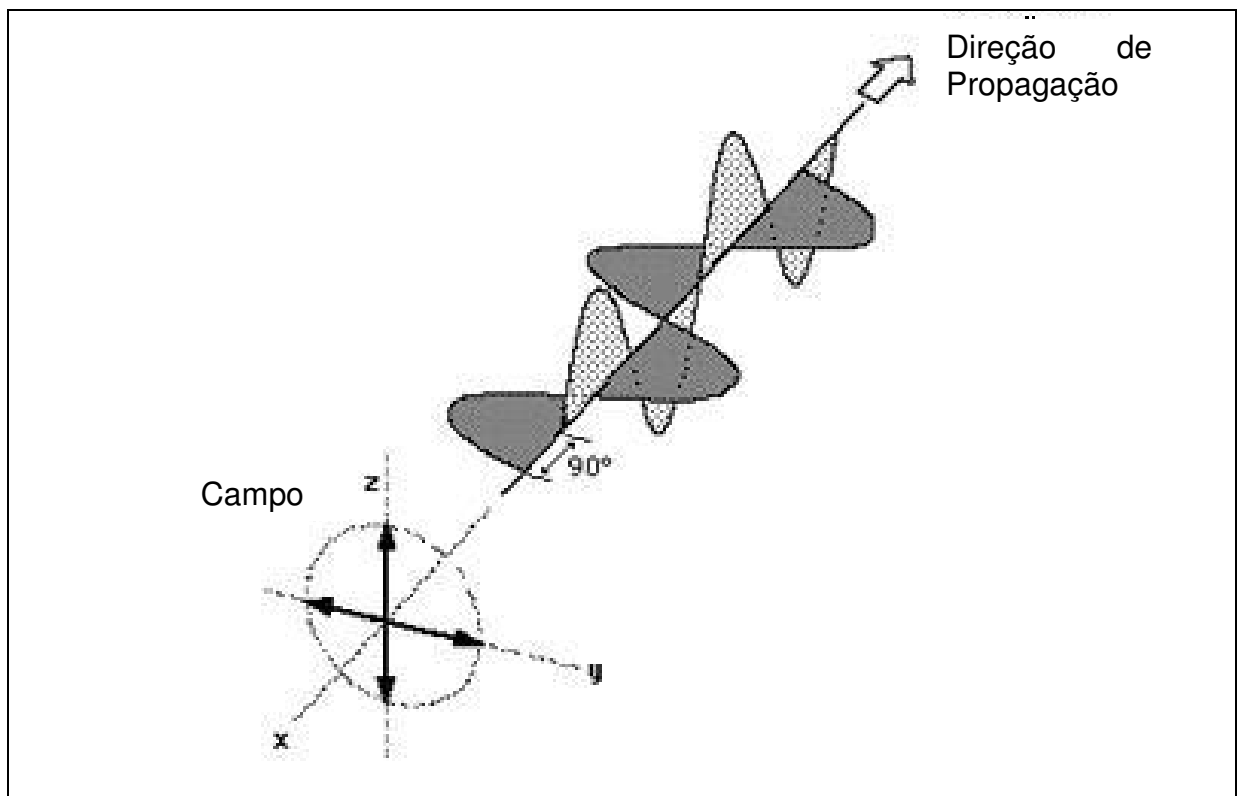


FIGURA 7 – ONDA LINEARMENTE POLARIZADA
 FONTE: ADAPTADO DE SZILÁGYI E HIRANO (2007)

Segundo Gonçalves e Walter (2005), o sinal GPS resulta da soma vetorial de ondas polarizadas linearmente (vertical e horizontal), ou seja, o sinal é circularmente polarizado à direita (RHCP - *Right Hand Circularly Polarized*) (FIGURA 8). Após a reflexão, devido à diferença dos vetores horizontais e verticais, a onda se tornará elíptica ou linear.

Uma das características do sinal GPS é que quando a defasagem (ψ) for 0° ou 180° sua direção permanece constante e há variação apenas de sua amplitude.

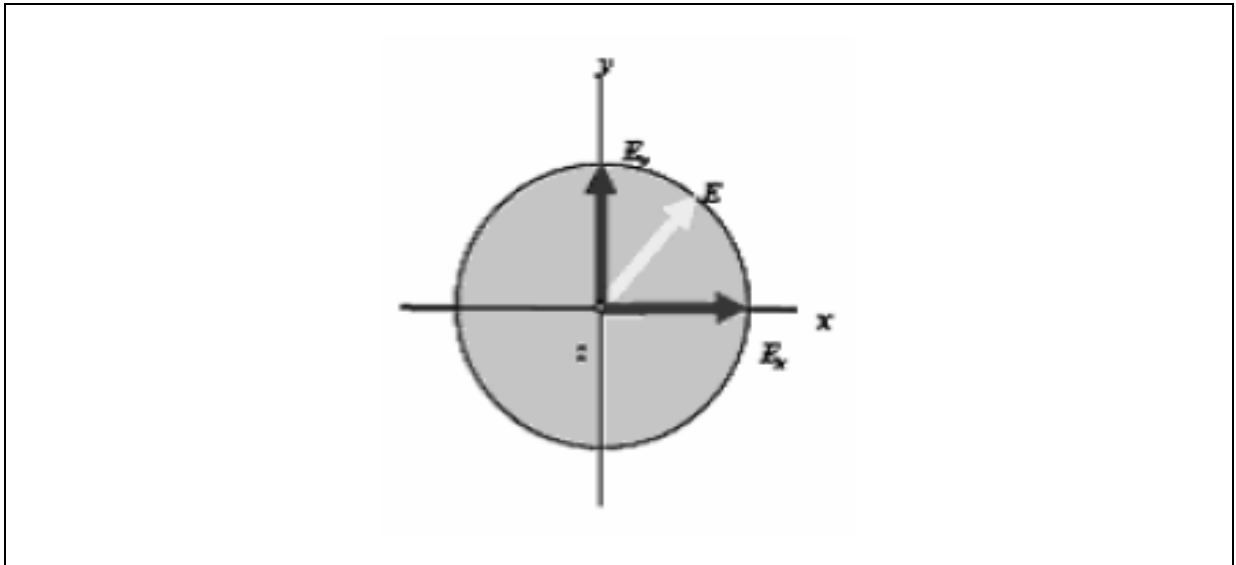


FIGURA 8 – POLARIZAÇÃO CIRCULAR
 FONTE: ADAPTADO DE GONÇALVES E WATER (2005)

2.5 MULTICAMINHO

A antena GPS recebe além dos sinais diretos do satélite, sinais oriundos de reflexões de superfícies próximas, os quais sofrem um retardo com relação aos primeiros (FIGURA 9) (POLEZEL ET AL., 2004). O multicaminho pode mesmo impedir que as ambigüidades sejam resolvidas ou gerar uma solução errônea.

Este fenômeno depende das propriedades elétricas do ambiente em que se localiza a antena, assim como das propriedades físicas do entorno, ou seja, depende da refratividade do ambiente, das características da antena e do objeto refletor.

O sinal refletido sempre possuirá uma freqüência menor que o sinal direto, tendo módulo menor que 1. A diferença entre o sinal direto e o sinal indireto é proporcional ao comprimento do caminho percorrido entre o satélite e o receptor (BAEBIERI et al., 2006). Os coeficientes de reflexão podem ser decompostos em dois, coeficiente de reflexão horizontal e coeficiente de reflexão vertical, obtidos pelas fórmulas apresentadas por Gonçalves e Walter (2005):

$$\Gamma_H = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}} \quad (3.1)$$

e

$$\Gamma_v = \frac{\varepsilon \cdot \sin \theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}}{\varepsilon \cdot \sin \theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}} \quad (3.2)$$

onde

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j \cdot 60 \cdot \lambda \cdot \sigma \quad (3.3)$$

sendo:

ε : permissibilidade elétrica do material sobre o qual o sinal foi refletido;

ε_r : permissibilidade relativa;

λ : comprimento de onda;

θ : ângulo de incidência;

σ : condutividade;

j : $\sqrt{-1}$.

Pode-se classificar o multicaminho em três categorias: reflexão especular, difusa e difração (FIGURA 9).

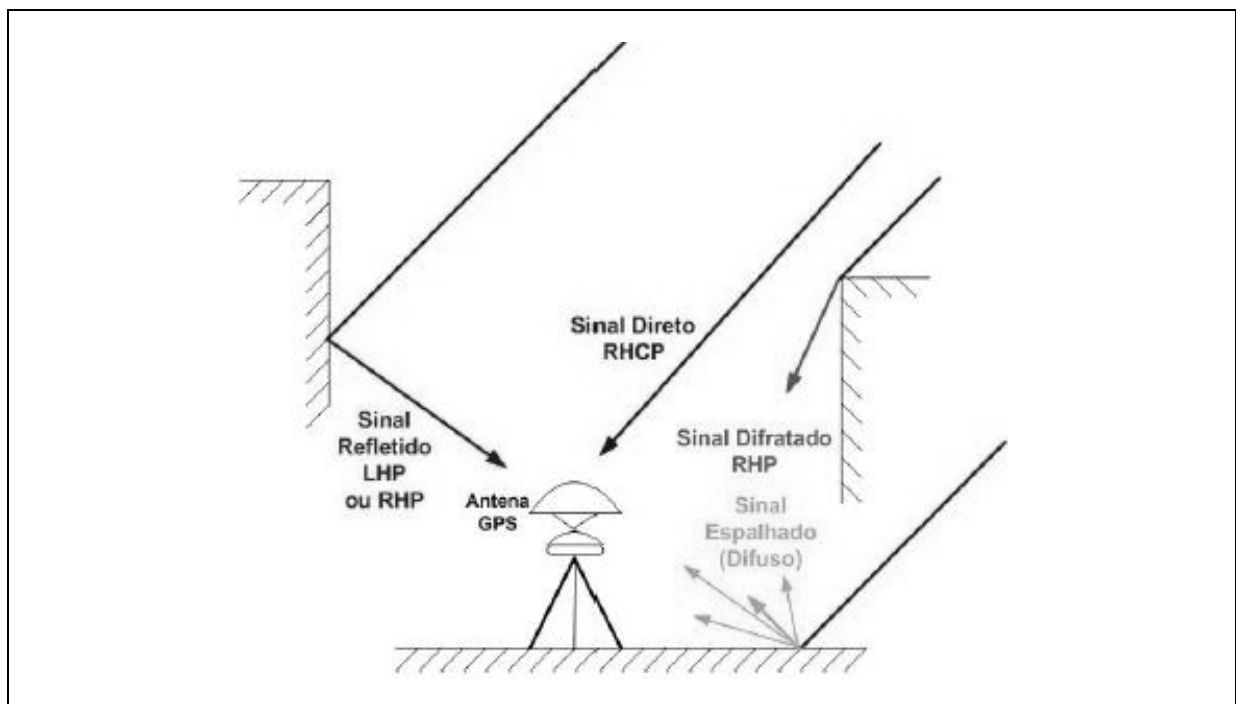


FIGURA 9 – MULTICAMINHO: REFLEXÃO ESPECULAR, REFLEXÃO DIFUSA E DIFRAÇÃO
 FONTE: GONÇALVES E WATER (2005)

Após a reflexão dos sinais GPS, aqueles antes circularmente polarizados adquirem polarização elíptica ou linear, pois o coeficiente de reflexão linear vertical

será diferente do coeficiente horizontal, comportando-se da maneira diferenciada devido ao ângulo de incidência (QUADRO 1).

| | Coeficiente Negativo | Coeficiente Positivo |
|-------------------------------|--|--|
| Polarização Horizontal | Qualquer ângulo de incidência | - |
| Polarização Vertical | Ângulos de incidência menores que o ângulo de Brewster | Ângulos de incidência maiores que o ângulo de Brewster |

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS COEFICIENTES DE POLARIZAÇÃO
 FONTE: LEANDRO ET AL., 2008.

O ângulo de Brewster é o ângulo no qual o coeficiente de reflexão é zero. Segundo Gonçalves e Walter (2005), para ângulos de incidência menores do que o ângulo de Brewster, a reflexão resultante será elipticamente polarizada à direita até próximo ao ângulo de Brewster onde ocorre a polarização linear. Para ângulos maiores que o ângulo de Brewster o sinal é elipticamente polarizado à esquerda, ocorrendo um decréscimo da excentricidade com o aumento do ângulo de incidência e no final, completamente circular à esquerda em 90 graus. Assim, quando a onda é refletida por um plano condutor, como por exemplo, superfícies refletoras planos ou parabólicos, pode ser que haja mudança do sentido de polarização da onda.

As antenas GPS são projetadas para receber apenas os sinais circularmente polarizados à direita, sendo que os sinais circularmente polarizados a esquerda ou as componentes opostas são rejeitadas. Porém cada antena possui um fator de rejeição o qual é dependente da tecnologia usada para a sua implementação. Isto é, ela recebe sinais que não são completamente circulares, que possuem algum achatamento, devido à reflexão do sinal, que são elipticamente polarizados à direita.

– Reflexão Especular

A reflexão especular (FIGURA 10) ocorre quando os raios que incidem sobre uma determinada superfície retornam para o meio no qual ocorreu à incidência com o mesmo ângulo de incidência, diferindo do sinal direto somente na fase e na amplitude. Geralmente esse tipo de reflexão ocorre em superfícies polidas, tais como: espelhos e metais. Segundo Comp e Axelrad (1996), o multicaminho especular é o mais limitante na maioria das aplicações que usam a fase das

portadoras e suas diferenças, sendo responsável por, pelo menos, 90% dos erros nas medidas de diferença de fase, e dominante em aplicações de alta precisão.

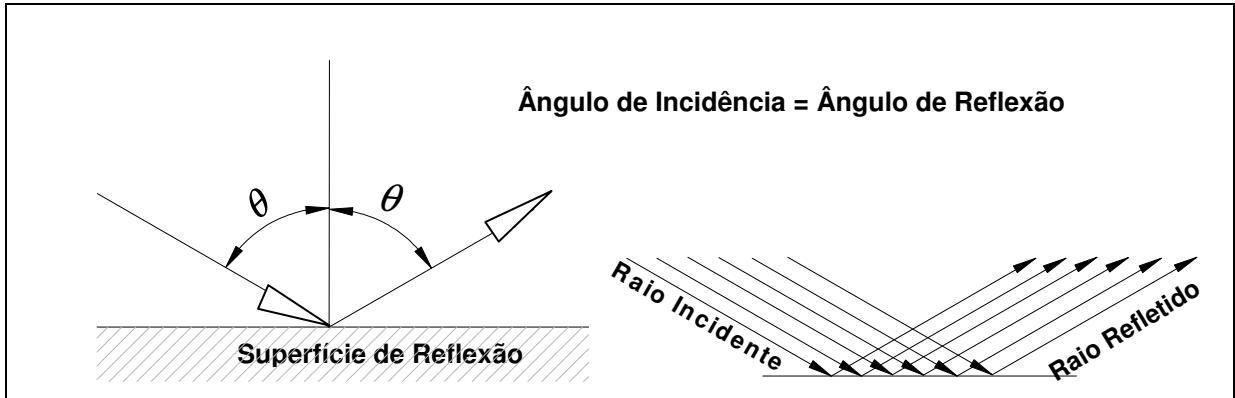


FIGURA 10 – REFLEXÃO ESPECULAR
 FONTE: LEANDRO ET AL. (2008)

– Reflexão Difusa

A reflexão difusa (FIGURA 11) ocorre em superfícies refletoras rugosas, na qual os raios incidentes são refletidos em todas as direções.

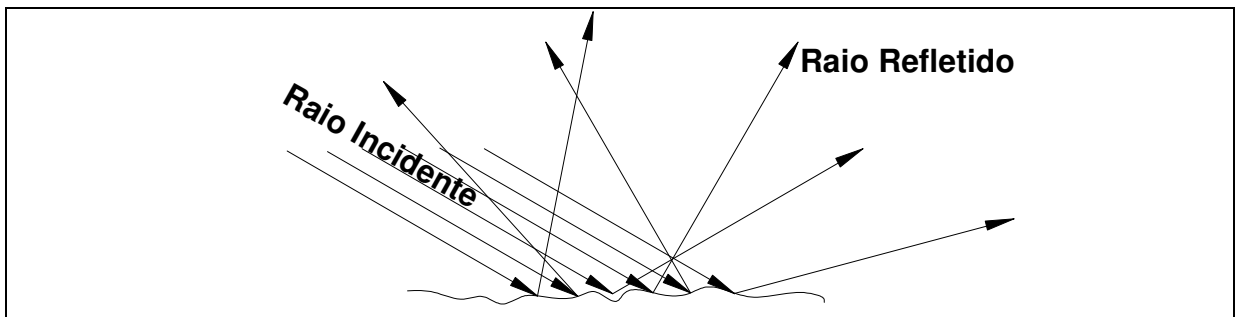


FIGURA 11 – REFLEXÃO DIFUSA
 FONTE: LEANDRO ET AL. (2008)

– Difração

A difração é proveniente da reflexão em bordas de objetos refletoras (FIGURA 12).

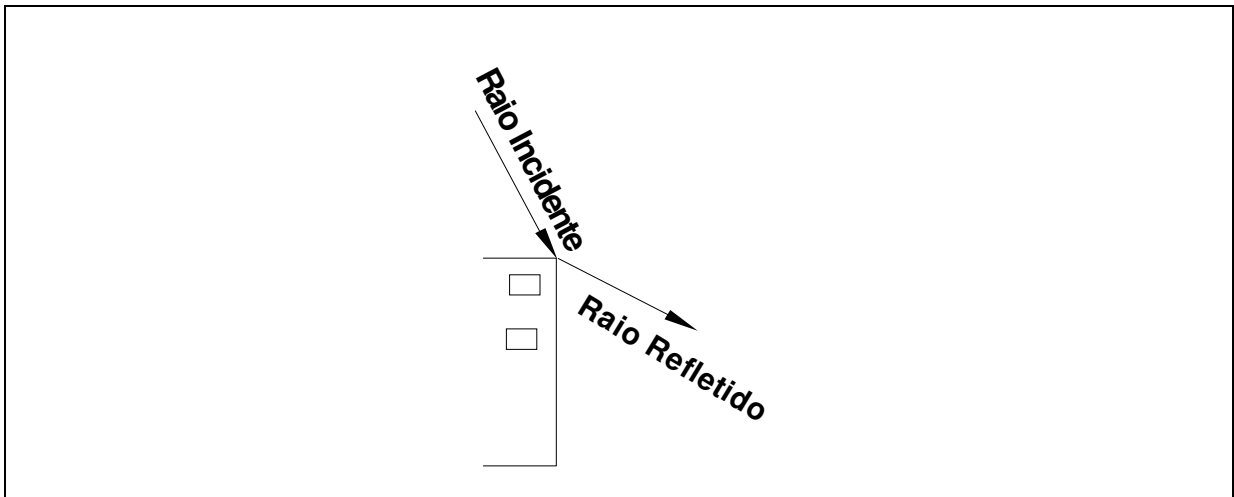


FIGURA 12 – DIFRAÇÃO
 FONTE: LEANDRO ET AL. (2008)

2.5.1 Multicaminho na Fase da Onda Portadora

O atraso na fase da onda portadora devido ao multicaminho acarreta erros de no máximo $\frac{1}{4}$ de ciclo de onda (SOUZA, 2004), que corresponde a alguns centímetros (QUADRO 2).

| Fase da Onda Portadora | Erro aproximado provocado pelo multicaminho |
|------------------------|---|
| L1 | 4,8 cm |
| L2 | 6,1 cm |

QUADRO 2 – VALOR APROXIMADO DOS ERROS GERADOS POR MULTICAMINHO PARA AS ONDAS PORTADORAS
 FONTE: LEANDRO ET AL. (2008)

Os erros acarretados pelo multicaminho na fase da onda portadora estão entre os grandes problemas para posicionamento relativo estático e cinemático de alta precisão (RAY, 1999).

2.5.2 Multicaminho na Pseudodistância

O efeito de multicaminho na pseudodistância é muitas vezes maior do que para a onda portadora. As observações do código P são afetadas duas vezes mais do que as de fase da onda portadora (SEEBER, 2003). Segundo Monico (2000), o erro máximo também será proporcional ao comprimento da onda que, no caso da

pseudodistância, está relacionada com a razão de transmissão dos códigos C/A (1,023 MHz) e P (10,23 MHz). Quanto maior for a frequência, menor será o erro máximo.

Para quantificar esse valor se utiliza a equação básica de ondulatória da física:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.4)$$

onde:

λ - comprimento de onda;

c - velocidade da luz no vácuo (300.000.000 m/s);

f - frequência.

Através da equação 3.4 obtêm-se que o multicaminho derivado do código P será menor do que o multicaminho derivado do código C/A (QUADRO 3). Se combinações lineares forem feitas, esses valores podem ser ainda maiores (SOUZA, 2004). Para mais informações recomendam-se: Souza (2004 e 2008), Ray (2000), Leick (2004).

| Código | Erro aproximado provocado pelo multicaminho |
|--------|---|
| P | 14,66 m |
| C/A | 146,62 m |

QUADRO 3 – VALOR APROXIMADO DOS ERROS GERADOS POR MULTICAMINHO PARA OS CÓDIGOS
 FONTE: LEANDRO ET AL. (2008)

2.5.3 Multicaminho no Posicionamento Estático

Para posicionamentos estáticos (FIGURA 13) a geometria de propagação muda lentamente. Os parâmetros do multicaminho mantêm-se praticamente constantes por alguns minutos. Com o receptor fixo num ponto e o ambiente inalterado, o erro de multicaminho muda somente devido ao movimento do satélite; ou seja, devido basicamente à mudança de elevação e azimute deste. A coleta de dados um ponto por um tempo prolongado, suficiente para haver repetição da geometria dos satélites, por pelo menos 24 horas, permite que através do processamento e análises desses dados se detectem os erros de multicaminho.

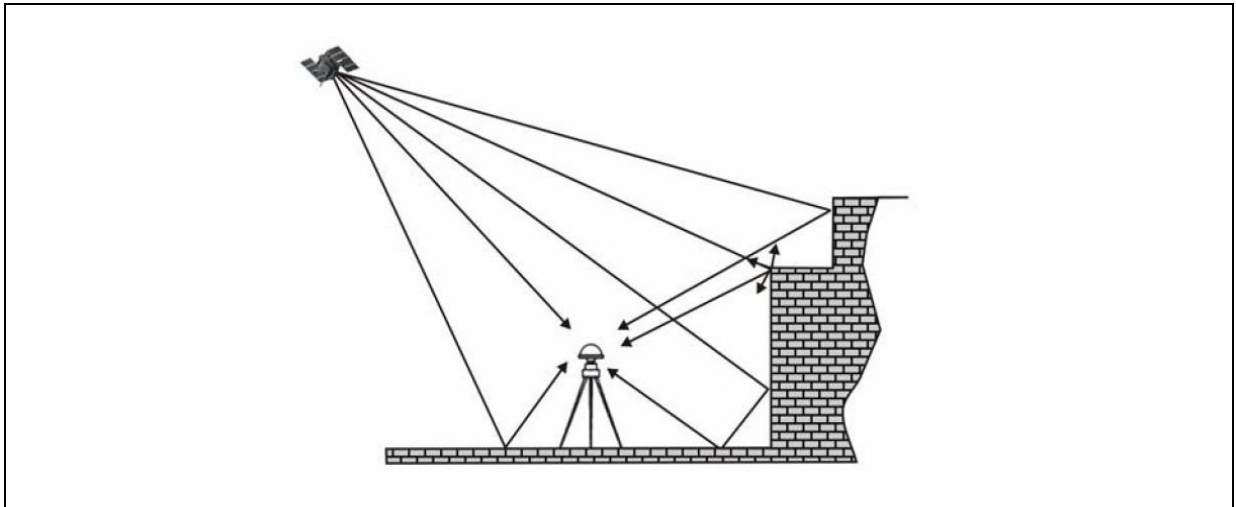


FIGURA 13 – MULTICAMINHO ESTÁTICO
 FONTE: SOUZA (2004)

2.5.4 Multicaminho no Posicionamento Cinemático

Quando o receptor se encontra em movimento o efeito de multicaminho mostra-se aleatório, não se repetindo devido à mudança rápida da geometria dos satélites. Segundo Farret (2000) tal característica torna difícil a modelagem ou previsão do comportamento desse efeito. Esse é um dos maiores implicadores nos posicionamentos cinemáticos de aviões e embarcações (FIGURA 14). No caso das embarcações, a água é uma superfície muito refletora e quando esses meios de transporte encontram-se sobre mares e oceanos tornam-se mais propensos à recepção de sinais advindos de satélites de baixa elevação.

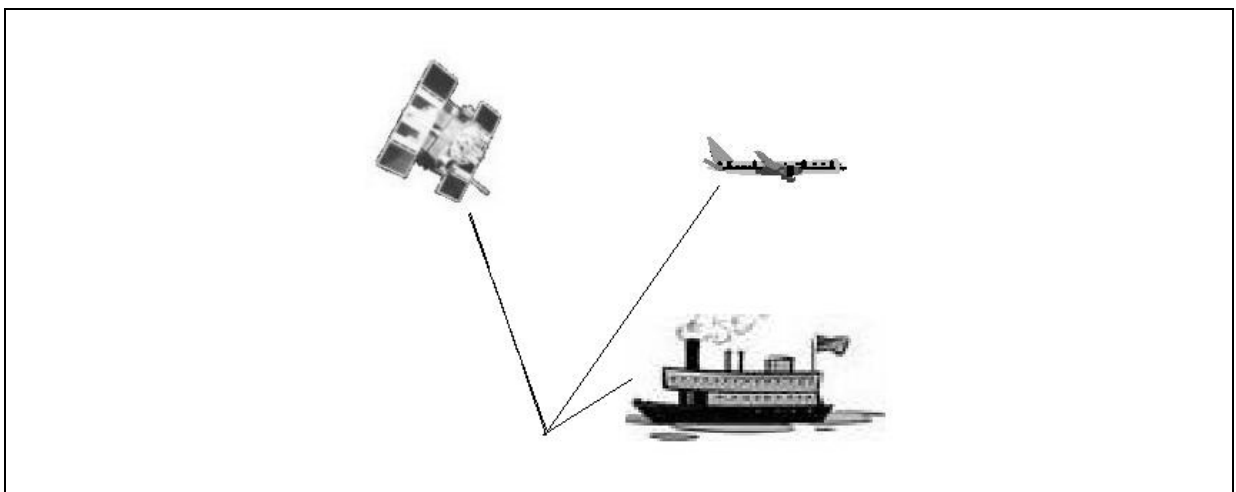


FIGURA 14 – MULTICAMINHO CINEMÁTICO
 FONTE: A autora (2009)

No entanto, de um modo geral, o efeito de multicaminho que afeta os levantamentos cinemáticos possui uma amplitude muito menor do que o multicaminho que afeta os levantamentos estáticos.

2.5.5 Sinais dos satélites de baixa elevação

Os sinais dos satélites com elevação baixa geralmente são mais afetados por multicaminho devido ao fato de estarem mais sujeitos à reflexão em saliências das edificações e construções próximas ao horizonte.

O sinal refletido é sempre mais fraco que o sinal direto devido à atenuação no objeto refletor. Esta atenuação depende do material do refletor, do ângulo incidente da reflexão e da polarização do sinal. Em geral, reflexões com ângulos de incidência muito baixos praticamente não sofrem atenuação. Esta é uma das explicações para o fato de satélites com baixo ângulos de elevação gerarem fortes incidências de multicaminho (LEICK, 1995).

2.5.6 Técnicas para Minimizar o Multicaminho

Devido a dimensão dos erros causados pelo efeito de multicaminho muitos estudos tem sido direcionados para desenvolver técnicas para minimizá-lo. Entre elas podemos citar:

- a) Planejamento das observações - Segundo Seeber (2003), alguns critérios devem ser levados em consideração no planejamento das observações, tais como: evitar refletores nas proximidades, usar a antena mais próxima do chão e coletar dados por longo intervalo de tempo;
- b) Antena Especial - utilização de antenas choke-ring (que é composta por um plano de terra com uma série de círculos concêntricos com altura de aproximadamente um quarto do comprimento de onda) para minimizar os sinais secundários que chegam por baixo da antena, reflexão proveniente do chão;
- c) Coleta de dados por longo intervalo de tempo – A mudança de geometria quando se realiza observações por um longo período de tempo permite que

haja mudança da geometria das reflexões secundárias, sendo possível determiná-las.

- d) Calibração da estação – neste método se desvincula o multicaminho através do movimento controlado de um robô. O robô opera perto da estação a ser calibrada. A estação fixa está sujeita a todos os sinais com multicaminho, enquanto a estação móvel elimina o multicaminho através de movimentos controlados. Esta técnica pode ser utilizada para caracterizar o multicaminho em um local fixo.

Maiores informações sobre técnicas para minimização do efeito de multicaminho podem ser encontradas em Seeber (2003), Monico (2008), Souza (2004), Moelker (2007), entre outros.

2.5.7 Relação Sinal Ruído

Os receptores e antenas GPS geram, a partir de um campo elétrico existente, um sinal denominado relação sinal ruído (ingl. signal-to-noise ratio - SNR ou S/N), estimada a partir do quociente entre a energia do sinal e a energia do ruído (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Segundo Souza (2008), a SNR é a relação da potência do sinal do receptor (S_r), pelo nível de potência do ruído (N_r), e é representada por uma medida logarítmica em decibels (dB), definida por:

$$SNR \stackrel{\Delta}{=} 10 \text{Log} \left(\frac{S_r}{N_r} \right) \quad (3.5)$$

O efeito do multicaminho não afeta somente o código e a fase da portadora, mas também a relação sinal ruído (RAY, 2000). O valor da SNR é inversamente proporcional ao efeito do multicaminho. Quanto maior o valor da SNR, menor o efeito do multicaminho, e quanto menor a SNR, maior esse efeito (SOUZA et al, 2005). Uma característica importante da SNR, que deve ser levada em consideração, é a sua alta correlação com o ângulo de elevação do satélite (FARRET ET AL, 2003).

Freiberger Junior (2007) afirma que, recentemente, os valores da SNR têm sido introduzidos como um indicador de qualidade para as observações GPS e usados no desenvolvimento de modelos para a redução do efeito de multicaminho.

Segundo Ray (1999), a intensidade do sinal expressa pelos valores da SNR é uma função dos parâmetros de multicaminho da fase da onda portadora.

Segundo Diggelen e Abraham (2001) a SNR para receptores em ambientes internos aumenta significativamente, os sinais GPS são atenuados em torno de 23 dB.

2.6 SISTEMA DE REFERÊNCIA

O GPS está associado ao sistema de referência WGS84 quando se utilizam efemérides transmitidas⁶. Segundo Monico (2008), sua origem é o centro de massa da Terra, com os eixos cartesianos X, Y, Z definidos de forma idêntica aos do CTRS (*Conventional Terrestrial Reference System* – Sistema de Referência Terrestre Convencional) para a época 1984,0. O elipsóide de referência é o WGS 84, um elipsóide de revolução geocêntrico, que em nível prático coincide com o GRS 80.

2.7 DUPLA DIFERENÇA DAS OBSERVÁVEIS GPS ENTRE DIFERENTES ESTAÇÕES

A dupla diferença (DD) é gerada pela subtração de duas simples diferença (SD), sendo a simples diferença formada pelas combinações entre satélites e estações (FIGURA 15). A configuração mais utilizada para o cálculo de uma simples diferença é o uso de dois receptores rastreando um mesmo satélite no mesmo instante. Na dupla diferença são utilizados dois receptores e dois satélites. Segundo Monico (2000), a equação de dupla diferença para a fase é normalmente a observável preferida no processamento de dados GPS, por proporcionar a melhor relação entre o ruído resultante e a eliminação dos erros sistemáticos envolvidos nas observáveis originais. A equação 3.6 (MONICO, 2008) corresponde a dupla diferença para a fase da onda portadora:

⁶ As efemérides transmitidas (Broadcast Ephemerides) contêm informações das posições e do sistema de tempo dos satélites em tempo real, permitindo a determinação das coordenadas do satélite.

$$\Delta\Phi_{1,2}^{1,2} = \frac{f^{S_1}}{c}(\Delta\rho_{1,2}^1) - \frac{f^{S_2}}{c}(\Delta\rho_{1,2}^2) + f^{S_1}(dt_1 - dt_2) - f^{S_2}(dt_1 - dt_2) + N_{1,2}^{1,2} + v_{\phi_{DD}} \quad (3.6)$$

com

$$N_{1,2}^{1,2} = N_{1,2}^1 - N_{1,2}^2 = -N_1^1 - N_2^1 - N_1^2 + N_2^2 \quad (3.7)$$

sendo

- f - freqüência da observável;
- c - velocidade de propagação da luz no vácuo;
- $N_{1,2}^{1,2}$ - ambigüidade da dupla diferença
- $\Delta\rho_{1,2}^1, \Delta\rho_{1,2}^2$ - simples diferença
- $v_{\phi_{DD}}$ - resíduo da dupla diferença da fase da onda portadora

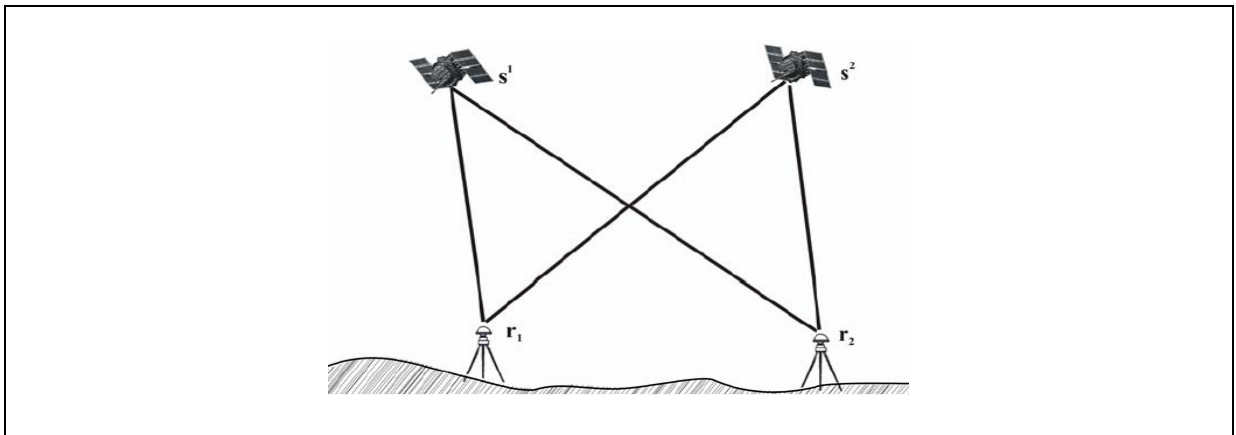


FIGURA 15 – FORMAÇÃO DA DUPLA DIFERENÇA
 FONTE: SOUZA (2004)

Uma das principais características da diferenciação entre as observações simultâneas coletadas em duas estações diferentes utilizando a dupla diferença é a eliminação e redução de alguns erros inerentes às observáveis originais (SILVA, 2005). Segundo Souza (2004), o multicaminho não é eliminado na DD, pois depende da geometria entre receptor, satélite e refletor, ou seja, das condições espaciais de reflexão do sinal na região onde está localizada a antena do receptor.

3. METODOLOGIA

Em ambientes internos os sinais GPS chegam muito atenuados, impossibilitando a coleta pelos receptores geodésicos, conseqüentemente não permitindo o posicionamento, pois esses sinais atenuados são rejeitados pela antena. No entanto, nesta pesquisa cogitou-se a possibilidade de utilizar o efeito de multicaminho, um erro inerente ao posicionamento GPS, como solução para a determinação de coordenadas nesses locais. O experimento consta da colocação da antena sobre um marco localizado em ambiente interno, cuja finalidade será a determinação das suas coordenadas, utilizando os sinais de multicaminho provenientes de superfícies refletoras. Neste capítulo apresenta-se a metodologia empregada no trabalho. Nas seções 3.1 e 3.2 são descritos os métodos de posicionamento e descreve-se a área de estudo. Na seção 3.3 são apresentados os equipamentos para a coleta de dados. Na seção 3.4 é descrito o desenvolvimento do anteparo para a antena. Na seção 3.5.1, é descrito o procedimento para a determinação das coordenadas de referência, e do levantamento para a identificação da influência do entorno da área do experimento nos sinais da antena, para verificar como se comporta o efeito de multicaminho e sua influência no experimento. Nas seções 3.5.2 e 3.5.3, são descritos os procedimentos e as estratégias de posicionamento utilizando superfícies de alumínio para à reflexão dos sinais GPS. E na seção 3.6 são apresentados de forma sucinta programas utilizados para o processamento e análise da qualidade do posicionamento, em ambientes internos, utilizando superfícies refletoras para redirecionar o sinal GPS.

3.1 POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO

Devido ao fato de apenas o efeito de multicaminho não ser reduzido quando se considera o posicionamento relativo envolvendo linha de bases curtas (SOUZA, 2008) esse foi o método de posicionamento adotado nas sessões do experimento. O tempo de ocupação do ponto variou de 3 a 8 horas por sessão de levantamento, as quais foram realizadas entre 9 e 17 horas local e em todas as sessões foram utilizados os mesmos equipamentos descritos na seção 3.3. Os dados brutos foram coletados com um intervalo de gravação de 1 segundo. As estações de referência

para o processamento dos dados foram a estação UFPR, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, localizada a aproximadamente 30 metros do observatório astronômico Camil Gemael; e a estação UNICENP, da empresa Manfra, localizada a aproximadamente 12 quilômetros do primeiro.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo para a realização deste trabalho foi uma sala localizada no prédio da 1ªBCALBR (FIGURA 16), o observatório astronômico, onde encontra-se o marco, situado no campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, na cidade de Curitiba.



FIGURA 16 – PRÉDIO DA 1ªBCALBR E DETALHE DO OBSERVATÓRIO CAMIL GEMAEEL
FONTE: A autora (2009)

O telhado dessa sala é formado por uma estrutura metálica móvel que permite o deslocamento lateral. Esse deslocamento permitiu o rastreamento do ponto para a determinação das coordenadas que foram utilizadas como padrão e um estudo preliminar do comportamento do multicaminho do entorno (FIGURA 17).

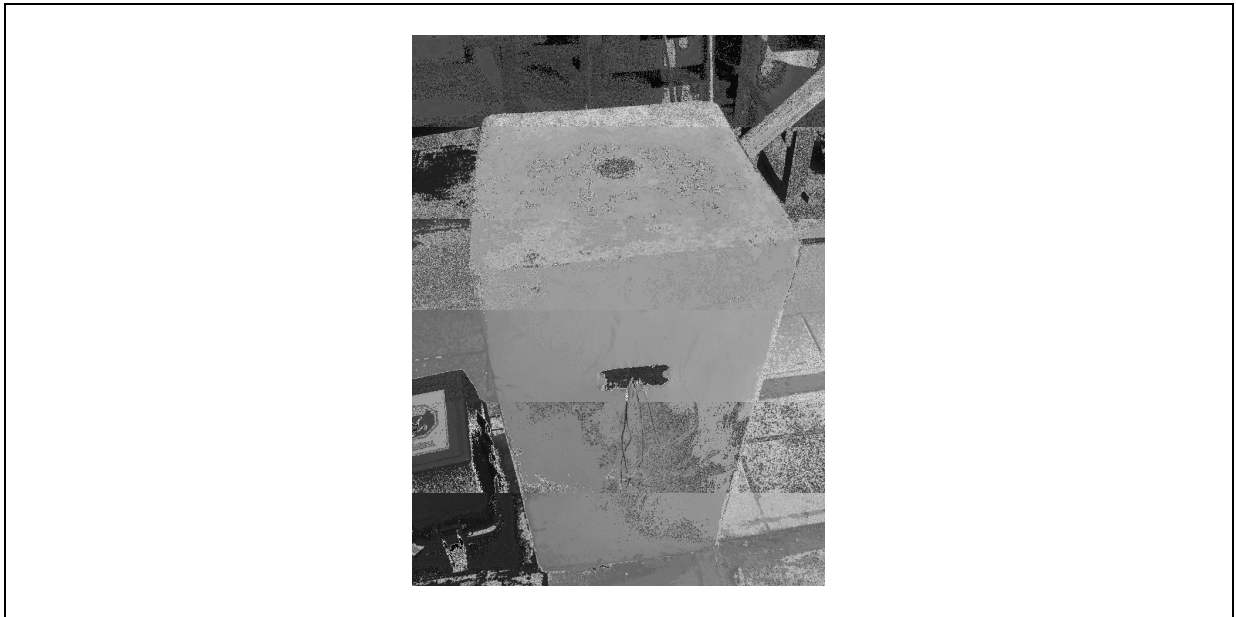


FIGURA 17 – MARCO
FONTE: A autora (2009)

3.3 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados para a coleta dos dados são descritos nas seções 3.3.1 e 3.3.2.

3.3.1 Antena e Receptor

Para a aquisição das observações GPS foram utilizados os seguintes receptor e antena:

- Receptor geodésico de dupla frequência LEICA GPS900 (FIGURA 18).
- Antena LEICA ATX900 (FIGURA 18).



FIGURA 18 – RECEPTOR LEICA GPS900 E ANTENA LEICA ATX900
FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2008)

3.3.2 Refletores

Para permitir a coleta de dados foram utilizados refletores, isto é, superfícies lisas e polidas que refletem o sinal do GPS. No experimento foram utilizadas como superfície refletora duas chapas de alumínio, um material maleável e resistente à corrosão, na dimensão de 1x1m (FIGURA 19).

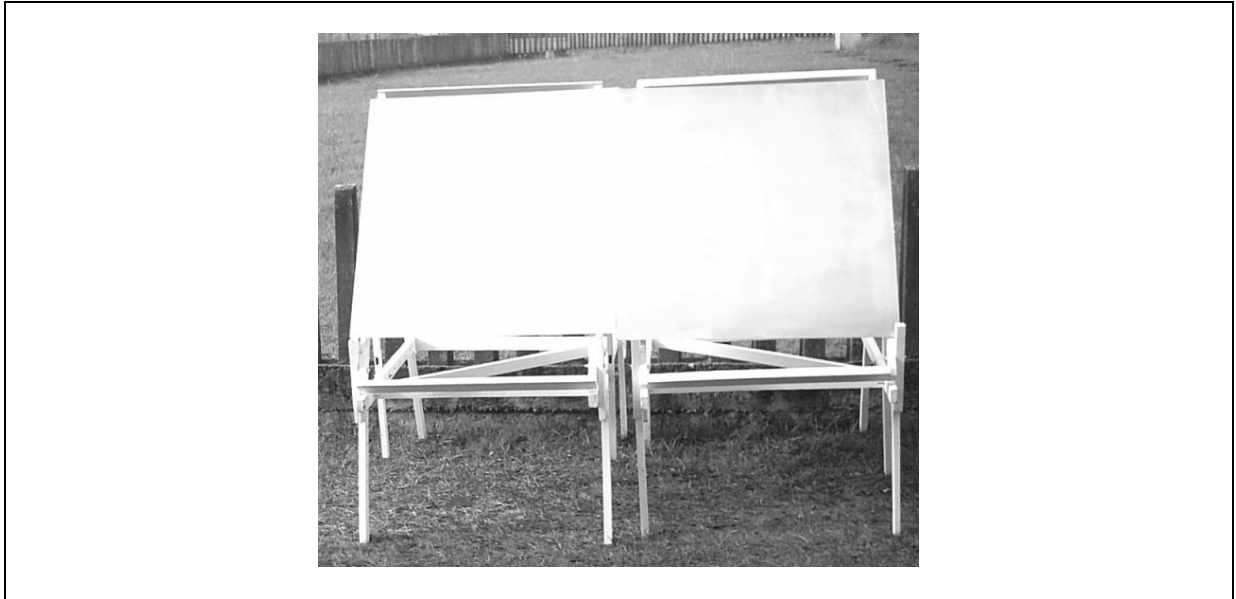


FIGURA 19 – CHAPAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS COMO REFLETORES
FONTE: A autora (2009)

3.4 DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA ANTENA

Nesta seção é descrito o desenvolvimento de um anteparo, um dispositivo, para antena que possibilita movimentos específicos de: de inclinação e rotação radial controlada para a coleta dos dados do experimento.

O dispositivo para a antena possui um movimento de inclinação da antena, que passaremos a chamar de movimento de elevação (FIGURA 20). Esse movimento permite manter a antena na posição normal, voltada para o zênite, o qual é considerado como 90° , e a partir desta posição é inclinado de 10 em 10° , de 90° até o limite de -30° .

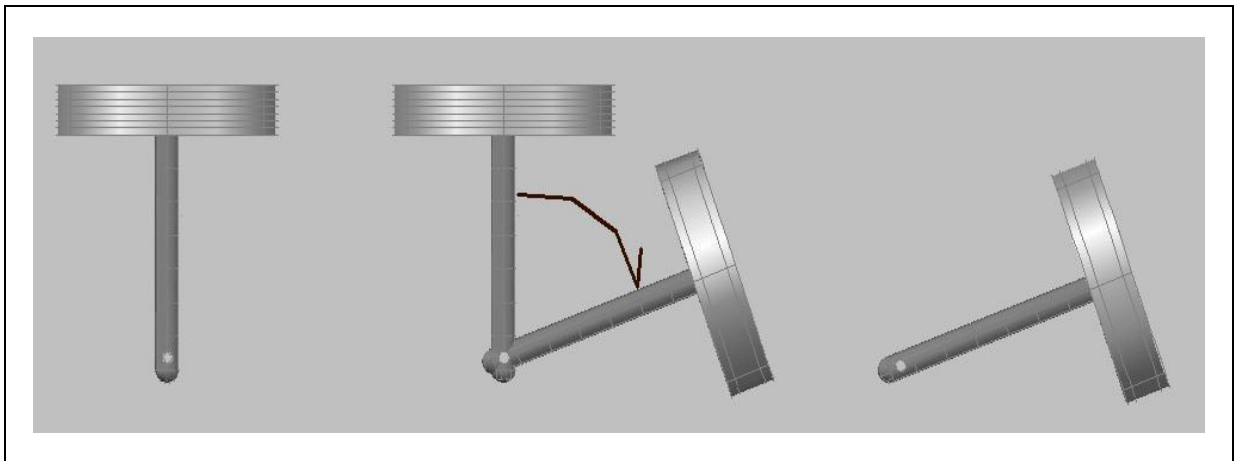


FIGURA 20 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO MOVIMENTO DE ELEVAÇÃO DA ANTENA GPS.
 FONTE: A autora (2009)

O outro movimento que o suporte viabiliza o movimento horizontal da antena, o qual é denominado movimento azimutal (FIGURA 21). O usuário pode determinar uma direção qualquer para o início da coleta de dados, por exemplo, orientar a antena para o norte, situando o zero da graduação para essa direção e a partir desta orientar a antena de 10 em 10°, pode girá-la controladamente de 0° a 360°.

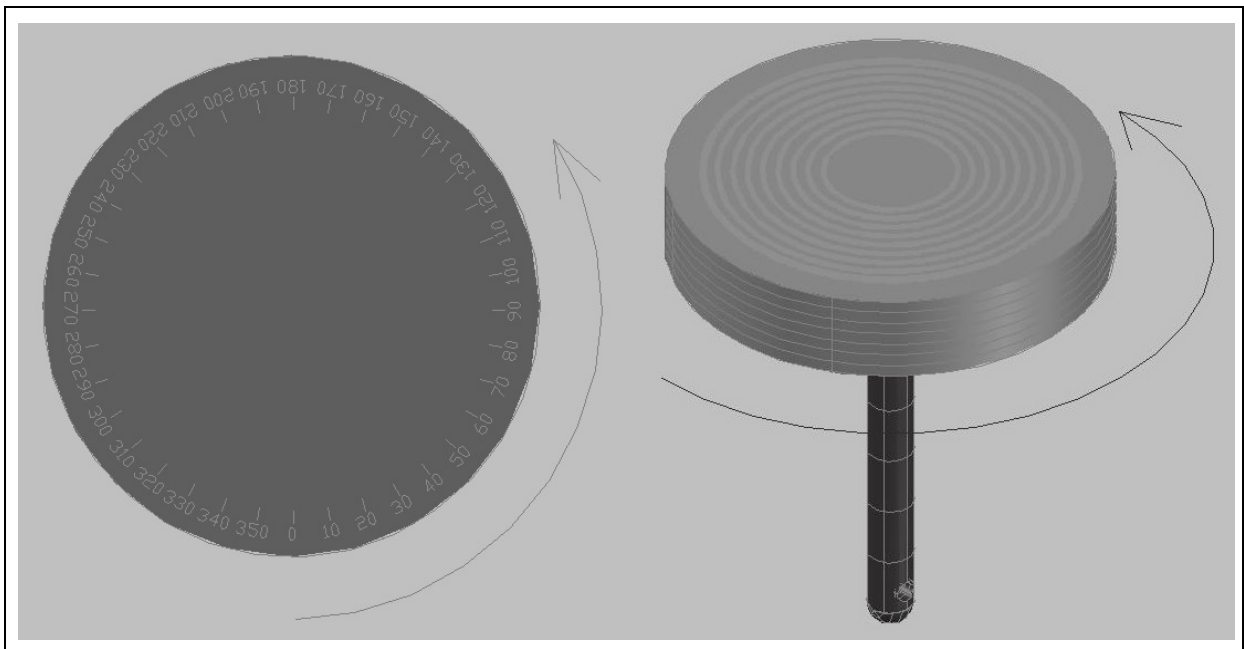


FIGURA 21 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO MOVIMENTO AZIMUTAL DA ANTENA GPS.
 FONTE: A autora (2009)

O projeto do dispositivo para a antena foi planejado e desenvolvido em ambiente AutoCAD. A movimentação controlada da antena tanto para o movimento de elevação quanto para o movimento azimutal foram concebidos de forma

completamente independentes. O projeto 3D, foi gerado para permitir uma visualização prévia da peça (FIGURA 22), facilitando alterações de projeto antes do início da sua fabricação e a discussão da real possibilidade de sua usinagem.

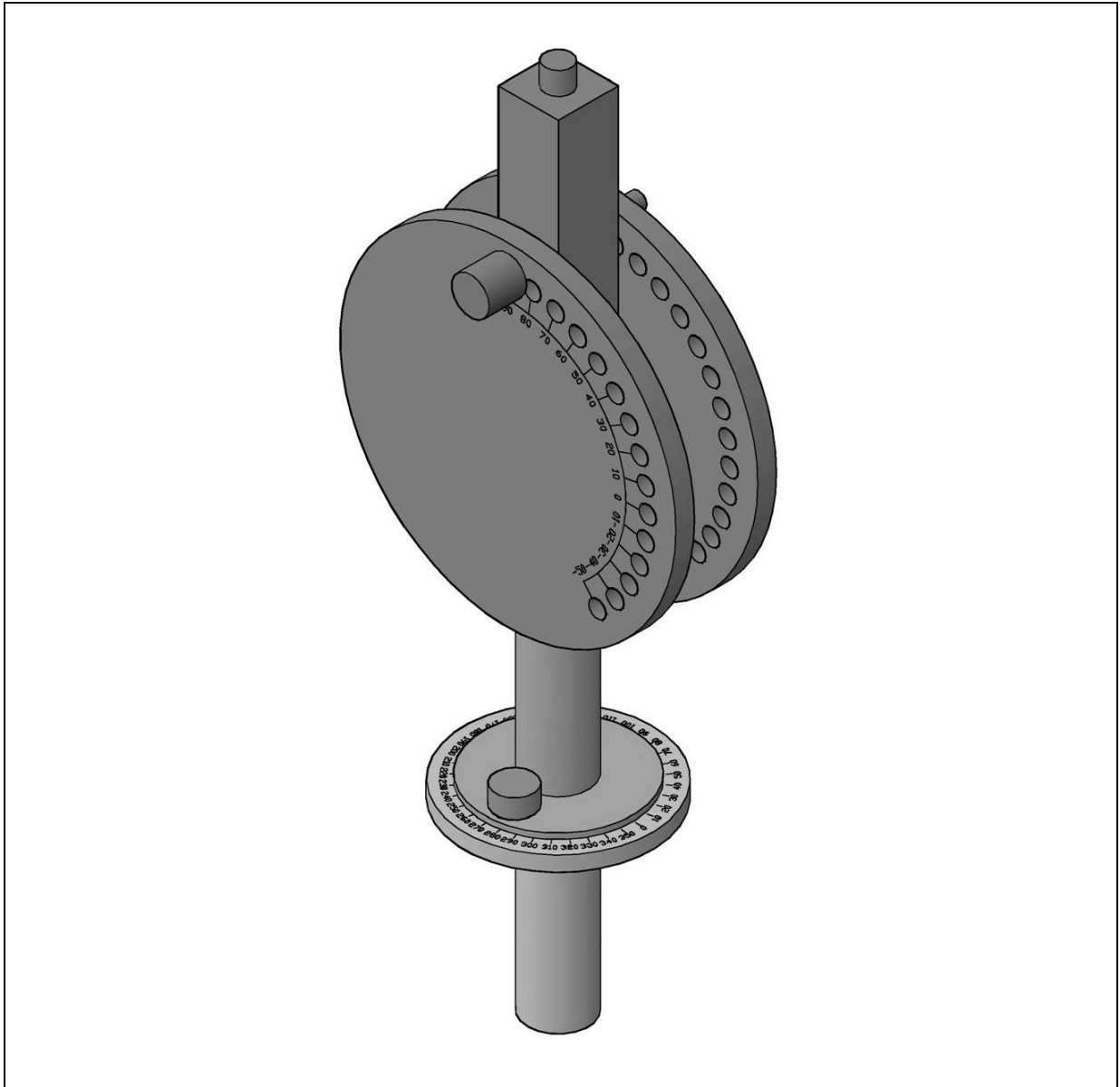


FIGURA 22 – PRÉ-PROJETO DO SUPORTE PARA ANTENA GPS.
FONTE: A autora (2009)

Para ser possível ocupar o ponto também foi necessário o desenvolvimento de uma base de fixação que não alterasse a estrutura do marco geodésico (FIGURA 23), sobre a qual deve ser colocada uma base niveladora.

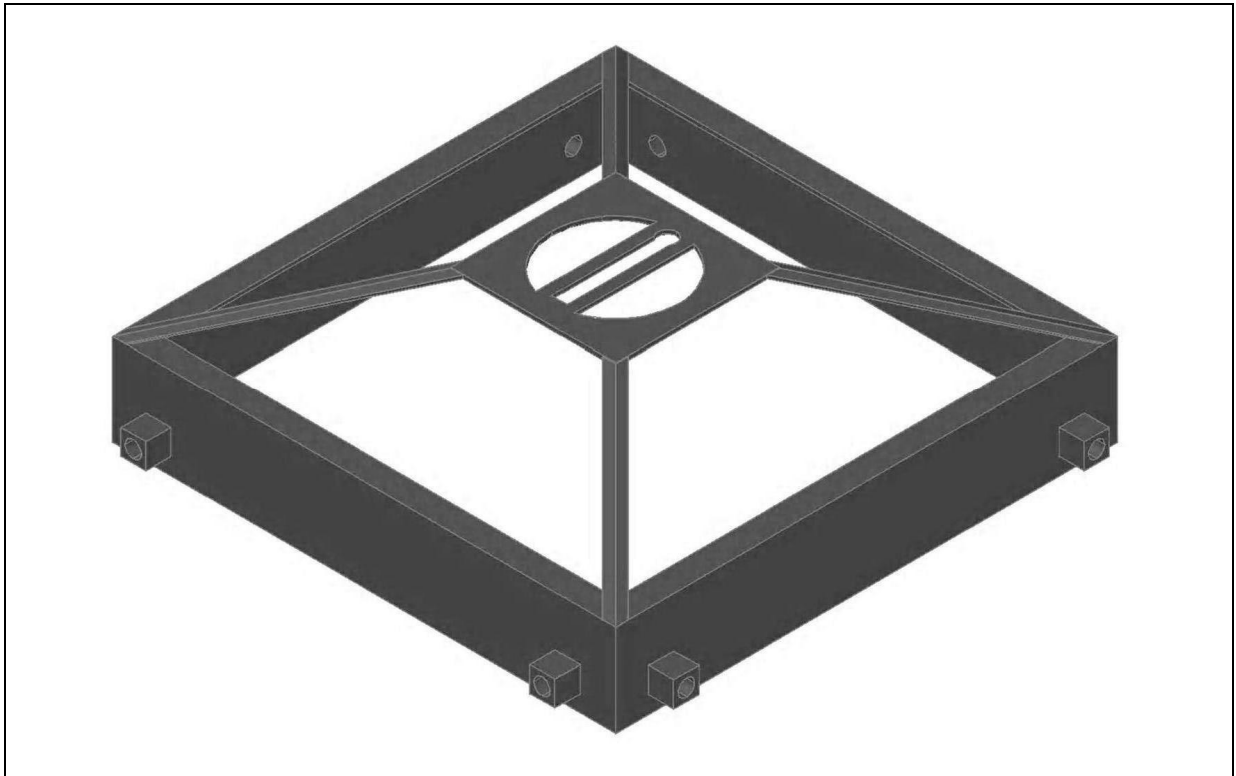


FIGURA 23 – PRÉ-PROJETO BASE DE FIXAÇÃO DO DISPOSITIVO PARA ANTENA GPS.
FONTE: A autora (2009)

O dispositivo para a antena GPS deve ser fixado em um adaptador que se encaixa sobre uma base niveladora (FIGURA 24). Dessa forma quando a antena for instalada sobre o marco, poder ser colocada exatamente sobre o centro da chapa e todos os equipamentos serão nivelados através da base niveladora.

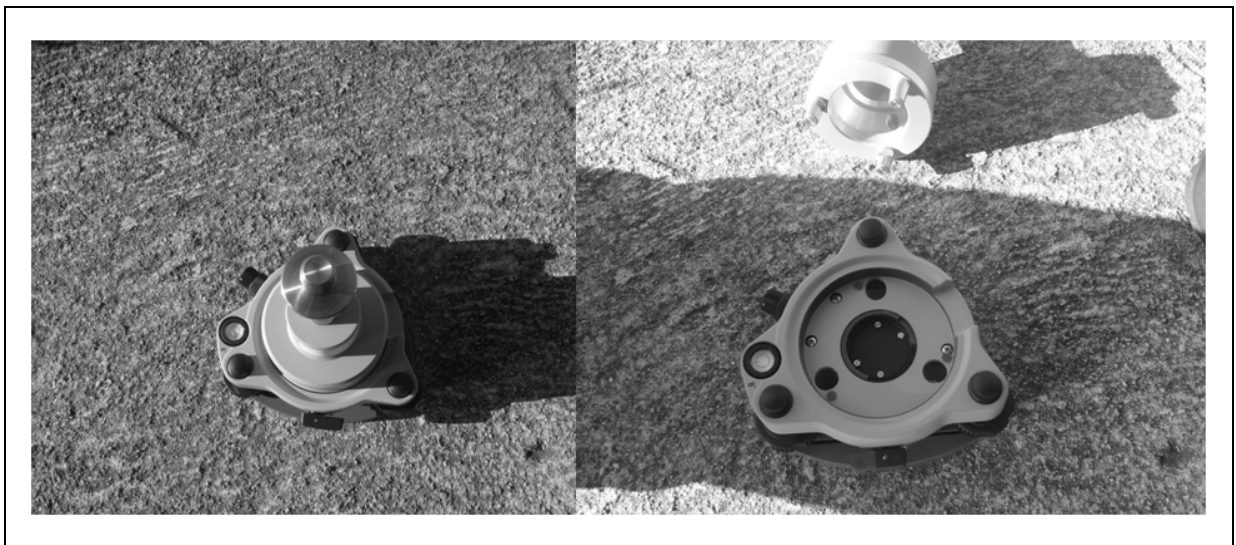


FIGURA 24 – BASE NIVELADORA E ADAPTADOR PARA O SUPORTE DA ANTENA.
FONTE: A autora (2009)

Nas Figuras 25 e 26 pode-se observar o esquema do sistema completo.

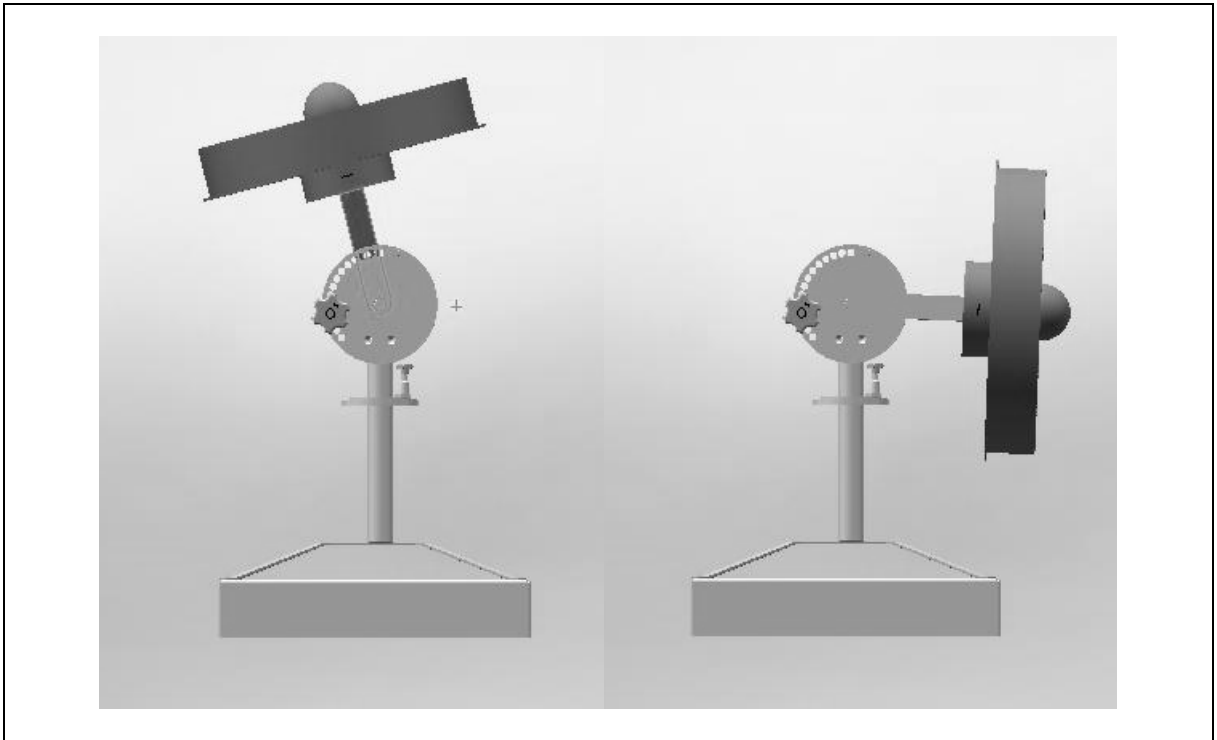


FIGURA 25 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA COMPLETO.
FONTE: A autora (2009)

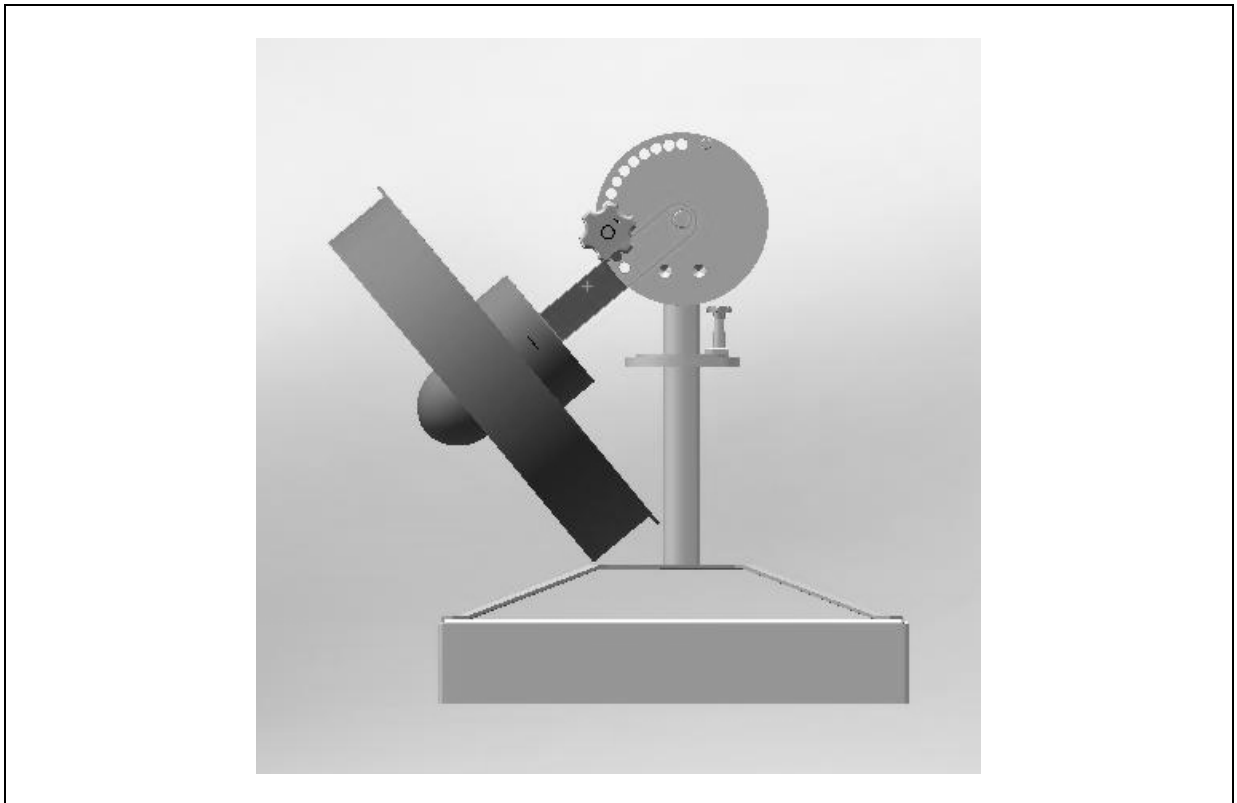


FIGURA 26 – DETALHE DO SISTEMA COMPLETO.
FONTE: A autora (2009)

3.5 ETAPAS DE RASTREIO

O experimento adotou três etapas distintas:

- Etapa 1: Coleta de dados colocando a antena sobre o marco com o telhado aberto;
- Etapa 2: Coleta de dados colocando tanto a antena GPS como as superfícies refletoras em ambiente interno;
- Etapa 3: Coleta de dados colocando a antena em ambiente interno e as superfícies refletoras em ambiente externo.

3.5.1 Etapa 1

Na etapa 1, realizou-se o rastreamento GPS sobre o marco com o telhado aberto e um transporte de coordenadas de primeira ordem por técnicas tradicionais, para se definir as coordenadas de referência do marco e para identificar a influência do entorno da área no experimento.

Para a definição das coordenadas de referência com GPS, empregou-se uma haste extensora na qual a antena do receptor foi acoplada a 5 metros de altura. Dessa maneira a antena permaneceu posicionada sobre o marco e acima do telhado (FIGURA 27), não sendo afetada pelo multicaminho proveniente das paredes e outros objetos existentes no interior do laboratório.



FIGURA 27 – RASTREIO COM O TELHADO ABERTO
FONTE: A autora (2009)

A sessão de rastreio foi realizada em 16 de outubro de 2008, durou 6 horas e 30 minutos. A haste foi amarrada em quatro pontos da estrutura do laboratório para evitar deslocamentos laterais devido à ação do vento (FIGURA 28).



FIGURA 28 – RASTREIO COM A HASTE EXTENSORA
FONTE: A autora (2009)

As coordenadas do marco localizado no observatório também foram obtidas através do transporte de coordenadas pelo método dos Três Tripés proposto pelo Prof. Dr. Pedro Luís Faggion.

O procedimento para o transporte de coordenadas utilizando o método dos três tripés, consiste na fixação de um tripé na estação de coordenadas conhecidas (ré) com um alvo sobre ele. Um segundo tripé deve ser posicionado sobre um segundo ponto também com coordenadas conhecidas e sobre ele colocado a estação total. Num terceiro tripé um ponto intermediário qualquer (vante) deve ser disposto um prisma.

Com a estação total é efetuada uma visada na estação ré e logo após na estação vante. Efetuando-se leituras das distâncias e dos ângulos, em três séries de PD e PI. Após esse procedimento, desloca-se o alvo para o tripé no qual anteriormente localizava-se a estação total, e esta para o tripé em localizava-se o prisma. E o tripé em que inicialmente estava posicionado na ré deve ser deslocado para o próximo ponto. Nova seqüência de leituras, idênticas a anterior devem ser efetuadas. Todo o procedimento é repetido até o alcance do marco localizado no interior do observatório.

Em cada um dos pontos em que a estação total foi posicionada realizam-se leituras de pressão atmosférica e temperatura seca e úmida, para a correção dos efeitos ambientais nas medidas das distâncias.

Os cálculos do transporte de coordenadas foram efetuados utilizando-se o formulário de Puissant (problema direto), utilizando as distâncias já corrigidas dos efeitos ambientais. O azimute inicial foi obtido a partir de dois pontos com coordenadas (latitude e longitude) conhecidas, aplicando-se o problema inverso. Maiores informações sobre a metodologia de transporte de coordenadas podem ser encontradas em Faggion e Veiga (2008).

Em 9 e 11 de julho de 2008 foi realizado um rastreamento com a antena locada sobre o marco (FIGURA 29), mantendo as portas do laboratório fechadas e somente o telhado aberto. O propósito desse levantamento foi verificar como o efeito de multicaminho causado pelo entorno da antena afetava as coordenadas do ponto.



FIGURA 29 – RASTREIO COM A ANTENA SOBRE O MARCO E O TELHADO ABERTO. A) VISTA SUPERIOR DO OBSERVATÓRIO. B) VISTA LATERAL.
FONTE: A AUTORA (2009)

3.5.2 Etapa 2

Na etapa 2 foi verificada a possibilidade de recepção do sinal GPS em ambiente interno, através da reflexão por placas de alumínio, também localizadas neste ambiente.

Os equipamentos, receptor LEICA GPS900 e antena LEICA ATX900, foram instalados neste ambiente, o qual permaneceu com o telhado totalmente fechado durante a coleta de dados, sendo que a porta localizada ao fundo do prédio era a única abertura para o exterior.

Nesta etapa a antena deveria ser colocada sobre o anteparo desenvolvido na seção 3.4, no entanto, a usinagem do dispositivo não foi possível devido a falta de recursos financeiros e pelo curto espaço de tempo. Dessa forma se buscou solução alternativa, que foi posicionar a antena sobre um tripé, deslocada do seu centro, amarrada a um bastão, e posicionada próxima ao marco voltada para a parede, na qual se colocaram as superfícies refletoras. Desta forma, pode ser avaliada a probabilidade da antena GPS receber somente sinais de multicaminho em ambiente interno. Na FIGURA 30, têm-se a disposição da antena e das superfícies refletoras no interior da sala.

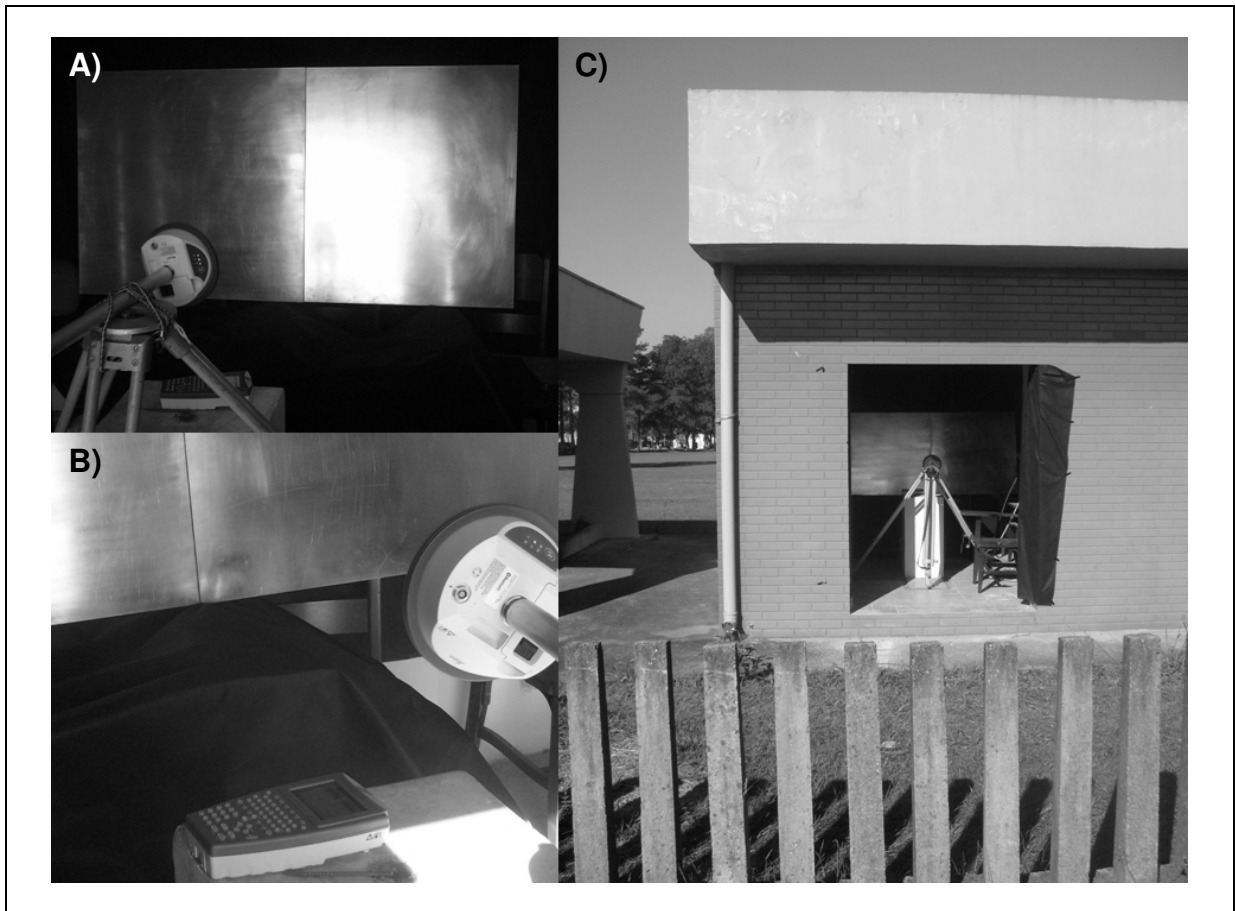


FIGURA 30 – VERIFICAÇÃO DA REFLEXÃO DE MULTICAMINHO EM AMBIENTE INTERNO. A) ANTENA POSICIONADA SOBRE O MARCO. B) DETALHE DA ANTENA ATX900 SOBRE O MARCO. C) VISTA EXTERNA DO EXPERIMENTO.
 FONTE: A autora (2009)

As sessões de rastreamento realizaram-se nos dias 6 e 7 de maio de 2008, sendo que o tempo de rastreamento foi de 3 horas para a primeira sessão e de 8 horas para a segunda sessão. No entanto, o tempo efetivo de coleta de dados é muito inferior ao tempo total de rastreamento (QUADRO 4).

| Sessão | Estratégia | Data | Tempo de Rastreamento | Tempo Efetivo de Coleta de dados |
|----------|------------|----------|-----------------------|----------------------------------|
| Sessão 1 | 2 | 6/5/2008 | 3 horas | 47 minutos |
| Sessão 2 | 2 | 7/5/2008 | 8 horas | 24 minutos |

QUADRO 4 – SESSÕES DE RASTREIO ESTRATÉGIA 2
 FONTE: A autora (2009)

3.5.3 Etapa 3

Na etapa 3, analisou-se a possibilidade da recepção do sinal GPS em ambiente interno, o qual é proveniente tanto das superfícies refletoras localizadas em ambiente externo como de sinais diretos.

A antena foi instalada no interior do observatório astronômico, direcionada para o ambiente externo (FIGURA 31), através de uma porta. Esta porta situa-se alinhada aproximadamente à linha de azimute de aproximadamente $120\text{-}300^\circ$ na direção leste. Em frente a porta, foram instaladas as duas superfícies refletoras (FIGURA 31).



FIGURA 31 – VERIFICAÇÃO DA REFLEXÃO DE MULTICAMINHO EM AMBIENTE INTERNO UTILIZANDO A ETAPA 3. A) VISTA DOS REFLETORES LOCALIZADOS NA PARTE EXTERNA. B) ANTENA SOBRE O MARCO. C) VISTA DA ANTENA LOCALIZADA NO INTERIOR DO OBSERVATÓRIO.

FONTE: A autora (2009)

As superfícies refletoras tiveram a função de redirecionar sinais GPS advindos de satélites de elevação alta, superior a 35°, para o interior da sala. Devido à antena estar voltada para a direção da porta, esta além de receber os sinais de multicaminho das superfícies refletoras, pode captar sinais diretos dos satélites GPS que no momento do rastreamento apresentavam elevação e azimute visível pela antena. Essas superfícies refletoras foram colocadas para cada sessão de rastreamento com inclinações e distâncias distintas, visando investigar as diferenças nas coordenadas referentes a essas variações (inclinação e distância). No QUADRO 5, estão descritas as sessões de rastreamento com a estratégia 3, assim como o tempo em que o equipamento ficou instalado sobre o marco e o período durante o qual houve efetivamente coleta de dados, a inclinação que as superfícies refletoras e a linha de base formada com a estação de referência.

| Sessão | Estratégia | Data | Tempo de Rastreamento | Tempo Efetivo de Coleta de dados | Inclinação do Refletor | Linha de Base |
|-----------|------------|------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|---------------|
| Sessão 3 | 3 | 8/5/2008 | 4 horas | 3 horas 30 minutos | 45° | 32 m |
| Sessão 4 | 3 | 17/9/2008 | 6 horas | - | 85° | 32 m |
| Sessão 5 | 3 | 18/9/2008 | 6 horas 41 minutos | 2 horas 40 minutos | 50° | 32 m |
| Sessão 6 | 3 | 19/9/2008 | 5 horas 51 minutos | 1 hora 41 minutos | 75° | 32 m |
| Sessão 7 | 3 | 22/9/2008 | 5 horas 32 minutos | 6 minutos | 15° | 32 m |
| Sessão 8 | 3 | 2/10/2008 | 3 horas 22 minutos | 22 minutos | 65° | 32 m |
| Sessão 9 | 3 | 8/10/2008 | 5 horas 41 minutos | 2 horas 7 minutos | 75° | 12 km |
| Sessão 10 | 3 | 13/10/2008 | 5 horas | 1 hora 34 minutos | 35° | 32 m |
| Sessão 11 | 3 | 14/10/2008 | 5 horas 21 minutos | 5 horas 21 minutos | 75° | 32 m |

QUADRO 5 – SESSÕES DE RASTREIO COM A ESTRATÉGIA 3
 FONTE: A autora (2009)

3.6 PROGRAMAS

Nesta seção são apresentados os programas utilizados no trabalho para processamento, visualização e análise dos dados.

3.6.1 Processamento e Análise

3.6.1.1 TEQC

Para a análise da qualidade dos dados observados utilizou-se o programa livre TEQC, *Translate Edit Quality Check*, desenvolvido pela Universidade Navstar Consortium (UNAVCO) em ambiente MS-DOS, através de linha de comando orientada.

Com o programa TEQC processaram-se os dados do posicionamento estático coletado por um único receptor GPS de dupla frequência no formato RINEX e LEICA. Esse programa fornece dados relacionados ao efeito de multicaminho, discriminando e quantificando esse valor para cada satélite e para cada onda portadora. Por exemplo, para o satélite 30 em determinado instante, o valor referente ao multicaminho é de 0,269 m para a onda portadora L1.

Desse processamento gerou-se uma série de arquivos com indicativos de: relação sinal/ruído, multicaminho, atraso do sinal causado pela ionosfera, deriva do relógio do receptor, ângulos de azimute e elevação dos satélites. Dentre esses arquivos foram utilizados no experimento com as seguintes extensões: *.mp1 (FIGURA 32) e *.mp2, que quantificam o multicaminho presente na onda portadora L1 e onda portadora L2, em metros; *.sn1 e *.sn2 que indicam o relação sinal/ruído presente na onda portadora L1 e onda portadora L2, em decibel (dB); e *.ele que indica a elevação dos satélites.

| Nº de satélites rastreados | | | | | | | | | | Satélite 30 | | | | | | |
|----------------------------|--------|---------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| COMPACT | SVS | 01:01 | 02:02 | 03:03 | 04:04 | 05:05 | 06:06 | 07:07 | 08:08 | 09:09 | 10:10 | 11:11 | 12:12 | 13:13 | 14:14 | 15 |
| T_SAMP | | 15.0 | | | | | | | | | | | | | | |
| START_TIME_MJL | | 54192.0003471 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | 7 | 16 | 18 | 21 | 22 | 24 | 26 | 30 | | | | | | | |
| | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | |
| -1 | 0.112 | | 0.073 | | -0.106 | | -0.090 | | 0.329 | | -0.015 | | -0.084 | | 0.269 | |
| -1 | -0.125 | | 0.121 | | -0.009 | | -0.303 | | 0.669 | | 0.552 | | -0.854 | | -0.252 | |
| -1 | -0.076 | | 0.580 | | -0.244 | | -0.011 | | 0.398 | | 0.238 | | -1.384 | | -0.222 | |
| -1 | 0.001 | | -0.017 | | -0.060 | | 0.274 | | -0.348 | | 0.435 | | 2.157 | | 1.660 | |
| -1 | -0.031 | | 0.126 | | 0 | | | | | | 0.869 | | 0.984 | | 0.147 | |
| -1 | 0.363 | | -0.817 | | 0 | | | | | | 0.755 | | -0.872 | | 0.594 | |
| -1 | 0.140 | | -0.237 | | 0 | | | | | | 0.393 | | 0.725 | | -0.283 | |
| -1 | 0.281 | | -0.433 | | -0 | | | | | | -0.658 | | -2.401 | | 0.139 | |
| -1 | 0.146 | | 0.023 | | -0 | | | | | | 0.509 | | -1.688 | | -0.631 | |
| -1 | 0.114 | | 0.807 | | -0.223 | | 0.114 | | -0.160 | | 0.319 | | -2.529 | | 0.762 | |
| -1 | 0.203 | | 0.225 | | -0.055 | | 0.166 | | 0.351 | | -0.412 | | 1.888 | | -0.146 | |
| 9 | 7 | 16 | 18 | 21 | 22 | 24 | 26 | 30 | 29 | | | | | | | |
| | 0.112 | | 0.082 | | -0.303 | | 0.391 | | 0.345 | | 0.256 | | -2.303 | | -0.207 | 0.000 |
| -1 | 0.023 | | 0.655 | | 0.095 | | 0.235 | | -0.180 | | 0.394 | | -1.159 | | 0.948 | 2.248 |
| -1 | 0.008 | | -0.575 | | 0.093 | | -0.186 | | -0.132 | | 0.285 | | 0.176 | | -0.516 | 0.030 |
| 8 | 7 | 16 | 18 | 21 | 22 | 24 | 26 | 30 | | | | | | | | |

FIGURA 32 – EXEMPLO DO ARQUIVO MP1 GERADO PELO PROGRAMA TEQC PARA MULTICAMINHO.

FONTE: A autora (2009)

O valor indicativo do nível de multicaminho calculado pelo TEQC, segundo Estey e Meertens (1999), advém de combinações lineares da seguinte formulação:

$$MP_1 = P_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot L_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot L_2 = M_1 + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot m_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot m_2 \quad (3.1)$$

$$MP_2 = P_2 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot L_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot L_2 = M_2 + B_2 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot m_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot m_2 \quad (3.2)$$

Sendo as tendências

$$B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot n_1 \cdot \lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \cdot n_2 \cdot \lambda_2 \quad (3.3)$$

$$B_2 = -\left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) \cdot n_1 \cdot \lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right) \cdot n_2 \cdot \lambda_2 \quad (3.4)$$

e

$$\alpha \equiv \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (3.5)$$

Onde:

L_i comprimento da onda portadora L1 ou L2 em metros;

- P_i pseudodistância calculada por meio da onda portadora L1 ou L2 ;
- M_i multicaminho na pseudodistância para a frequência i ;
- $n_i \cdot \lambda_i$ produto do número de ciclos inteiros pelo comprimento de onda de frequência i ;
- m_i multicaminho na fase para frequência i ;
- L_i frequência da onda portadora i .

Analisando as fórmulas, percebe-se que o valor de multicaminho fornecido pelo programa TEQC é calculado basicamente a partir das observações da onda portadora e da pseudodistância. Segundo Souza e Monico (2005), analisando o terceiro membro das equações 4.1 e 4.2, verifica-se que o MP_i depende do efeito do multicaminho na pseudodistância (M_i) e fase (m_i) e das tendências B_i originadas das ambigüidades (desconhecidas) da fase. Portanto, independentemente do valor absoluto calculado para MP_1 e MP_2 , o acompanhamento de sua variação ao longo do tempo fornece informações implícitas sobre a qualidade dos dados. Logo, se um valor do MP_1 muda bruscamente, isso significa que houve um efeito acentuado de multicaminho em P_1 ou ocorreu uma perda de ciclos que provocou uma variação acentuada em B_1 (descartando, neste caso, os efeitos das modificações em m_1 e m_2 por serem os valores do efeito do multicaminho na fase muito menores que os relativos aos códigos) (SOUZA ET AL., 2005).

3.6.1.2 ASHTECH SOLUTION

O programa comercial *Ashtech Solutions 2.6*, desenvolvido pela empresa Ashtech para o sistema operacional *Windows*, permitiu através do módulo *Mission Planning* a visualização da disponibilidade e geometria da constelação GPS (FIGURA 33).

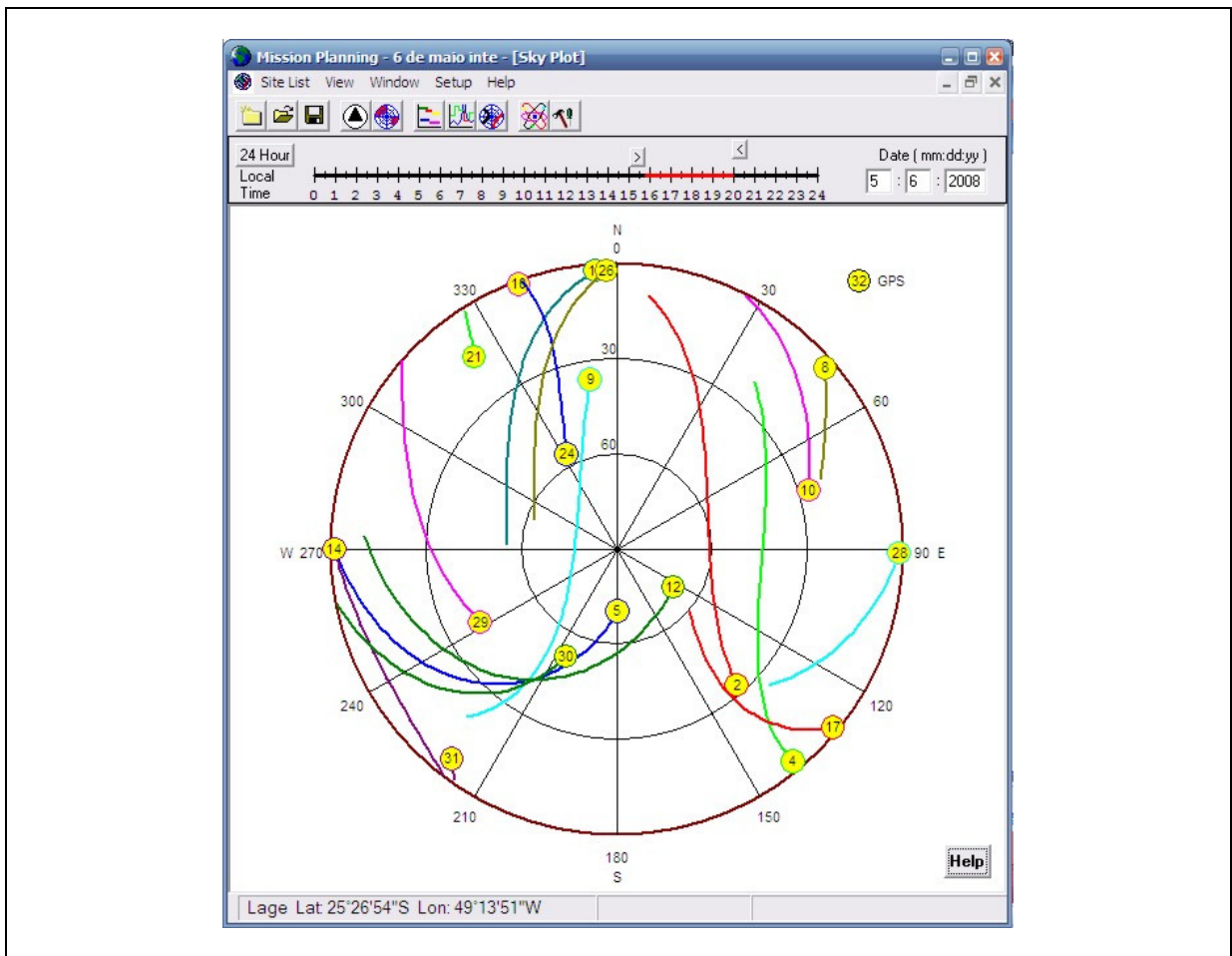


FIGURA 33 – DISTRIBUIÇÃO DOS SATÉLITES NO MÓDULO MISSION PLANNING DO PROGRAMA ASHTECH SOLUTIONS 2.6
 FONTE: A autora (2009)

3.6.1.3 LEICA Geo Office

Os dados coletados com o receptor LEICA GPS900 foram processados com o programa comercial *LEICA Geo Office 5.0 (LGO)*, desenvolvido pela empresa *LEICA Geosystems*, para o sistema operacional Windows. O LGO também foi utilizado para a visualização dos satélites rastreados e o tempo de rastreamento de cada um destes satélites (FIGURA 34).

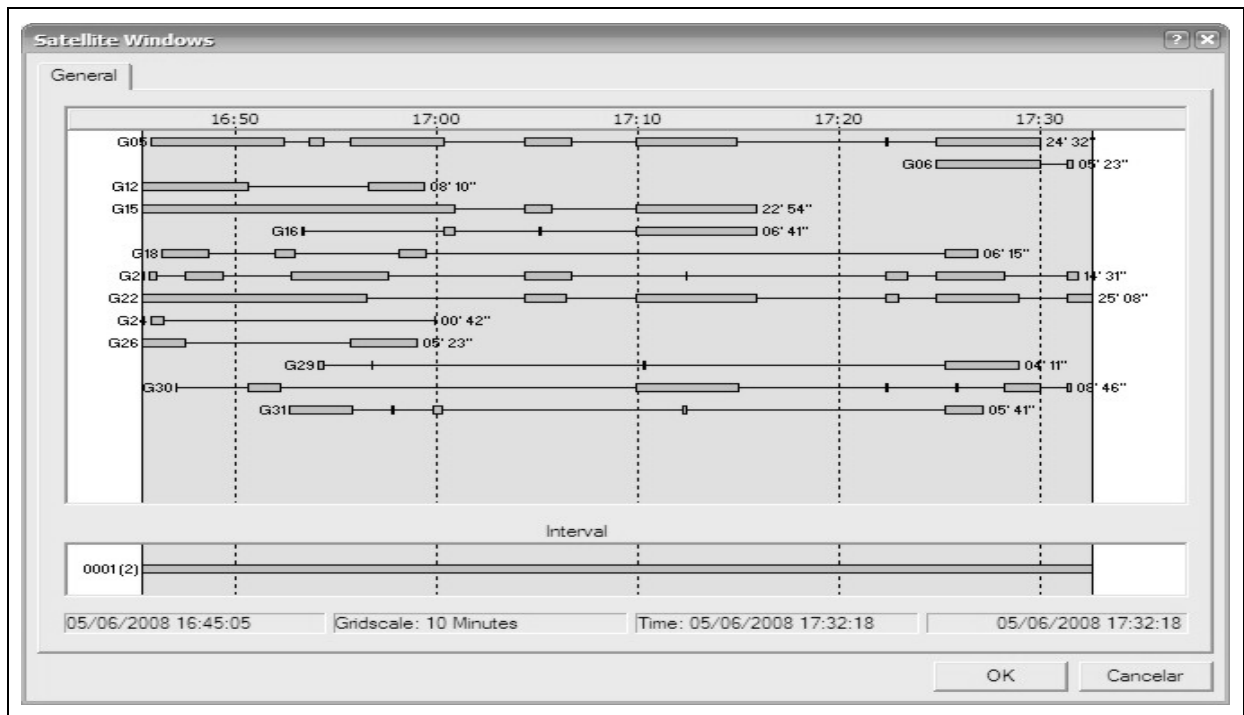


FIGURA 34 – SATÉLITES RASTREADOS E O TEMPO DE RASTREIO NO SOFTWARE LGO.
 FONTE: A autora (2009)

3.6.1.4 MATLAB 7.4

O programa Matlab foi utilizado para a separação dos dados oriundos do processamento pelo TEQC e para a geração de gráficos. Originalmente o Matlab, era um programa para operações matemáticas sobre matrizes, mas transformou-se em um sistema computacional flexível para a solução de problemas técnicos (CHAPMAN, 2003). Desde a sua primeira versão vem sendo utilizado por pesquisadores, engenheiros e profissionais de tecnologia de informação como ferramenta fundamental para a criação, análise e simulação de modelos matemáticos aplicados às mais diversas áreas (MATSUMOTO, 2002).

3.6.1.5 AutoCAD

Com o AutoCAD R14, um programa do tipo CAD (projeto assistido por computador) da empresa Autodesk, elaborou-se o projeto do anteparo da antena em duas dimensões (2D) e a criação dos modelos tridimensionais (3D), além do modelo 3D do observatório Camil Gemael e dos pontos obtidos com as sessões de rastreo, permitindo uma visualização da distribuição espacial de todo o cenário.

3.6.1.6 ANÁLISE

Os arquivos de observação no formato LEICA bruto foram processados pelo programa TEQC, que gerou os arquivos *.mp1, *.mp2, *.sn1, *.sn2 e *.ele. Nesses arquivos, utilizou-se uma rotina implementada em Matlab para separar os dados de multicaminho, SNR e elevação satélite a satélite gerando novos arquivos. A partir dos arquivos separados por satélite foram gerados gráficos, empregando uma rotina implementada em Matlab, que permitiu uma análise do comportamento tanto do efeito de multicaminho relacionado à elevação do satélite (FIGURA 35) bem como do efeito do multicaminho relacionado com SNR (FIGURA 36), em cada onda portadora.

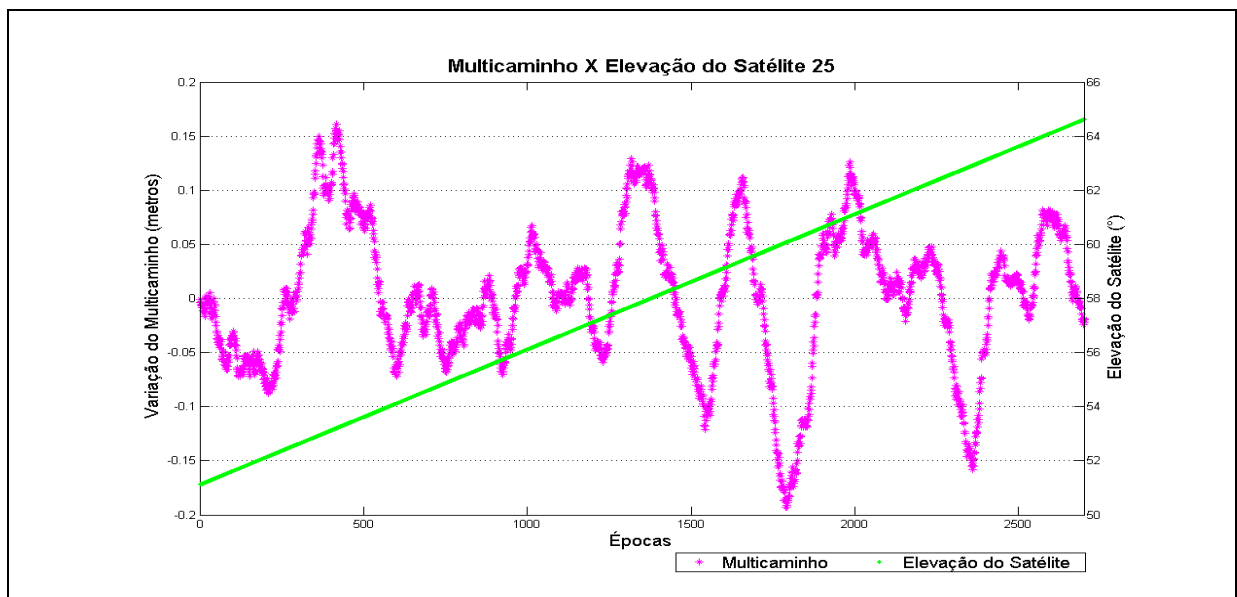


FIGURA 35 – EXEMPLO DE GRÁFICO GERADO PARA O SATÉLITE 25 RELACIONANDO VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO E ELEVAÇÃO DO SATÉLITE
FONTE: A autora (2009)

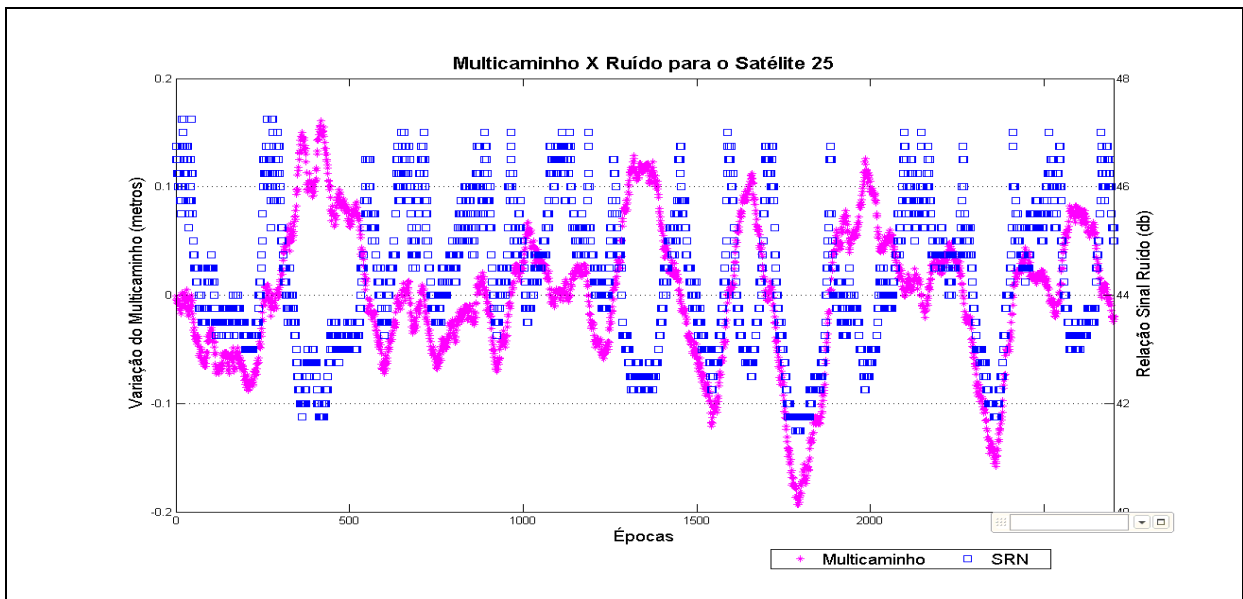


FIGURA 36 – EXEMPLO DE GRÁFICO GERADO PARA O SATÉLITE 25 RELACIONANDO VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO E SNR
 FONTE: A autora (2009)

Com as coordenadas obtidas pelos dados brutos pós-processados pelo programas LEICA Geo Office, foram realizadas comparações entre as coordenadas do marco obtidas com as estratégias das etapas 2 e 3 e as coordenadas de referência.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados e as análises das sessões de rastreamento realizadas no observatório Camil Gemael, em três etapas distintas descritas na seção 3.5. Na etapa 1, determinou-se de coordenadas do marco, as quais foram assumidas como as coordenadas de referência para as análises e comparações realizadas no trabalho. Nas etapas 2 e 3 verificou-se que a coleta dos sinais GPS em ambientes internos utilizando o efeito de multicaminho é possível, porém tais dados podem ser processados? Eles podem gerar as coordenadas do marco? Qual o nível do multicaminho sobre esses sinais? Esses questionamentos serão respondidos nas seções 4.1 e 4.2, na qual se verificou a influência do entorno da antena e a viabilidade dos processamentos das observações coletadas e na seção 4.3 se analisa como os sinais foram afetados pelo efeito de multicaminho.

4.1 INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO ENTORNO

Nesta seção foram avaliadas as coordenadas obtidas com o rastreamento GPS e com o transporte de coordenadas, as quais foram compatíveis a nível milimétrico. As coordenadas obtidas com o rastreamento GPS foram adotadas com coordenadas de referência.

Seqüencialmente avaliou-se os dados coletados com a antena do receptor colocada sobre o marco com o telhado aberto, comparando as coordenadas obtidas pelo pós-processamento dos dados brutos utilizando diferentes máscaras de elevação dos satélites com as coordenadas de referência, ponderando as discrepâncias e quantificando o quanto o multicaminho influenciou na determinação dessas. Os dados utilizados nessa análise foram obtidos no dia 9 de julho de 2008, com tempo de rastreamento de 9h33min e no dia 11 de julho de 2008, com tempo de rastreamento de 11h30min, sendo estes denominados Rastreamento 1 e Rastreamento 2 respectivamente. A variação média dos erros de multicaminho nos rastreios podem ser observados no QUADRO 6.

| | Varição Média do Erro de Multicaminho na Onda Portadora L1 | Varição Média do Erro de Multicaminho na Onda Portadora L2 |
|------------|--|--|
| Rastreio 1 | 0,492125 m | 0,924994 m |
| Rastreio 2 | 0,448513 m | 0,593164 m |

QUADRO 6 - COMPARAÇÃO DOS DADOS COLETADOS NOS DOIS DIAS DE RASTREIO
 FONTE: A autora (2009)

Como pode-se observar no QUADRO 6 a variação média do erro de multicaminho para a onda portadora L2 no Rastreio 1 e do Rastreio 2 foram discrepantes, em torno de 0,30m, a única diferença entre os dois rastreios foi o tempo de coleta. Com isso percebe-se o quanto a variação do nível de multicaminho é dependente dos aspectos físicos do entorno da antena e do tempo de coleta de dados.

No QUADRO 7, pode-se verificar as diferenças encontradas entre as coordenadas obtidas pelo pós-processamento dos dados brutos utilizando diferentes máscaras de elevação com as coordenadas de referência. Neste quadro também é possível visualizar se a solução do pós-processamento foi fixa (mais de 50% das ambigüidades resolvidas) ou flutuante (menos de 50% das ambigüidades resolvidas).

| Data - Rastreio | $\Delta\phi$ (m) | $\Delta\lambda$ (m) | Δh (m) | Solução do Processamento | Máscara de Satélites |
|------------------------|------------------|---------------------|----------------|--------------------------|----------------------|
| 09/7/2008 - Rastreio 1 | 0,398 | 0,598 | -1,087 | Fixa | 0° |
| 09/7/2008 - Rastreio 1 | 0,137 | 0,085 | -0,007 | Fixa | 50° |
| 09/7/2008 - Rastreio 1 | 0,120 | 0,071 | 0,088 | Fixa | 60° |
| 09/7/2008 - Rastreio 1 | 1,090 | 0,332 | -9,733 | Flutuante | 70° |
| 11/7/2008 - Rastreio 2 | 0,128 | 0,358 | -0,105 | Fixa | 0° |
| 11/7/2008 - Rastreio 2 | -1,506 | 1,441 | -7,286 | Fixa | 50° |

QUADRO 7 - DIFERENÇAS RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS
 FONTE: A autora (2009)

A FIGURA 37 mostra a variação das coordenadas encontradas no processamento dos dados brutos utilizando diferentes máscaras de elevação dos satélites. O processamento utilizando máscara de 0° permitiu que todos os satélites rastreados fossem utilizados no processo. Os satélites entre 40° e 60° influenciaram com variações elevadas de multicaminho na determinação das coordenadas, sendo que esses apresentavam uma elevação para os quais os sinais estavam propensos a refletirem nas paredes internas do observatório, e em outros objetos existentes no

interior deste antes de chegarem a antena. Com o aumento do valor da máscara de elevação a influência dos sinais mais afetados pelo efeito de multicaminho diminui, no entanto, o número de satélites também diminui, deixando assim, a geometria pobre, o que afetou o valor final das coordenadas.

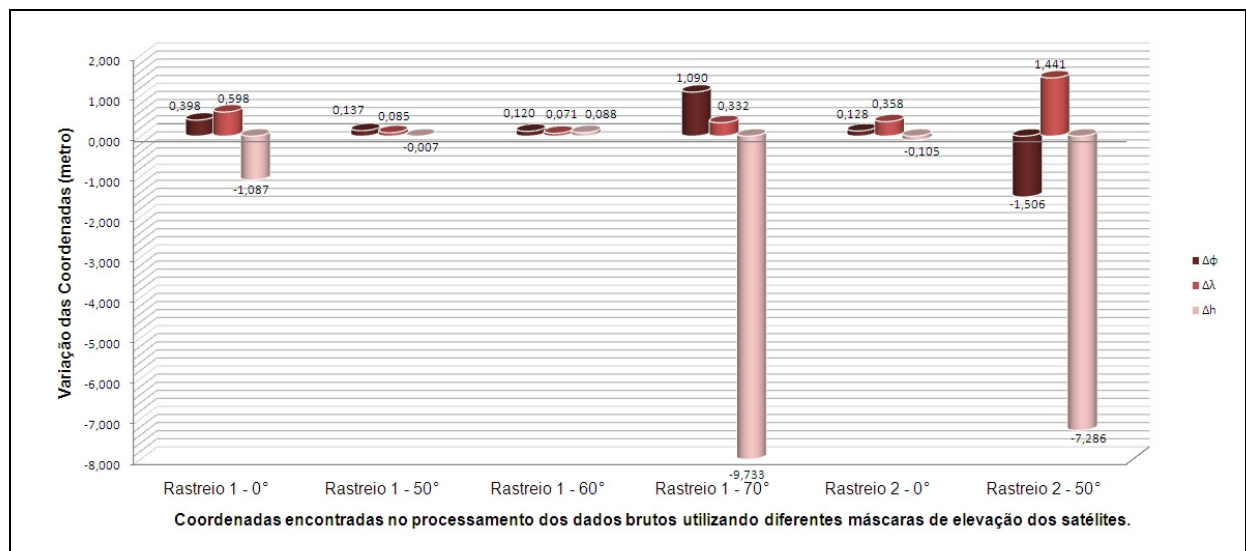


FIGURA 37 – VARIÇÃO DAS COORDENADAS OBTIDAS COM O RASTREIO COM O TELHADO ABERTO VARIANDO A MASCÁRA DE ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O PÓS-PROCESSAMENTO
 FONTE: A autora (2009)

4.2 VIABILIDADE DO PROCESSAMENTO

O primeiro passo após a coleta de dados utilizando as estratégias das etapas 2 e 3 foi à verificação da possibilidade de processamento dos dados brutos de todas as sessões de rastreamento, utilizando programas comerciais: Ashtech Solutions 2.60 e LEICA Geo Office 5.0.

No programa LGO foi possível carregar todos os arquivos brutos coletados através da etapa 2 e da etapa 3. Estes foram processados com a estação de referência UFPR, com exceção da sessão 9, referente as observações do dia 8 de outubro de 2008, data para na qual não houve dados disponíveis da estação da UFPR. Assim a sessão foi processada com a estação de referência UNICENP, estando estas estações localizadas a 30 metros e a 12 quilômetros, respectivamente do marco. No programa Ashtech Solutions, não foi possível carregar nenhum dos arquivos obtidos pelas estratégias 2 e 3. As diferenças entre as coordenadas

encontradas pelo pós-processamento das observações das etapas 2 e 3 com as coordenadas de referência do marco, podem ser observadas no QUADRO 8.

| Sessão | $\Delta\varphi$ (m) | $\Delta\lambda$ (m) | Δh (m) |
|----------|---------------------|---------------------|----------------|
| Sessão1 | -0,644 | -4,789 | 7,289 |
| Sessão2 | -17,905 | -5,779 | 38,462 |
| Sessão3 | 2,955 | 2,746 | 3,303 |
| Sessão4 | - | - | - |
| Sessão5 | 44,588 | 48,896 | -11,978 |
| Sessão6 | 26,693 | 11,340 | -10,468 |
| Sessão7 | 0,686 | 3,712 | 1,650 |
| Sessão8 | 10,323 | -9,523 | -12,061 |
| Sessão9 | -0,904 | 2,647 | 4,808 |
| Sessão10 | -0,510 | 17,922 | 5,990 |
| Sessão11 | 0,123 | 0,262 | 0,785 |

QUADRO 8 – DIFERENÇAS ENCONTRADAS ENTRE AS COORDENADAS OBTIDAS PELO PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS BRUTOS COM AS COORDENADAS PADRÃO
 FONTE: A autora (2009)

A maior diferença encontrada para latitude geodésica foi de 44,588m para a sessão 5 e a menor diferença foi de 12 cm na sessão 11. A maior diferença para longitude também foi encontrada na sessão 5 e a menor diferença na sessão 11. Em altitude elipsoidal, as maiores diferenças ocorreram na sessão 2, sessão 8 e sessão 5, com aproximadamente 38 m, -12 m e -12 m respectivamente; a menor diferença foi de 79 cm na sessão 11. Na FIGURA 38 pode-se observar as grandes discrepâncias existentes entre as sessões 5 e 11, o que pode levar ao questionamento de terem existido diferenças no rastreo realizado nessas sessões. No entanto, no QUADRO 5, seção 3.5.3, observam-se que em ambas as sessões fazem parte da etapa 3 dos levantamentos, na qual os refletores encontravam-se na parte externa do prédio. Porém, na sessão 5, a superfície refletora estava com uma inclinação de 50° e distante aproximadamente 5 m do marco. Na sessão 11, a inclinação da superfície refletora era de 75° e esta localizava-se a 3,86 m do marco. Percebe-se, portanto, que esses dois fatores, a distância da superfície refletora da antena e o ângulo de inclinação desta superfície, exercem influência nos resultados das coordenadas.

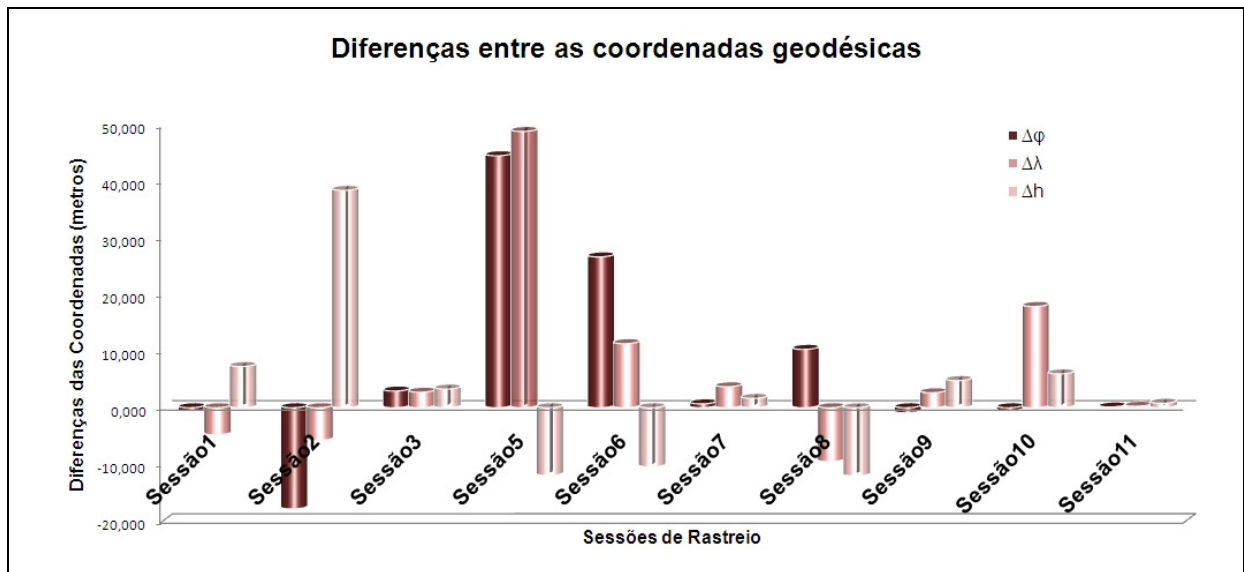


FIGURA 38 – DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS
 FONTE: A autora (2009)

Outro fator responsável pelas diferenças encontradas deve-se ao tipo de solução do pós-processamento das observações coletadas (QUADRO 9). Na sessão 5 a solução obtida foi flutuante, menos de 50% das ambigüidades foram resolvidas. Já na sessão 11 a solução foi fixa, mais de 95% das ambigüidades foram resolvidas.

| Sessão | Frequência | Solução | Tempo Efetivo de Rastreo |
|-----------|------------|-----------|--------------------------|
| Sessão 5 | L1/L2 | Flutuante | 2h40min15seg |
| Sessão 6 | L1/L2 | Flutuante | 1h41min39seg |
| Sessão 7 | L1/L2 | Flutuante | 6min22seg |
| Sessão 8 | L1 | Flutuante | 21min55seg |
| Sessão 9 | L1 | Fixa | 2h7min23seg |
| Sessão 10 | L1 | Flutuante | 1h34min16seg |
| Sessão 11 | L1/L2 | Fixa | 5h21min |

QUADRO 9 – CARACTERÍSTICAS DO PÓS-PROCESSAMENTO DAS OBSERVAÇÕES
 FONTE: A autora (2009)

Na FIGURA 39, pode-se verificar a distribuição das coordenadas geodésicas encontradas nas sessões 1, 3, 7, 9 e 11, as quais mostraram as menores diferenças em latitude e longitude com relação às coordenadas do marco.

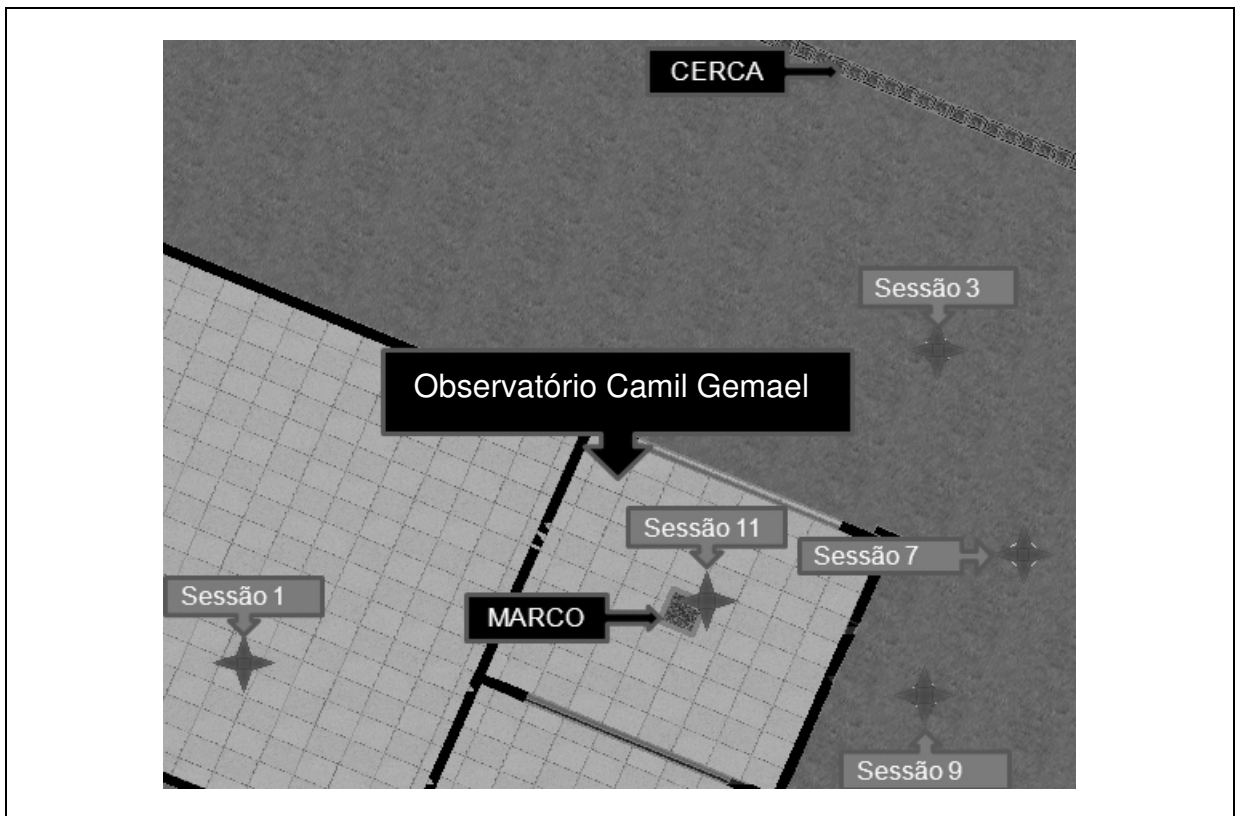


FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDOS EM ALGUMAS SESSÕES
 FONTE: A autora (2009)

Analisando a distribuição coordenadas geodésicas dos pontos obtidos pelo pós-processamento das observações e a localização dos refletores no momento de rastreo, observa-se na FIGURA 40, que a sessão 11 apresentou as coordenadas mais próximas da padrão e também foi a sessão na qual os refletores encontravam-se mais próximo ao marco, distando 3,86 m. Na sessão 9, as superfícies refletoras estavam locadas a aproximadamente 5 metros e apresentou um ponto distante do marco 2,77 m, porém essa sessão utilizou como base de referência para o processamento a estação UNICENP, a qual possui uma linha de base de 12 quilômetros. Nessas duas sessões, a solução obtida no pós-processamento das observações foi fixa e elas apresentavam em comum o ângulo de inclinação das superfícies refletoras de 75° , e foram obtidas na etapa 3. A sessão 1, na qual as superfícies refletoras estavam posicionadas a somente 1,32 m do marco, permitiu a determinação do ponto distante 4,79 m, no entanto para esse rastreo utilizou-se a estratégia da etapa 2.

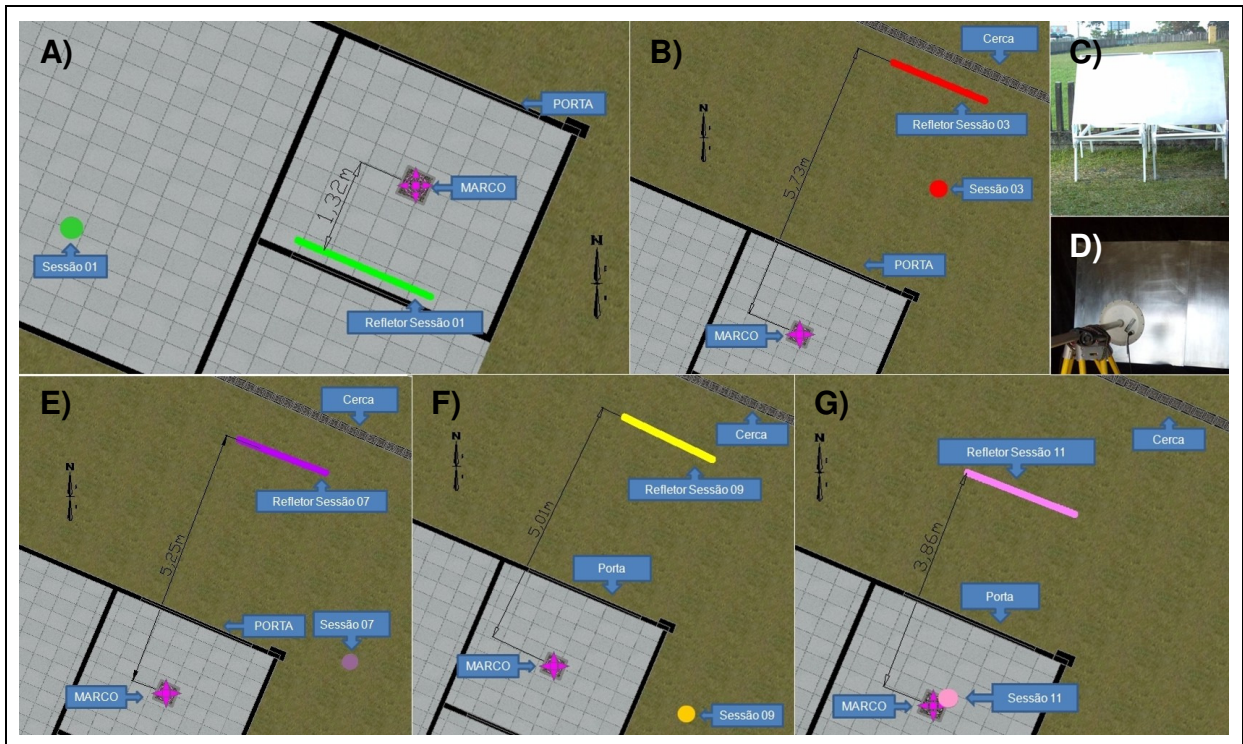


FIGURA 40 – DISTRIBUIÇÃO DAS COORDENADAS OBTIDOS EM ALGUMAS SESSÕES COM RELAÇÃO A DISTRIBUIÇÃO DOS REFLETORES NO OBSERVATÓRIO. A) SESSÃO 01. B) SESSÃO 03. C) REFLETOR EXTERNO. D) REFLETOR INTERNO. E) SESSÃO 07. F) SESSÃO 09. G) SESSÃO 11.

FONTE: A autora (2009)

4.3 INDICATIVO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO E RELAÇÃO SINAL RUÍDO

4.3.1 Levantamentos da Etapa 2

Na etapa 2 descrita na seção 3.4.2 a antena GPS captou somente sinais de multicaminho realizadas em duas sessões de rastreio, das quais são analisados os dados da sessão 1. Nesta sessão de rastreio, ocupou-se o marco por aproximadamente 3 horas. No entanto, não foi possível a coleta de dados durante todo o período, tendo efetivamente ocorrido das 16 horas e 45 minutos às 17 horas e 32 minutos (FIGURA 41). Nesse período foram coletadas observações de 13 satélites somente utilizando o efeito de multicaminho. Observa-se que o tempo de coleta de dados de mais de um satélite sucessivo não é contínuo; por exemplo, o satélite 26 é rastreado das 16 horas e 45 minutos até aproximadamente 16 horas e 47 minutos, logo, há perda do sinal e esse satélite passa a ser rastreado novamente de 16 horas e 55 minutos até 16 horas e 59 minutos (Detalhe 1). Também existem

momentos nos quais não se detecta nenhum satélite, como por exemplo, entre 17 horas e 15 minutos e 17 horas e 22 minutos (Detalhe 2).

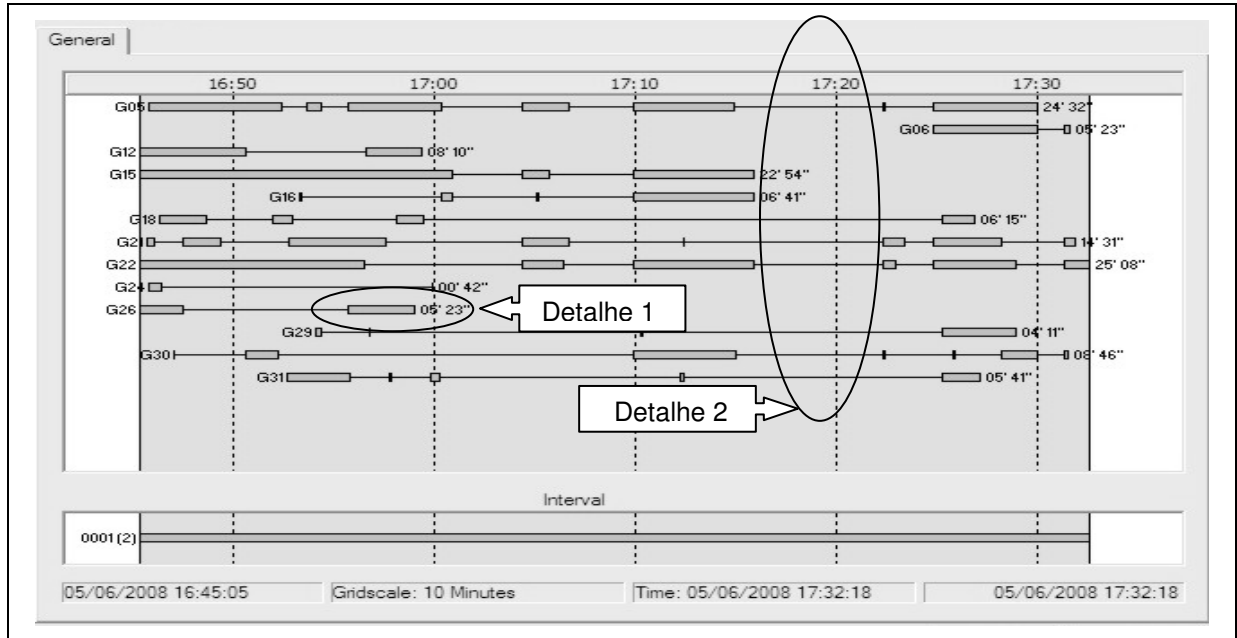


FIGURA 41 – TEMPO REFERENTE ÀS OBSERVAÇÕES COLETADAS DE 13 SATÉLITES UTILIZANDO O EFEITO DE MULTICAMINHO VISUALIZADAS ATRAVÉS DO LGO
 FONTE: A autora (2009)

Devido às dimensões da porta e a locação das superfícies refletoras, os satélites captados pela antena locada sobre o marco foram sinais de multicaminho vindos de satélites com elevação inferior a 37° , refletidos diretamente nas superfícies de alumínio. Também de satélites com uma elevação superior a 37° , nos quais os sinais refletiram em objetos próximos ao observatório, na parte externa, acabaram redirecionados para as superfícies refletoras locadas no seu interior. Isso pode ser comprovado analisando a constelação dos satélites no momento de rastreamento (FIGURA 42), assim como a posição do observatório, o qual está localizado na linha de azimute de aproximadamente $120\text{-}300^\circ$ e com a porta voltada para a direção nordeste. Isso fica claro observando a elevação dos satélites rastreados: 05, 06, 12, 15, 16, 18, 21, 22, 24, 26, 29, 30 e 31 (QUADRO 10).

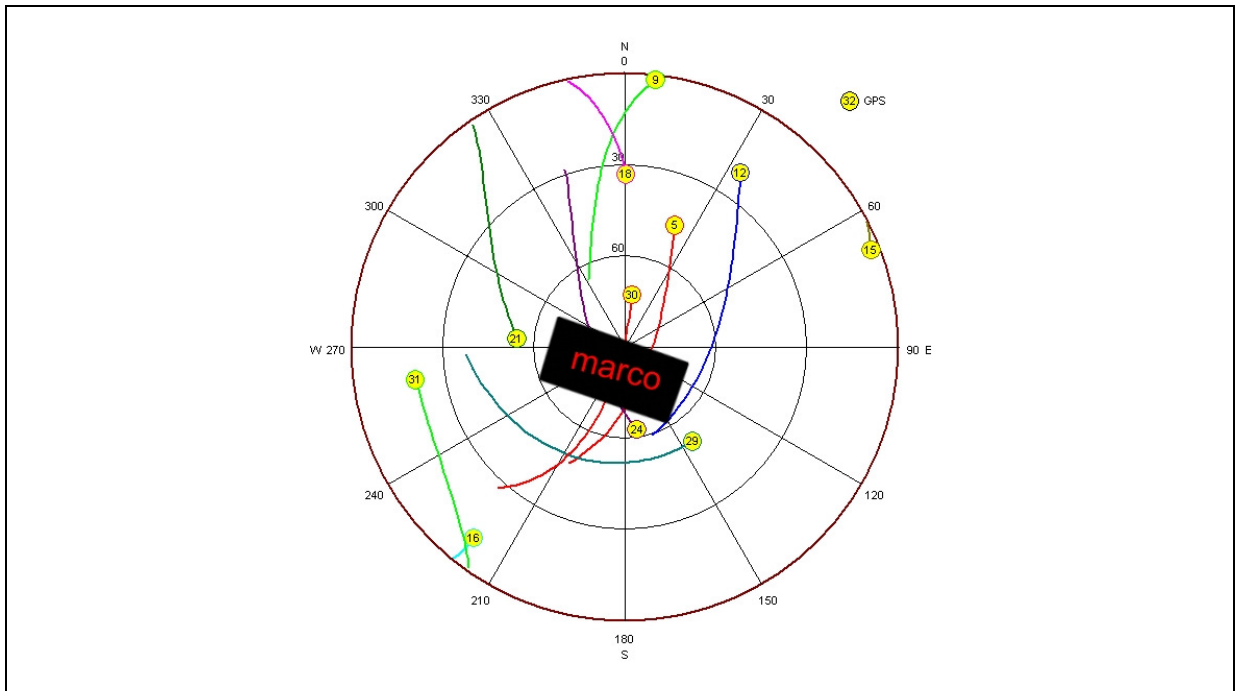


FIGURA 42 – CONSTELAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O PERÍODO DE COLETA DOS DADOS
 FONTE: A autora (2009)

| Elevação | Satélite | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 6 | 10 | 12 | 15 | 16 | 18 | 21 | 22 | 24 | 26 | 29 | 30 | 31 |
| Inicial (°) | 26,056 | 15,486 | 8,362 | 12,375 | 11,14 | 18,972 | 51,258 | 62,338 | 15,492 | 45,119 | 6,848 | 53,547 | 45,823 | 15,519 |
| Final (°) | 8,423 | 29,146 | 0,001 | 0,005 | 15,888 | 33,517 | 72,631 | 57,184 | 33,484 | 31,387 | 10,718 | 48,022 | 26,001 | 7,013 |

QUADRO 10 – ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO
 FONTE: A autora (2009)

A partir dos arquivos *.mp1, *.mp2, *.sn1, *.sn2 e *.ele gerados pelo processamento dos dados brutos no programa TEQC, pode-se visualizar como o efeito de multicaminho variou durante uma amostra do período de rastreo para o satélite 9 para a onda portadora L1 (FIGURA 43) e para a onda portadora L2 (FIGURA 44). Observa-se que na onda portadora L1 a variação do efeito de multicaminho entre -0,528 m a 0,30m, apresentando a menor variação de 0,001 m até quase 0,528 m. Na onda portadora L2 a menor variação foi de 0,006 m e a maior de aproximadamente 0,40m, em algumas épocas.

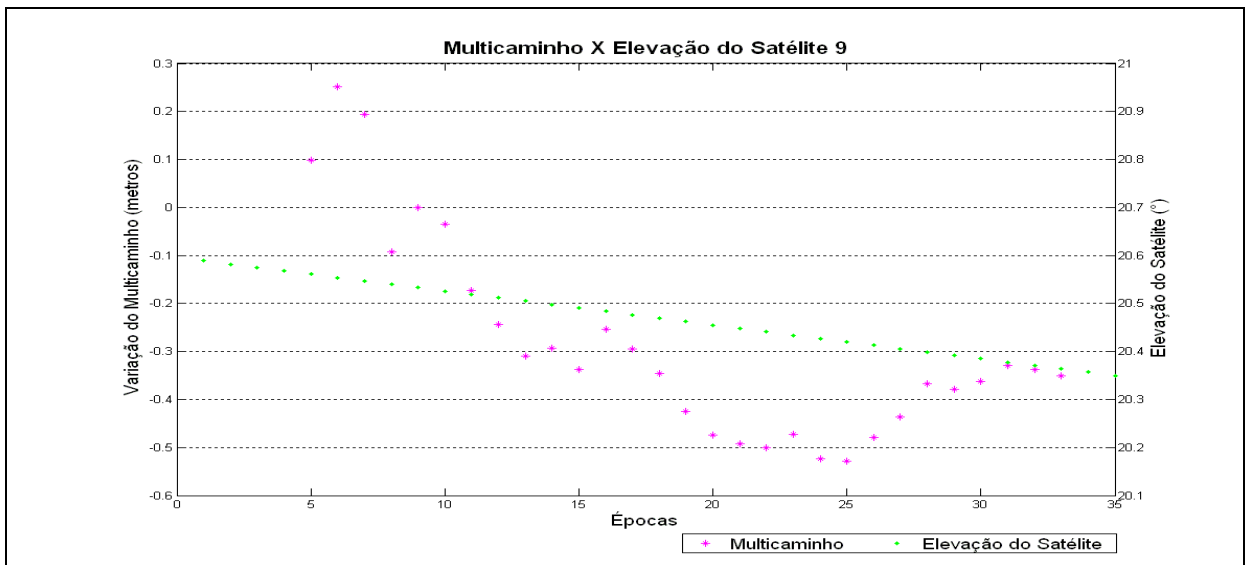


FIGURA 43 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 9 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO PARA A SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

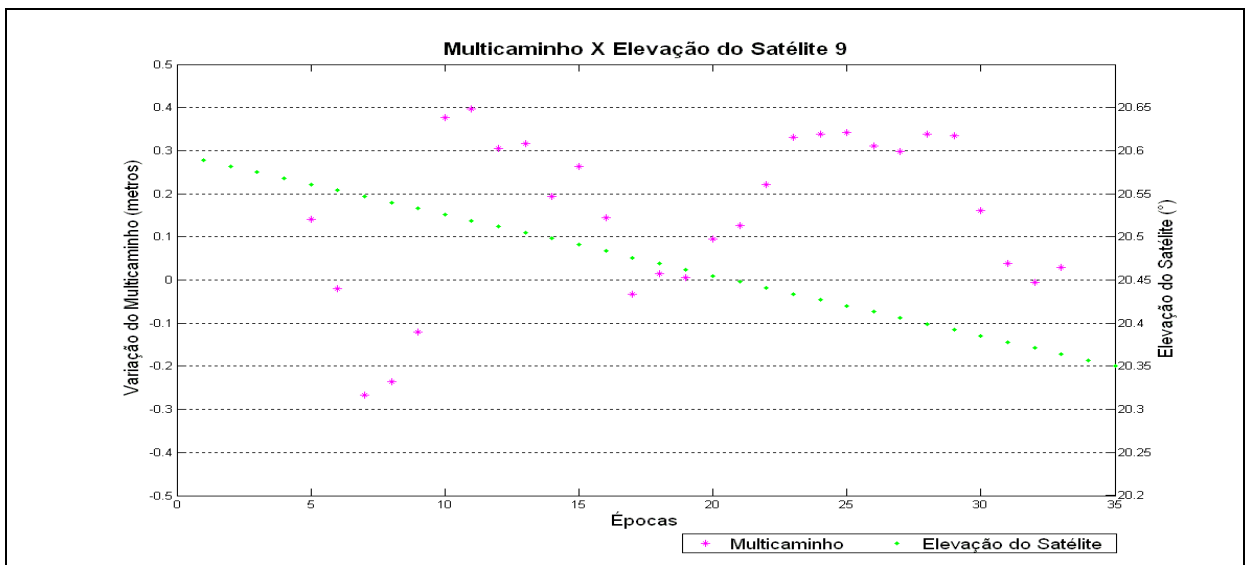


FIGURA 44 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 9 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO PARA A SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

É possível ainda comparar o efeito de multicaminho com a relação sinal ruído para a onda portadora L1 para esse intervalo de rastreamento (FIGURA 45). Percebe-se que a relação sinal ruído variou de 40 a 45 dB. Visualiza-se, na FIGURA 45, que na época 20 o nível de multicaminho era de aproximadamente -0,5 m e a relação sinal ruído era de 45 dB (Detalhe 3).

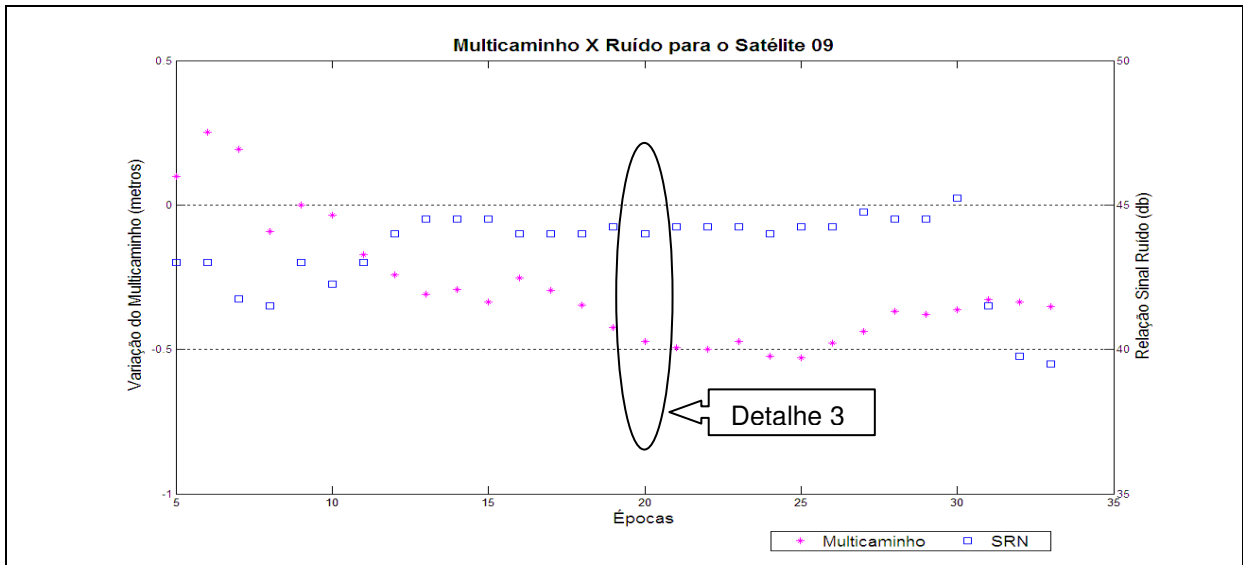


FIGURA 45 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM O SNR PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O SATÉLITE 9 NA SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

Observa-se na FIGURA 46 que o multicaminho que afetou a onda portadora L2, apresentou variações bruscas e da mesma forma houve variações na relação sinal ruído. A SNR variou de 41 a 33 dB e o nível de multicaminho variou de -0,4 m até 0,4 m.

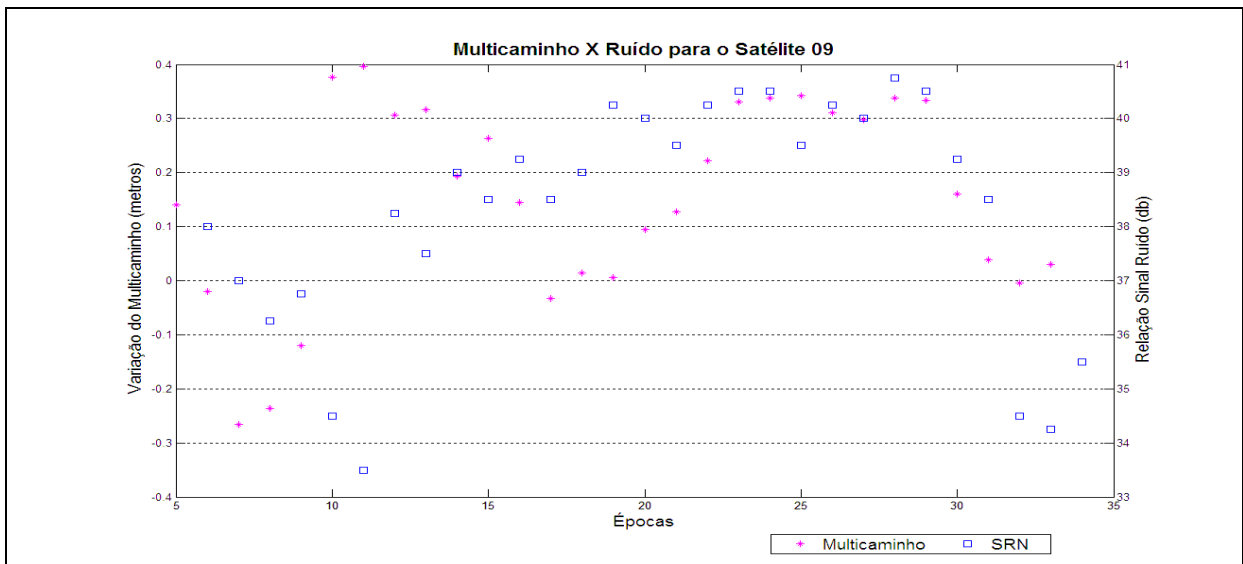


FIGURA 46 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM O SNR PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O SATÉLITE 9 NA SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

Pode-se observar que o comportamento de do multicaminho é similar para o satélite 21 na FIGURA 47 e 48. O multicaminho variou para a onda portadora L1 de 0,004 m até 0,15 m e o para a onda portadora L2 chegou a atingir até 0,80 m.

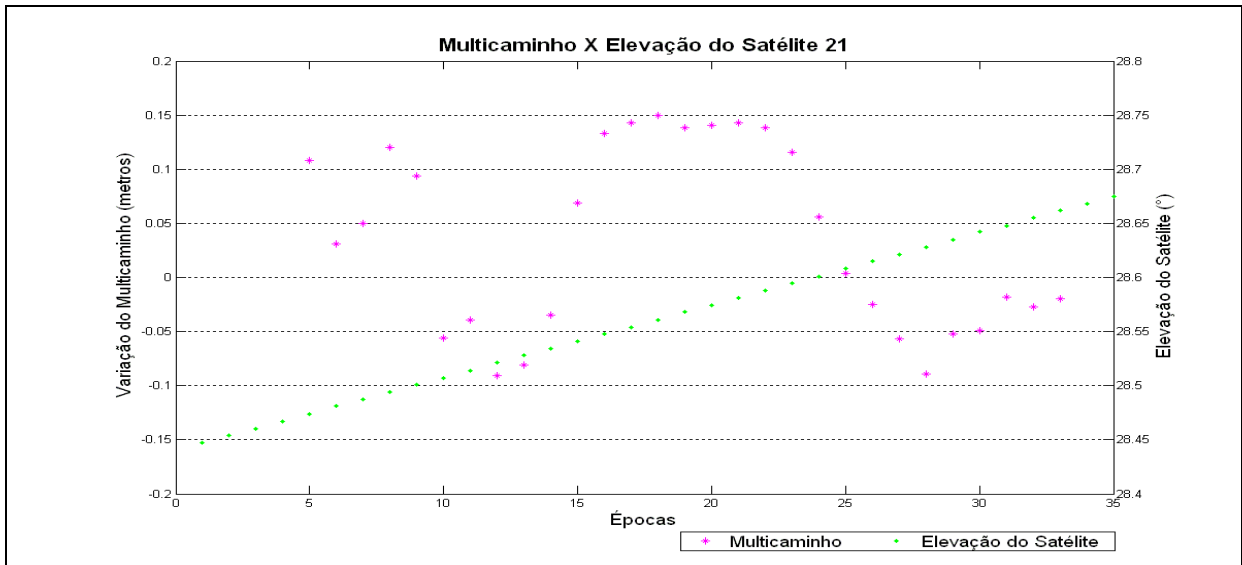


FIGURA 47 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA A SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

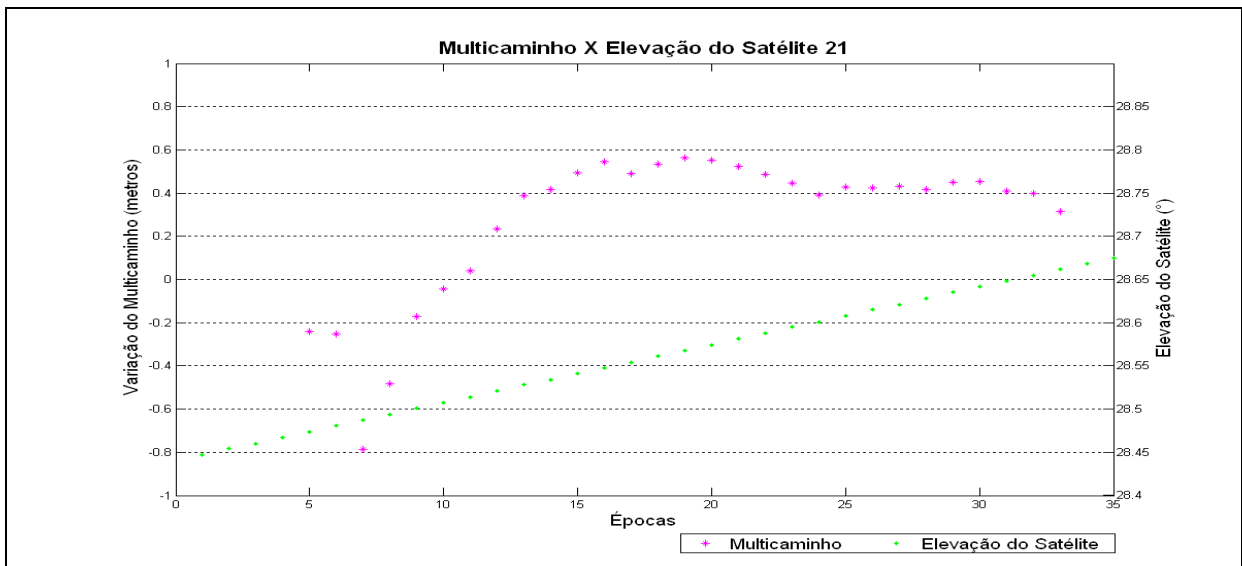


FIGURA 48 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA A SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

Na FIGURA 49 e 50 observa-se como que da mesma forma que para o satélite 9, a variação de multicaminho no satélite 21 está diretamente relacionada com a relação sinal ruído, pois havendo uma variação do valor de SNR há variação do nível de multicaminho. Para o satélite 21 a SNR variou para onda portadora L1, de 43 a 47 dB e para onda portadora L2 de 42 a 32 dB. Verifica-se que nos momentos em que se encontram os maiores valores de SNR correspondem aos momentos onde encontram-se os menores valores de multicaminho.

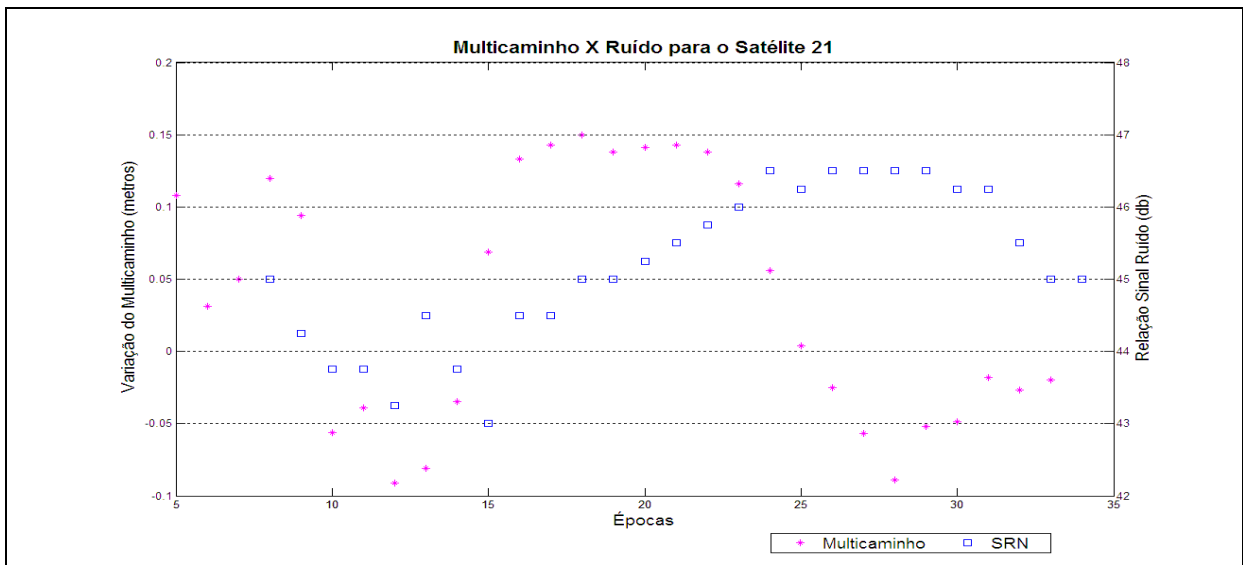


FIGURA 49 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 21 NA ONDA PORTADORA L1 PARA A SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

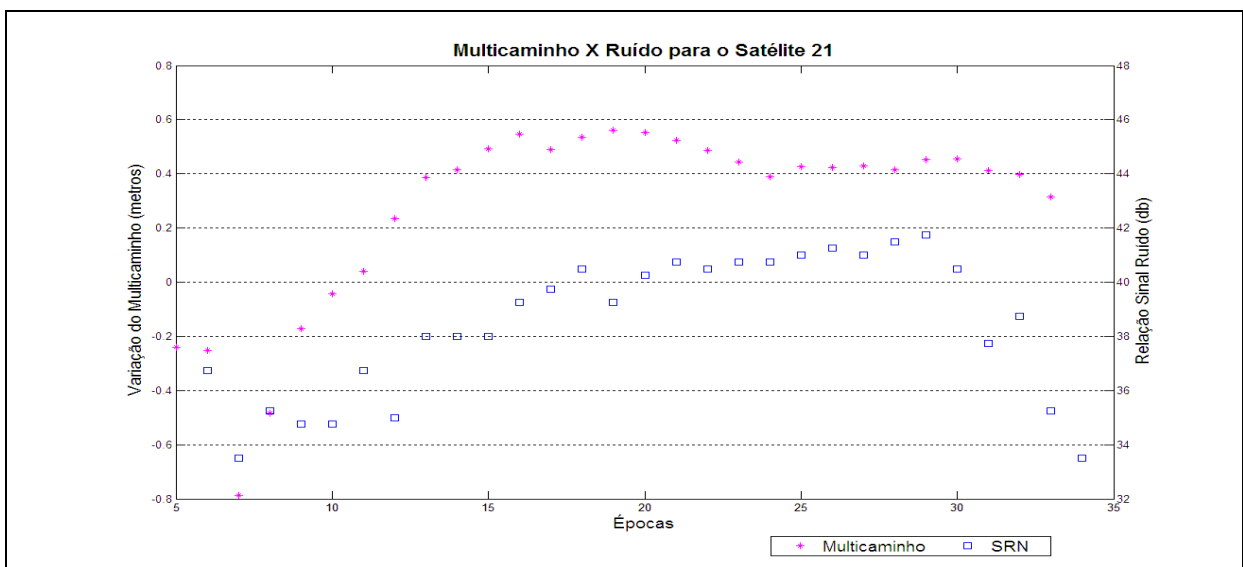


FIGURA 50 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 21 NA ONDA PORTADORA L2 PARA A SESSÃO 1
 FONTE: A autora (2009)

4.3.2 Levantamentos da Etapa 3

A etapa 3 apresentada na seção 3.5.3, na qual a antena recebe sinais diretos de satélites de baixa elevação e sinais de satélites de elevação superior a 35° pela utilização de sinais refletidos, teve 9 sessões de rastreamento realizadas, nas quais existiram coletas de dados durante grande parte do tempo de rastreamento. Essa

recepção dos sinais GPS por maior período de tempo do que na estratégia adotada na etapa 2 deve-se basicamente ao posicionamento das superfícies refletoras.

Nesta seção foi analisada a sessão 5, a qual apresentou os dados mais discrepantes com relação às coordenadas de referência do marco e a sessão 11, que apresentou uma solução com desvios submétricos em relação ao padrão adotado. Os dados referentes as outras sessões podem ser visualizados no apêndice B desse trabalho.

4.3.2.1 Sessão 5

A sessão 5 iniciou no dia 18 de setembro de 2008 as 10 horas e foi finalizada as 16 horas e 42 minutos do mesmo dia (FIGURA 51). No entanto, durante as 6 horas e 41 minutos de rastreo somente houve efetivamente coleta de dados durante o período das 14 horas as 16 horas e 42 minutos, quando foram recebidos sinais de 15 satélites (FIGURA 52).

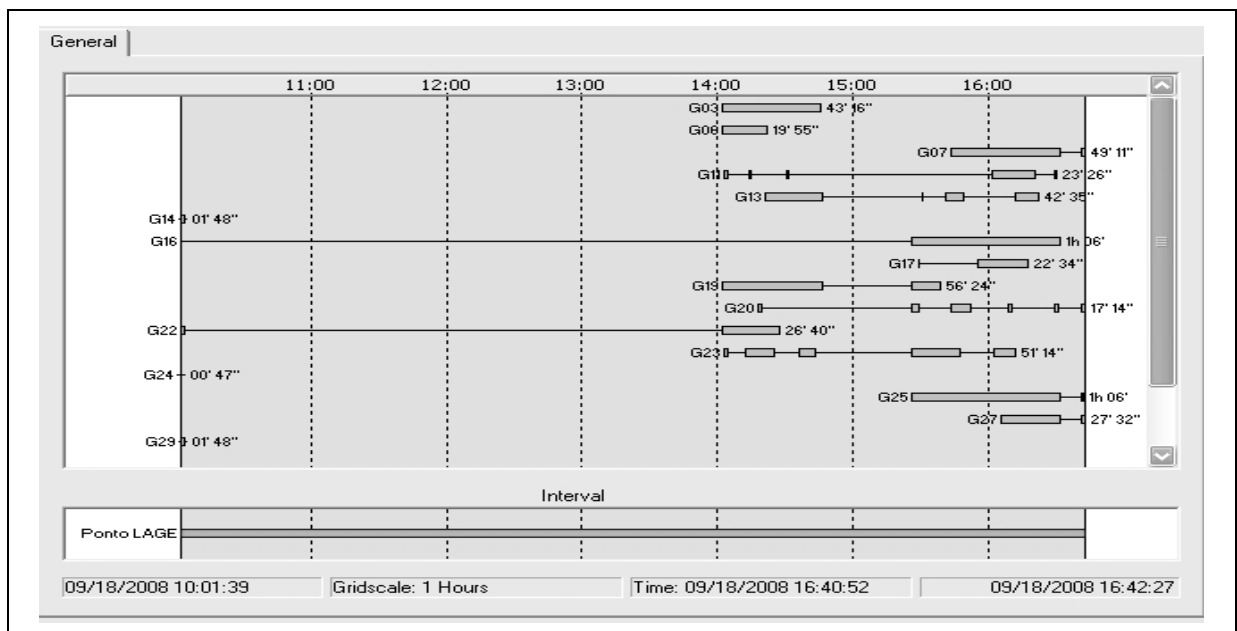


FIGURA 51 – TEMPO TOTAL DE RASTREIO DA SESSÃO 5
 FONTE: A autora (2009)

Por exemplo, na FIGURA 52, percebe-se que o satélite 3 foi observado entre as 14 horas e as 14 horas e 45 minutos, porém no decorrer desse período ainda houve perda de sinal, totalizando o tempo total de observações coletadas em 30 minutos e 29 segundos (Detalhe 4).

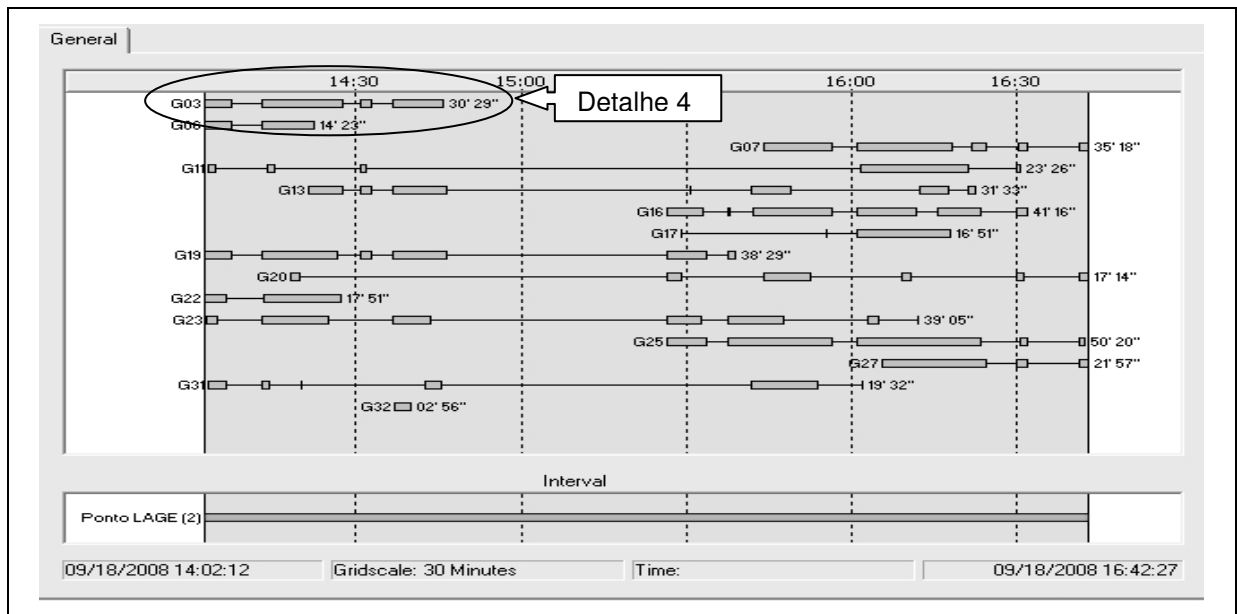


FIGURA 52 – TEMPO REFERENTE ÀS OBSERVAÇÕES COLETADAS DE 15 SATÉLITES
 FONTE: A autora (2009)

Um indicativo do nível de multicaminho no marco pode ser observado pela FIGURA 53 e 54, as quais mostram a variação deste efeito para o satélite 06 e 22, consecutivamente, na onda portadora L1. Comparando as duas figuras verifica-se que a variação de multicaminho foi menor no satélite 06. Essa variação no satélite 06 foi de aproximadamente -0,5 m a 0,15 m e no satélite 25 foi de -1,2 m a 1,2 m. A elevação para o primeiro satélite nesse período foi de 8° a $7,6^\circ$, enquanto no segundo satélite a elevação variou de 35° a 32° .

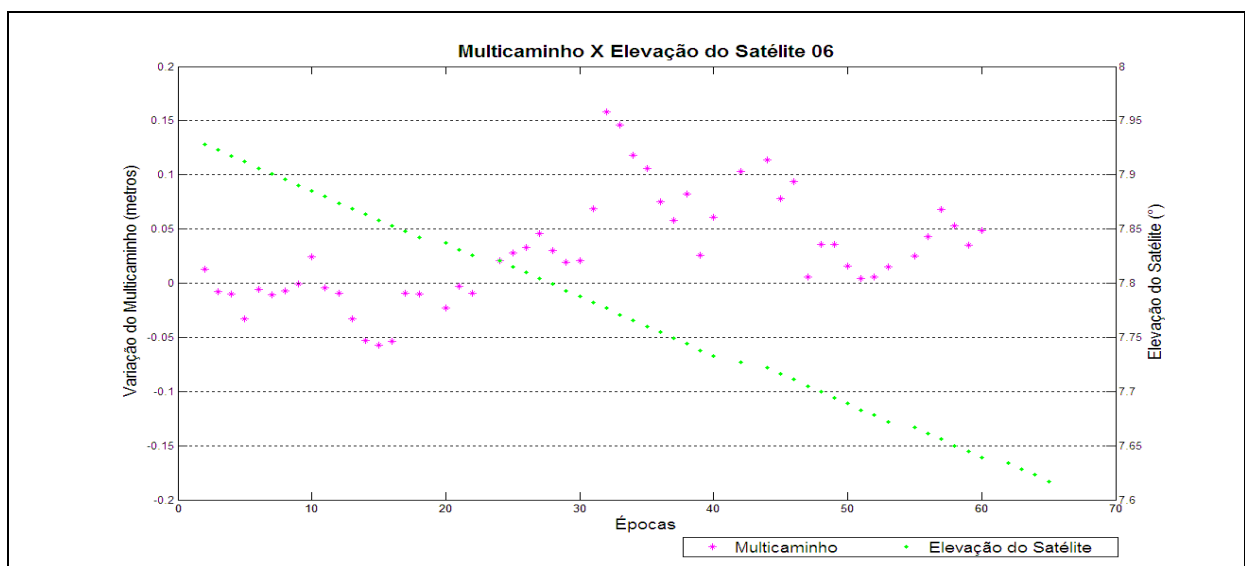


FIGURA 53 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 06 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 5
 FONTE: A autora (2009)

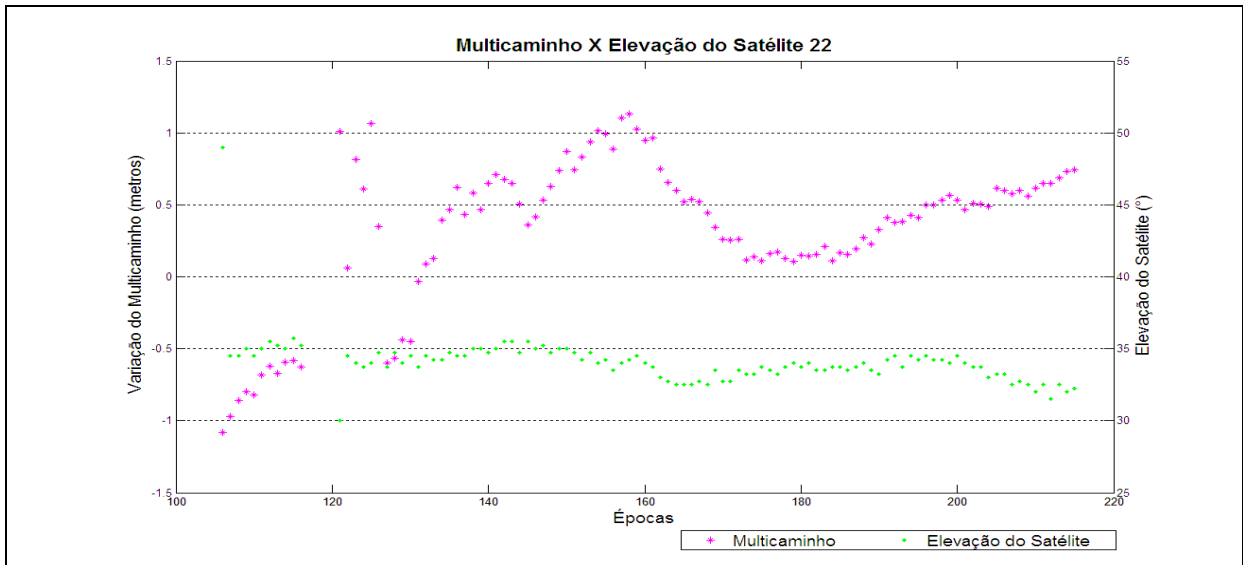


FIGURA 54 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 22 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 5
 FONTE: A autora (2009)

Verifica-se que a SNR para o satélite 06 apresentou variações entre 34,75 e 39,25 dB para a onda portadora L1 (FIGURA 55). A partir da época 60 houve perda do sinal do satélite 06 em alguns momentos e instabilidade da SNR. Também se observa nesse período (Detalhe 5) os menores valores de SNR e os maiores valores de variação do multicaminho.

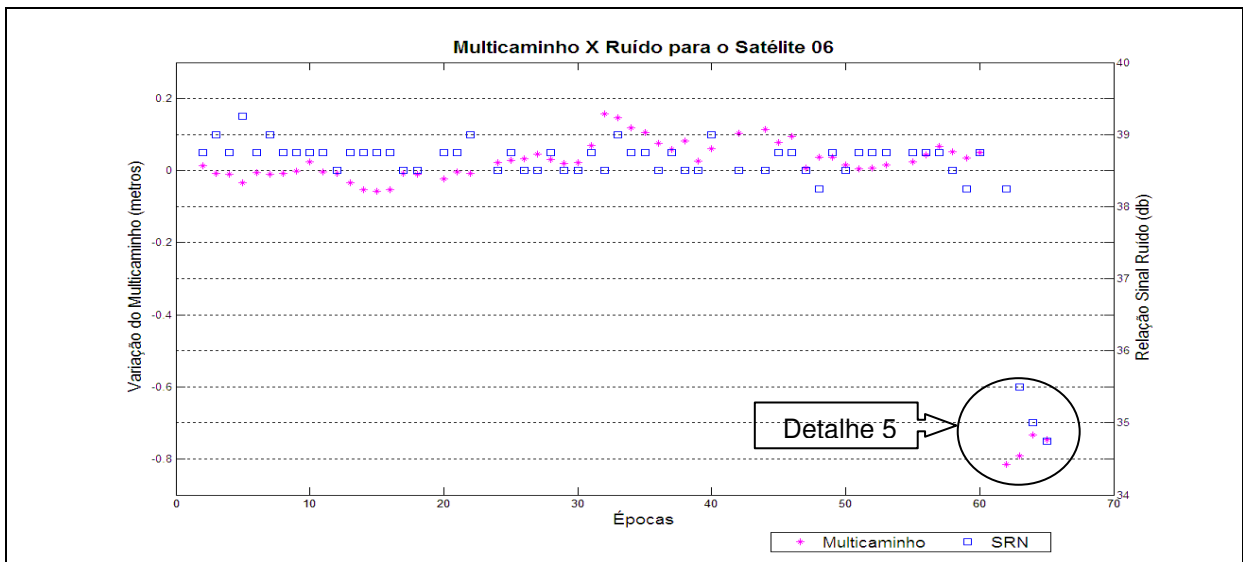


FIGURA 55 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 06 PARA A ONDA PORTADORA L1 NA SESSÃO 5
 FONTE: A autora (2009)

A FIGURA 55 apresenta as variações da SNR para o satélite 21 na onda portadora L1, a qual manteve durante maior parte do período entre 36 e 32 dB. Apresentou as maiores variações aproximadamente na época 108 chegando a 50 dB (Detalhe 6) com uma variação de multicaminho de -0,6 m e na época 120 com 30 db com variação de multicaminho de 1 m (Detalhe 7).

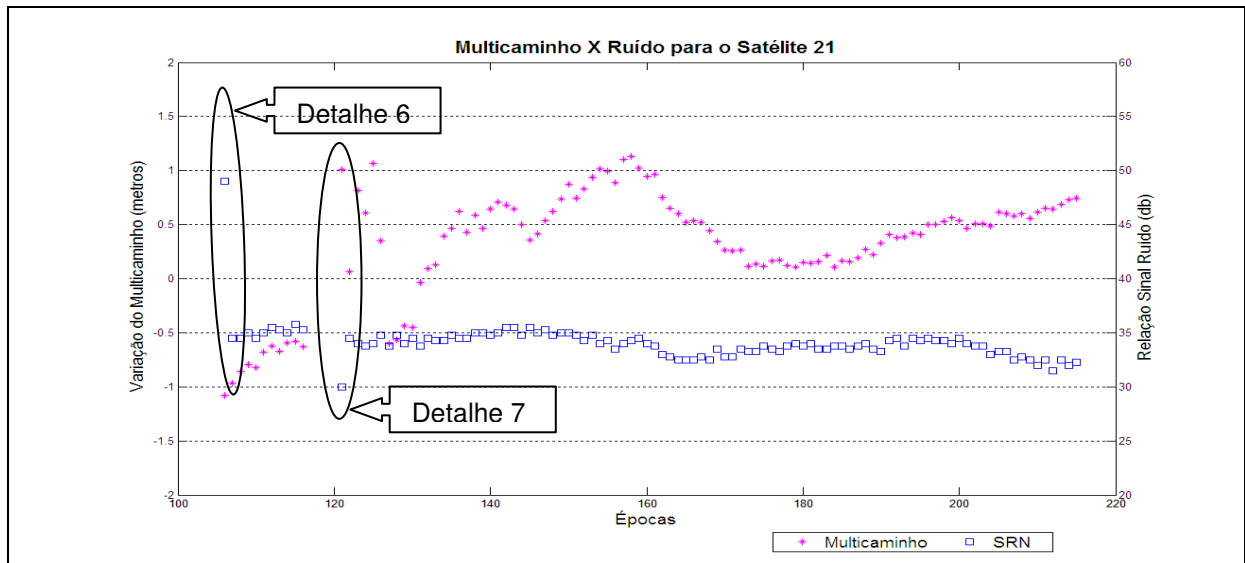


FIGURA 56 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM SNR DO SATÉLITE 22 PARA A ONDA PORTADORA L1 NA SESSÃO 5
 FONTE: A autora (2009)

4.3.2.2 Sessão 11

A sessão 11 realizada no dia 14 de outubro, durou 5 horas e 21 minutos, período total tanto de rastreamento do marco como também de captação efetiva de sinal (FIGURA 57). A abundância de dados sem a perda de sinal permitiu a determinação das coordenadas do marco com uma precisão submétrica. Para as análises do comportamento do multicaminho e da SNR para essa sessão de rastreamento foi utilizada uma amostra aproximadamente 48 minutos.

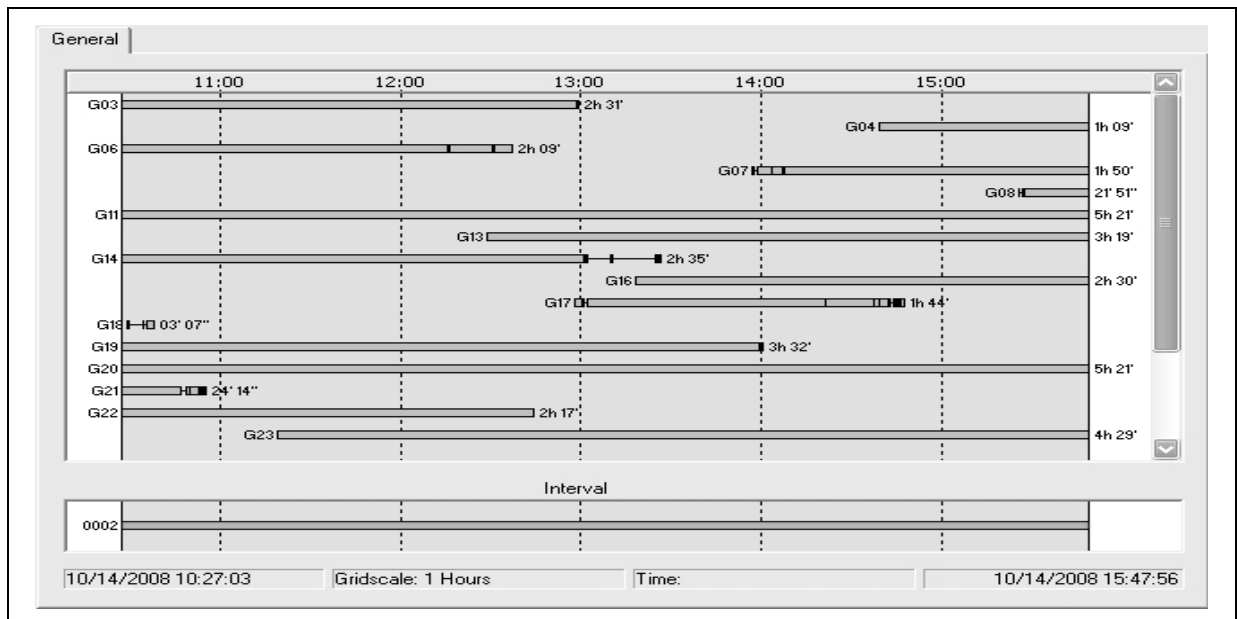


FIGURA 57 – TEMPO REFERENTE ÀS OBSERVAÇÕES COLETADAS NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Durante o período analisado rastreou-se o satélite 23 o qual apresentava uma elevação entre 50° e 53° , sendo que o seu sinal chegou até a antena pela reflexão nas superfícies refletoras. Na FIGURA 58, constata-se que a variação do nível de multicaminho não ultrapassou 25 cm na onda portadora L1 e na onda portadora L2, FIGURA 59, não foi superior a 27 cm.

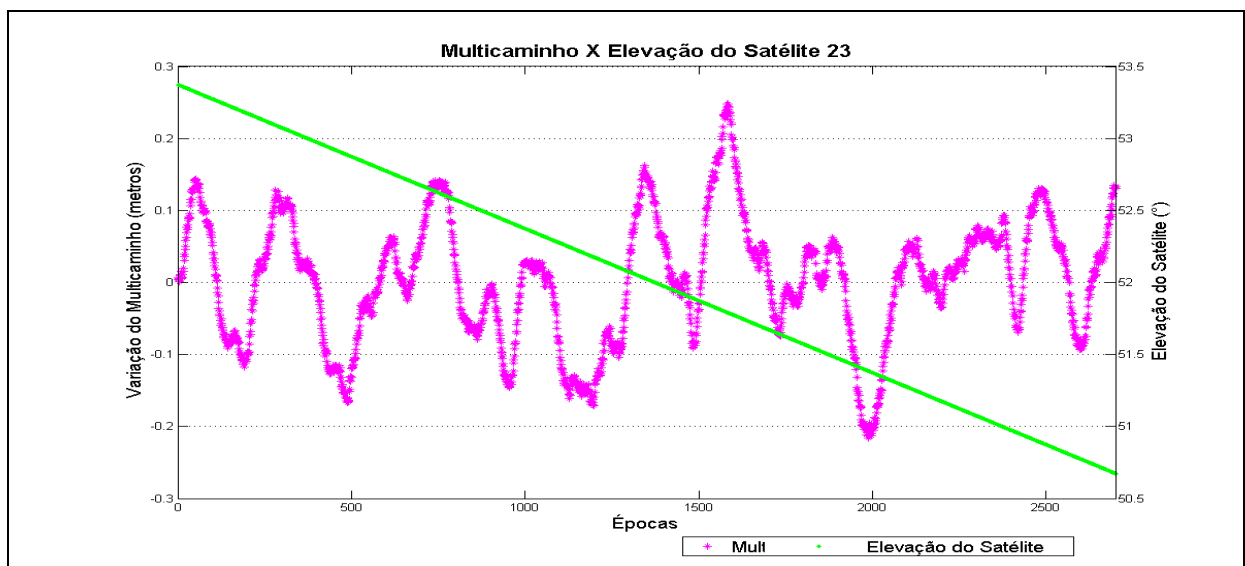


FIGURA 58 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

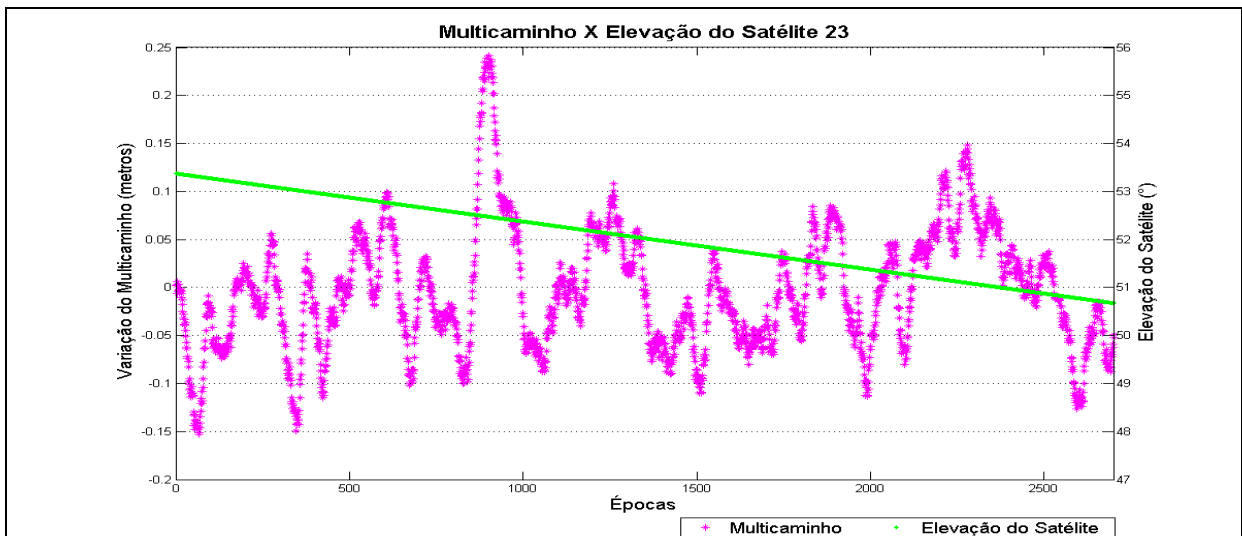


FIGURA 59 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 21 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA O MARCO NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Na FIGURA 60 pode-se observar a variação do efeito de multicaminho nas ondas portadoras L1 e L2.

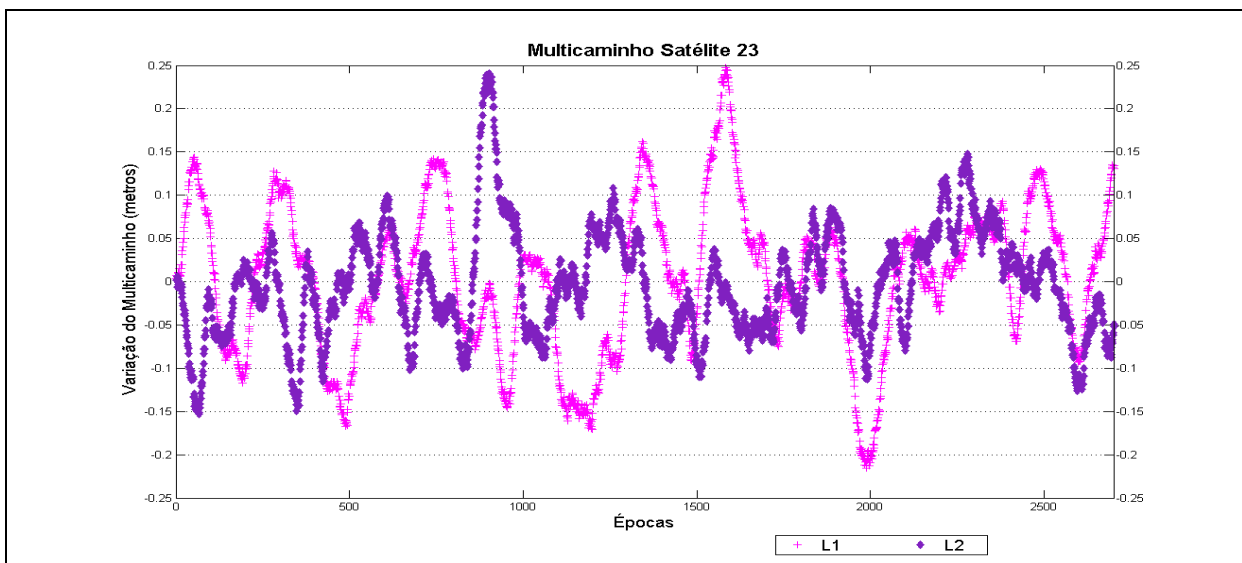


FIGURA 60 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO PARA AS ONDAS PORTADORAS L1 E L2 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Durante o período analisado percebe-se que a relação sinal ruído na onda portadora L1 manteve-se entre 41 e 48 dB (FIGURA 61). Observa-se no Detalhe 8 que nos momentos de maiores valores de multicaminho encontra-se os menores valores de SNR, ou seja, quanto maior o ruído maior o valor de multicaminho.

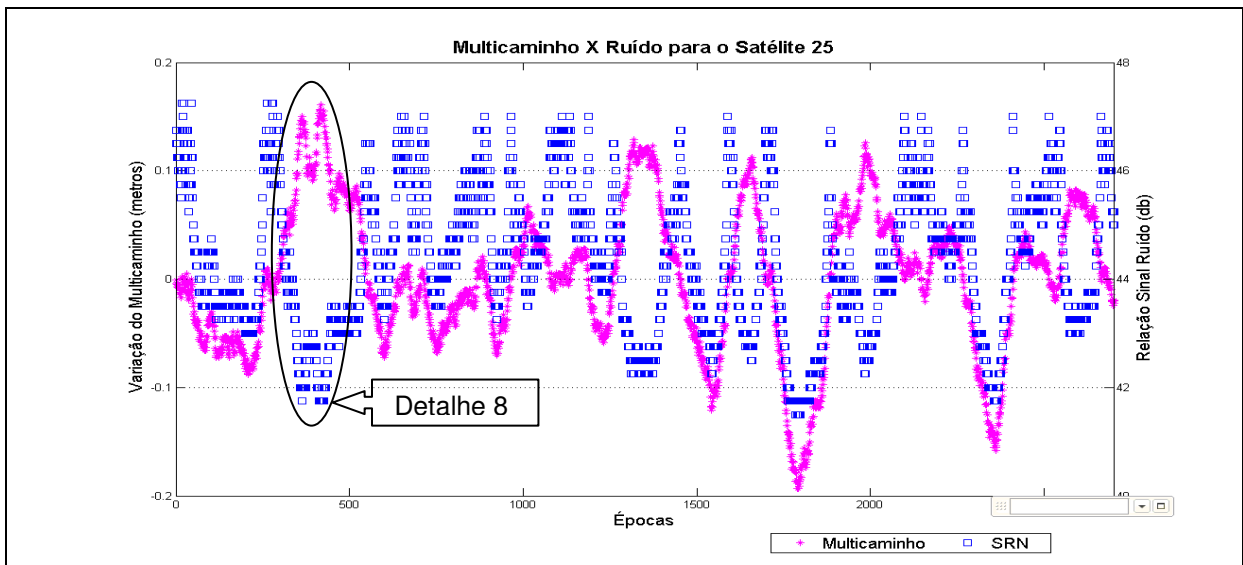


FIGURA 61 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L1 PARA O SATÉLITE 23 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Na onda portadora L2 o SNR apresentou valores mais baixos que na onda portadora L1, variando de 38,75 a 44,25 dB (FIGURA 62). Da mesma forma que para os outros gráficos, quanto menor a SNR maior o multicaminho (Detalhe 9).

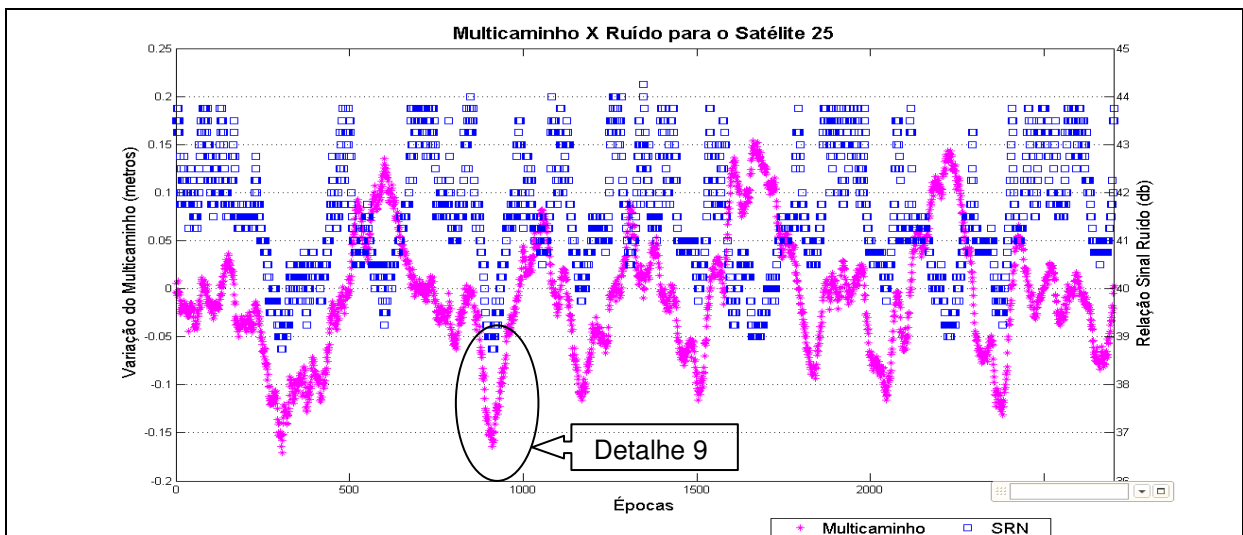


FIGURA 62 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L2 NO SATÉLITE 23 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Analisando a FIGURA 63 e 64, verifica-se que o comportamento da variação de multicaminho do satélite 23 é similar ao do satélite 25, o qual também apresenta elevação superior a 35° durante o período analisando, ou seja, a antena somente capta os sinais desse satélite devido ao efeito de multicaminho. O satélite 21

apresenta uma variação do nível de multicaminho para a onda portadora L1 e L2 inferior a 20 cm. A elevação do satélite 25 esteve nesse período entre 51° e 65°.

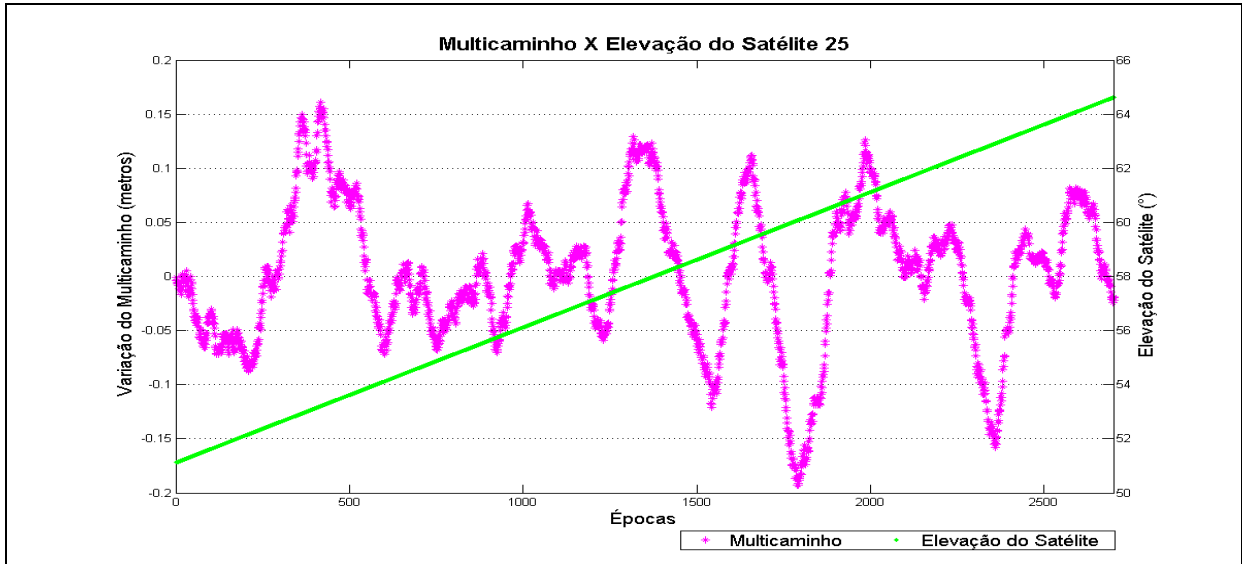


FIGURA 63 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 25 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

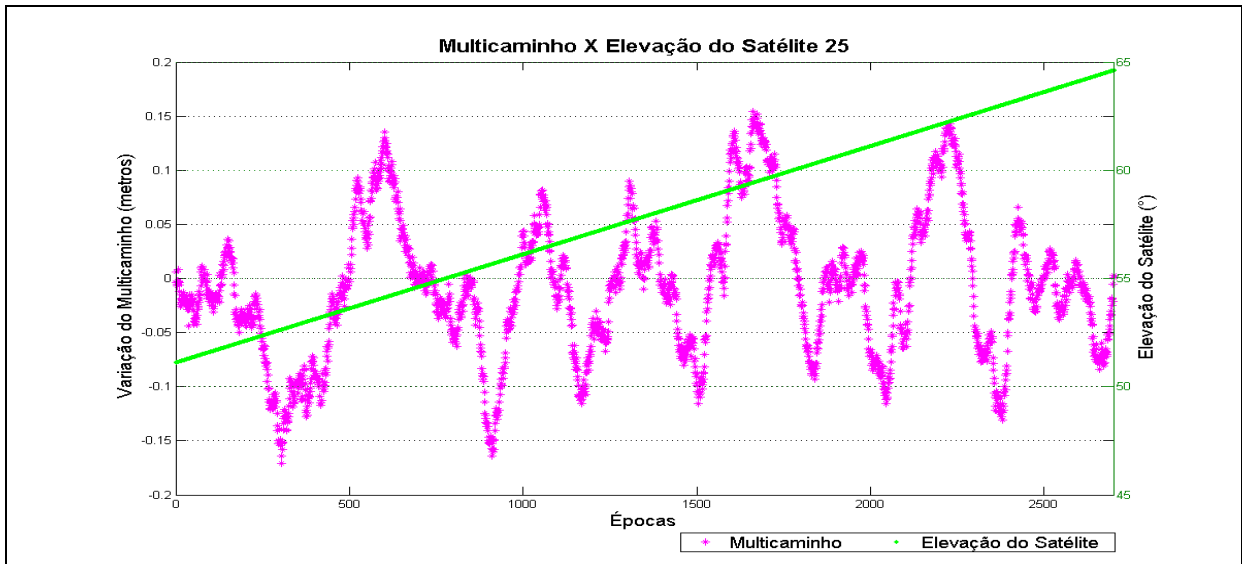


FIGURA 64 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 25 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA O MARCO NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Comparando a variação do nível do multicaminho com a relação sinal ruído para o satélite 25, verifica-se na FIGURA 65 e 66, que a SNR manteve-se entre 41 e 47 dB para a onda portadora L1 e entre 38 e 45 dB para a onda portadora L2.

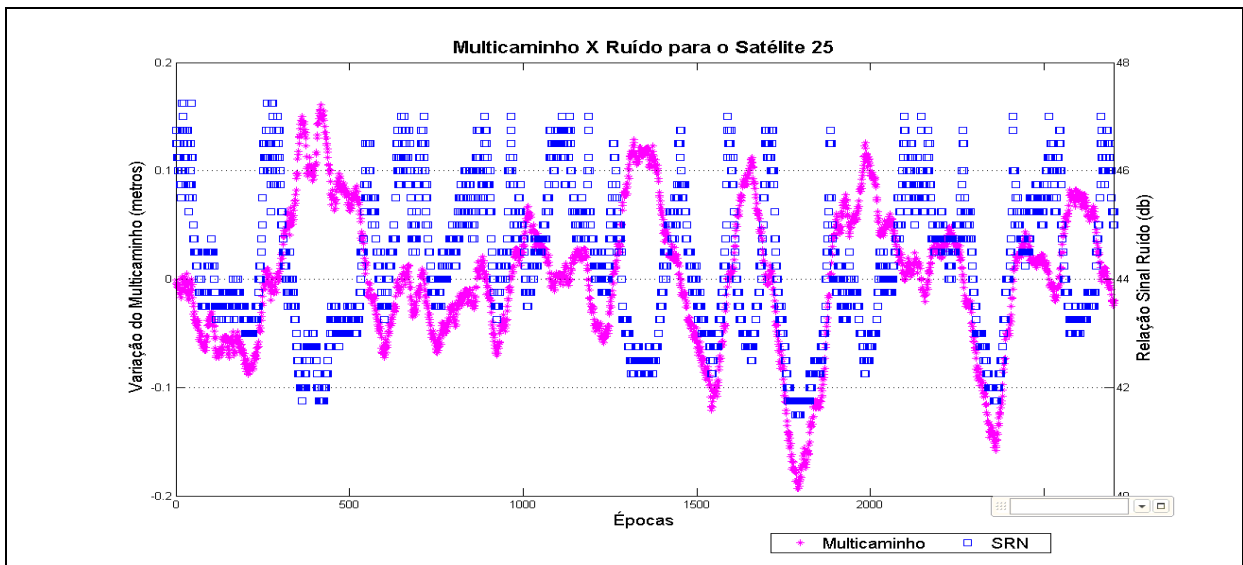


FIGURA 65 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L1 PARA O SATÉLITE 25 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

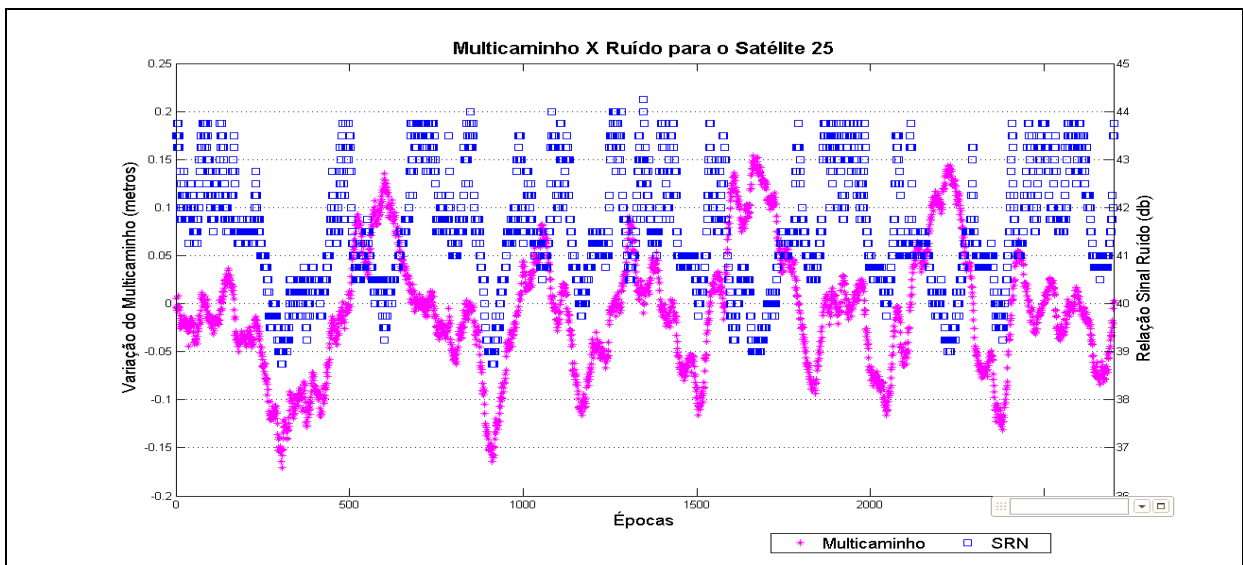


FIGURA 66 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L2 PARA O SATÉLITE 25 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Outro satélite analisado foi o satélite 16, o qual apresentou diferentemente dos satélite 21 e 25 uma elevação inferior a 35° e o sinal desse satélite chegou direto a antena. Na FIGURA 67, observa-se que o nível de multicaminho na onda portadora L1 variou 0,2 mm até aproximadamente 43 cm e na FIGURA 68 esse efeito atingiu até 50 cm para a onda portadora L2.

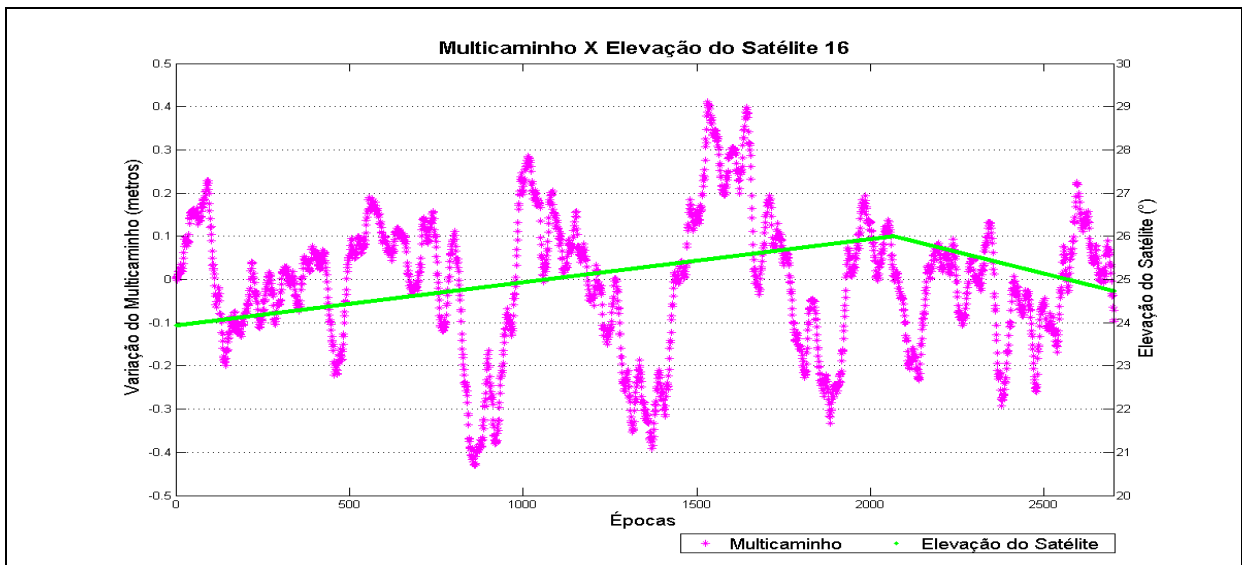


FIGURA 67 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 16 PARA A ONDA PORTADORA L1 PARA O MARCO NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

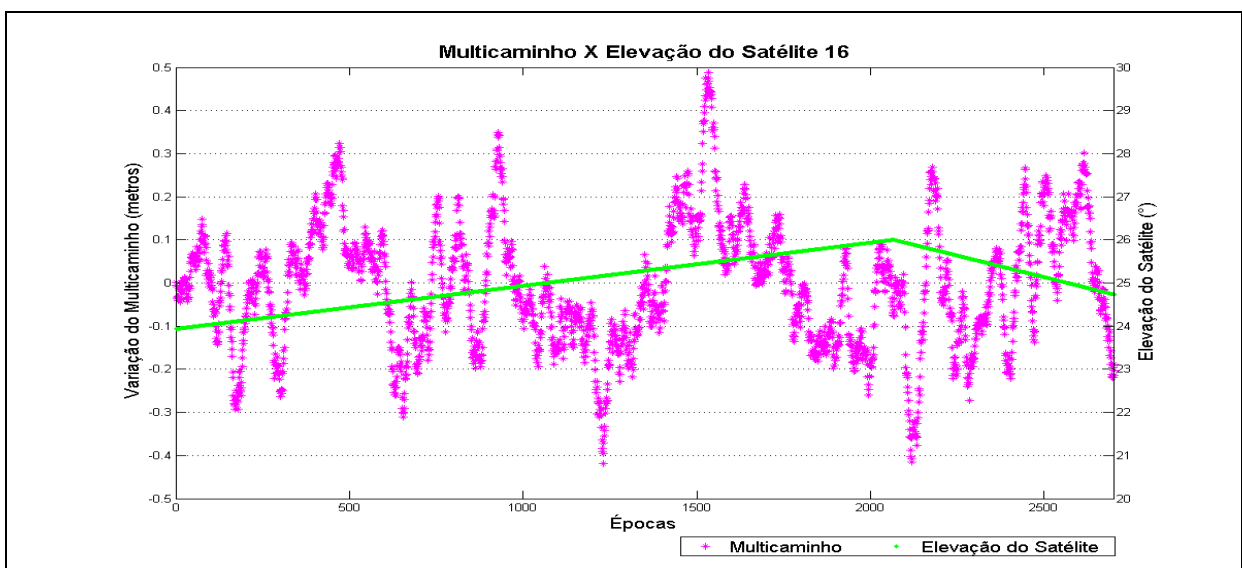


FIGURA 68 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO RELACIONADO COM A ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 16 PARA A ONDA PORTADORA L2 PARA O MARCO NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

Observa-se na FIGURA 69, que a relação sinal ruído para o satélite 16 manteve-se entre 40,50 e 45,50 dB durante o período de rastreamento para a onda portadora L1, e para a onda portadora L2, a SNR variou entre 32,50 e 39,75 dB, conforme mostra a FIGURA 70. No mesmo período a SNR é menor na onda portadora L2 é inferior a L1, ou seja, o ruído é maior na onda portadora L2.

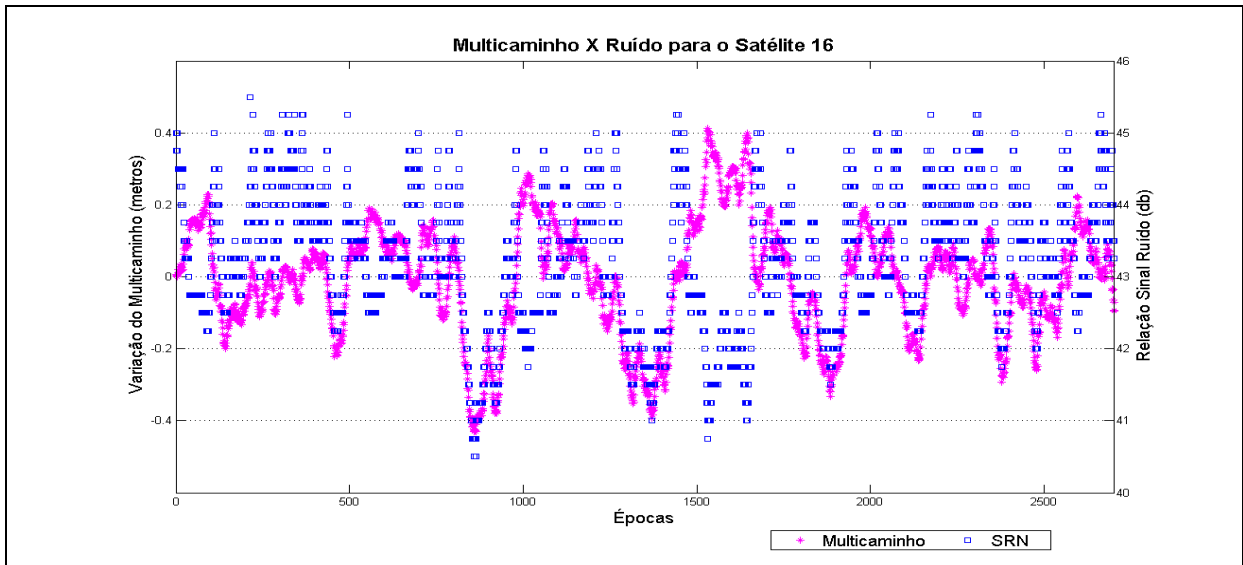


FIGURA 69 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L1 PARA O SATÉLITE 16 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

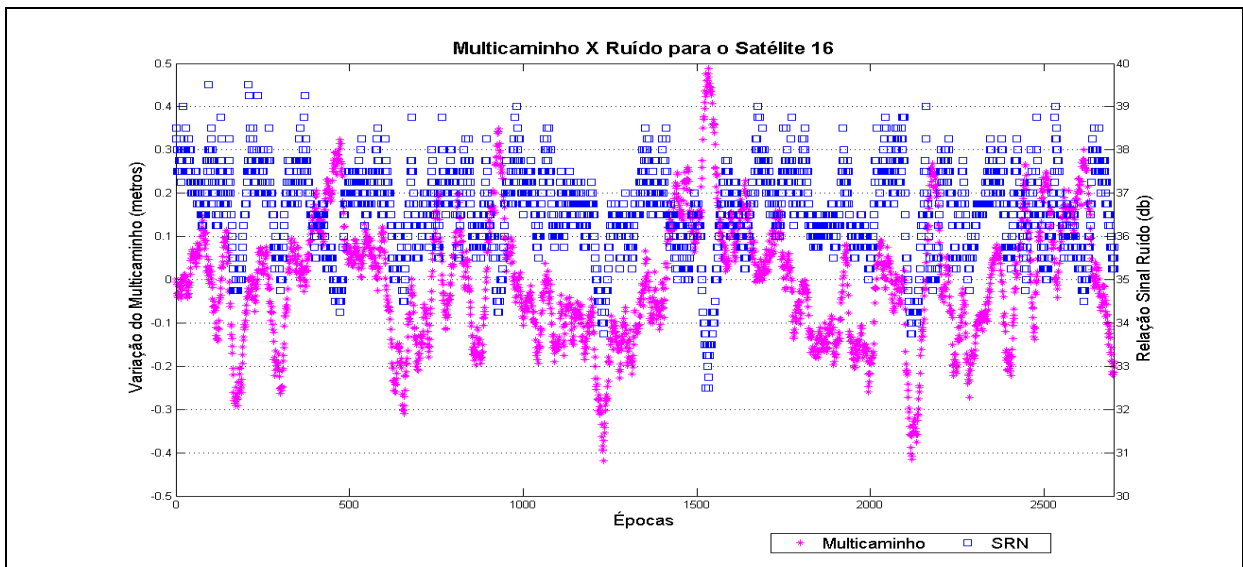


FIGURA 70 – VARIÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO COMPARADO COM A SNR A ONDA PORTADORAS L2 PARA O SATÉLITE 16 NA SESSÃO 11
 FONTE: A autora (2009)

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho verificou-se que o efeito de multicaminho pode gerar uma solução errônea da posição de um ponto. Constatou-se na seção 4.1 a influência desse efeito, aproveitando que o entorno da antena era extremamente favorável a reflexão de sinais advindos das paredes, dos objetos metálicos localizados no interior do laboratório, das portas metálicas e também dos outros objetos de madeira. Com as comparações realizadas confirmou-se que em posicionamentos de precisão o efeito de multicaminho é um dos maiores implicadores, já que este não pode ser reduzido através do método de posicionamento relativo. Em condições normais de rastreo o efeito de multicaminho poderá não gerar erros de ordem métrica como aconteceu nesse experimento (QUADRO 7, seção 4.1), mas afetará de alguma forma as coordenadas. Devido a isso é essencial para posicionamentos de precisão, á céu aberto, a análise do entorno de onde a antena será colocada, além da opção por utilizar antenas que possuam planos de terra, ou preferencialmente a utilização de antenas do tipo *choke ring* as quais amenizam o efeito de multicaminho.

O posicionamento em ambientes internos utilizando receptores geodésicos clássicos não é possível, porém quando se utiliza superfícies refletoras para redirecionar o sinal GPS para esses ambientes pode-se determinar as coordenadas de pontos localizados nesses locais. Essa foi a constatação de maior importância nesse trabalho, a possibilidade de se posicionar em ambiente interno com receptores geodésicos clássicos utilizando o efeito de multicaminho, por meio de superfícies refletoras para redirecionar o sinal GPS.

Também verificou-se que é possível realizar o pós-processamento das observações coletadas, no programa comercial LGO. Esses processamentos geraram coordenadas com precisão submétrica no posicionamento relativo com uma linha de base curta, aproximadamente 30 metros, quando comparadas as coordenadas de referência.

Foi possível utilizar o programa TEQC para gerar dados de variação do nível de multicaminho, relação sinal ruído e elevação dos satélites para cada instante de rastreo. Com esses dados pode-se verificar qual o comportamento dessas variantes para posicionamento em ambientes internos, através da análise do nível de

multicaminho comparando a com a elevação dos satélites, e comparando a variação do nível de multicaminho com a relação sinal ruído.

Nas sessões de rastreamento da etapa 2 (Seção 3.5.2), houve perdas de sinal constantes no decorrer do rastreamento e o tempo de rastreamento efetivo foi inferior ao tempo de ocupação do ponto. Conseqüentemente, o pós-processamento das observações gerou soluções flutuantes e coordenadas com diferenças métricas.

Na etapa 3, utilizando sinais diretos do satélite e sinais de multicaminho, permitiu que as ambigüidades fossem resolvidas no pós-processamento dos dados para uma base curta (30 m) com acurácia submétrica. No entanto, na sessão 9 mesmo utilizando uma base de 12 km obteve-se solução fixa, porém as coordenadas geradas distam da padrão em alguns metros. Isso prova que o efeito de multicaminho pode gerar uma de ambigüidades errônea. No entanto, os resultados são promissores diante das tecnologias para posicionamento em ambientes internos implementadas em receptores de navegação.

Também foi possível perceber através da análise dos gráficos da variação do nível de multicaminho juntamente com a relação sinal ruído que a medida que o ruído aumenta, ou seja, que a SNR diminui, o nível de multicaminho aumenta. Assim como, o nível de multicaminho na onda portadora L2 é mais alto que na onda portadora L1.

A distância entre as superfícies refletoras e o marco, assim como o ângulo de inclinação dessas superfícies influenciaram diretamente na aquisição das observações. Nos experimentos, a inclinação de 75° das superfícies refletoras foi a que proporcionou as coordenadas mais próximas das padrões. As superfícies refletoras com inclinações baixas, por exemplo, 15° foram as que proporcionaram o menor intervalo de coleta de dados.

Este trabalho também proporcionou o desenvolvimento de um anteparo para antena GPS que permite seu movimento controlado, tanto no eixo horizontal quanto no vertical. Podendo, futuramente, ser usado para pesquisas na área de análise de multicaminho e de calibração de antenas.

Os resultados obtidos pela pesquisa também mostraram a viabilidade da utilização do efeito multicaminho, utilizando superfícies refletoras para o posicionamento em ambientes internos com resultados significantes. No entanto, ainda existe uma série de possibilidades a serem verificadas.

As recomendações deste trabalho para futuras pesquisas são:

- a) Investigar quais materiais e formatos para superfícies refletoras podem gerar reflexões mais significativas para o posicionamento em ambientes internos;
- b) Investigar quais as inclinações das superfícies refletoras proporcionam menor atenuação para a maior parte dos sinais GPS;
- c) Investigar o comportamento e os efeitos da inclinação da antena de maneira controlada, utilizando uma superfície refletora com uma inclinação constante na variação do nível de multicaminho num posicionamento, por exemplo, utilizando um dispositivo de antena desenvolvido neste trabalho;
- d) Empregar a metodologia baseada em *wavelet* para a detecção do efeito de multicaminho em ambientes internos utilizando superfícies refletoras;
- e) Investigar se existe repetibilidade do efeito de multicaminho, utilizando superfícies refletoras com inclinação e distância constante, com a repetibilidade da geometria dos satélites para o posicionamento em ambientes internos;
- f) Empregar diferentes modelos de antenas para o estudo da influência do efeito de multicaminho em ambientes internos;
- g) Investigar viabilidade de aplicações práticas para utilização do efeito de multicaminho em ambientes internos, através de superfícies refletoras e do anteparo para antena, como por exemplo, monitoramento de estruturas internas.

REFERÊNCIAS

ASHKENAZI, V. GNSS: Benefits, Risks Benefits, Risks and Misconceptions. **International Symposium on GNSS/GPS**. Hong Kong, China. December, 2005.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; CARNEIRO, M. Ruído, Multicaminho e Ângulo de Elevação: Qual a Melhor Máscara para Trabalhos com Gps?. In: **Revista Geomática**, Santa Maria, v.1, n.1 – 2006.

BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. **Aplicação do Sistema de posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatémática, Texto Didático 10, 31 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 1 de junho de 2007.

CHAPMAN, S. J. **Programação em MATLAB para engenheiros**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

COMP, C. J.; AXELRAD, P. An Adaptive SNR-Based Carrier Phase Multipath Mitigation Technique. In: 9th **International Technical Meeting**, 1996, Kansas City. Proceedings. Kansas City, Missouri: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1996.

DAO, D; LACHAPELLE, G. **GPS Performance for Various Applications**. CD-ROM Proceedings, 26th Asian Remote Sensing conference, Hanoi, Vietnam, 7-11 November. 6 pages, 2005.

DIGGELEN, F. van; ABRAHAM, C. **Indoor GPS Technology**. CTIA Wireless-Agenda, Dallas, May 2001.

DRIRA, Anis. **GPS Navigation for Outdoor and Indoor Environments**. Project in Lieu of Thesis presented for the Masters of Science Degree. The University of Tennessee, Knoxville. May 2006.

ESTEY L. H.; MEERTENS C. M., TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data. **GPS Solutions**, v. 3, n. 1, p. 42-49, 1999.

FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K. **Altimetria, gravimetria e poligonação. Levantamentos Geodésicos I**. Notas de aula. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/docs/levgeod1/alt_grav_polig.pdf>. Acesso em: junho, 2008.

FARRET, J.C. **O efeito do multicaminho estático nas medidas da fase das ondas portadoras GPS**. 2000. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FARRET, J. C. ; MORAES, Carlito Vieira de ; BARBIERI, Márcio José ; FARRET, Isaias Salin ; SANTOS, Marcelo Carvalho dos ; PEREIRA, Cláudio José . **Correlação SNR e Multicaminho na Fase das Portadoras GPS**. In: **III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2003, Curitiba. III CBCG - Anais em CD-ROM. Curitiba : Editora da Universidade Federal do Paraná, 2003.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Investigações para a Calibração Relativa de Antenas de Receptores GNSS**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GONÇALVES, A. S.; WALTER, F.. **Análise da Reflexão Especular do Sinal do Multicaminho**. Artigo. Divisão de Engenharia Eletrônica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São José dos Campos, SP – Brasil,2005.

HU, T. **Controlled Indoor GPS Signal Simulation**. Thesis, published as UCGE Report No. 20235, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada, 2006.

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

KRUEGER, Cláudia Pereira . **Fundamentos de Geodésia Celeste**. (Apostila da disciplina de Geodésia Celeste do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LACHAPELLE, Gérard. GNSS Indoor Location Technologies. **Journal of Global Positioning Systems**, Vol. 3, No. 1-2: 2-11, 2004.

LEANDRO, D., HUINCA, S. M., CARVALHO, A. S., GONCALVES, R. M., FERREIRA, L. D. D. **Análise do Efeito de Mulicaminho na Estação VICO de Monitoramento contínuo** In: **COBRAC 2008 - 8º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário / 6º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países do MERCOSUL / 3º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países da América Latina**, Florianópolis, 2008.

LEANDRO, D. ; MIRANDA, F. A. ; MIRANDA, F. A. ; JAMUR, K. P. . **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE ENTORNO E DA REFRACTIVIDADE DO AMBIENTE NO POSICIONAMENTO GPS**. In: II Simpósio

Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008, Recife. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.

LEICA Geosystems. Disponível em <<http://www.LEICA-geosystems.com>>. Acesso 16 março de 2008.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying.** New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying.** 2ª Edition, Wiley-Interscience Publication, 1995.

MATSUMOTO, E. Y. **Matlab 6.5: fundamentos de programação.** São Paulo: Érica, 2002.

MOELKER, D. **Multiple Antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multipath Direction Finding.** Proceedings of ION GPS-97, Kansas City, September 16-19, pp. 541-550.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTARGPS. Descrição, Fundamentos e Aplicações.** São Paulo, Editora UNESP,2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS. Descrição, Fundamentos e Aplicações.** São Paulo, Editora UNESP,2007.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E. M. de; MONICO, J. F. G. Análise dos fatores que influenciam o Multicaminho. Artigo In: **COBRAC 2004 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, UFSC, Florianópolis-SC. Outubro, 2004, 10 f.

PROCTOR, A.; CATMUR, R. Measuring Up: Certification Processes and Testing of A-GPS Equipped Cellular Phones. In: **InsideGNSS**, v. 2, n 8 - 2007.

RAY, J.K.; Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations. In: **International Technical Meeting**, 12., Nashville, 1999.

RAY, J.K. **Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System.** Tese, University of Calgary, Calgary, 2000.

SCHWIEGER, V. High-Sensitivity GPS - the Low Cost Future of GNSS ?! Strategic Integration of Surveying Services. **FIG Working Week 2007.** Hong Kong SAR, China, 2007.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 586 páginas, 2003.

SILVA, A. L. **Estudo da distribuição da autocorrelação das observações GPS**. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco.CTG. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife, 2005.

SOUZA, E. M. **Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

SOUZA, E. M. de; POLEZEL, W. G. C.; MONICO, J. F. G. Avaliação do Nível de Multicaminho no Posicionamento Relativo GPS e Sua Atenuação Através da Análise de Multiresolução. In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 11, no 2, p. 221-234, jul-dez, 2005.

SOUZA, E. M. ; MONICO, J. F. G. Validação da Solução das Ambiguidades: Performance do Teste Ratio de Abertura. In: **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**, Macaé, 2005.

SOUZA, E. M. **Análise de Wavelets para a Detecção e Correlação do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

SZILÁGYI, A.; HIRANO, T. **Polarização de Ondas Eletromagnéticas**. Disponível em <<http://paginas.terra.com.br/lazer/py4zbx/antenas/polarizacao.htm>>. Acessado 10 de abril de 2007.

STEIN, P. S.; REIS, N. R. S. Sistema integrado de navegação para o Robô Ambiental Híbrido na Floresta Amazônica. Anais **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 7103-7105.

Yun, D.; Jun, H.; Kee, C. **Indoor Navigation System using Pseudolite**. Seoul National University.GNSS Lab. Seoul National University San56-1 Shinlim-dong, Kwanak-ku, Seoul 151-742, Korea. Disponível em <http://gps.snu.ac.kr/research/pseudolite/indoor_eng.htm>. Acessado em 20 de junho de 2007.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

Ashtech Precision Products. **Ashtech Solutions User's Guide**. Santa Clara, USA, 2001.

FARRET, J.C. O Efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase das Portadoras GPS. Artigo. In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 7, no 1, p.84-86, 2001.

ISHIKAWA, M. I.; ITAME, O. Y. Efeitos de Multicaminhamento em Levantamentos Utilizando GPS Aplicados ao Cadastro Técnico Urbano. Artigo. **COBRAC 2000 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário** · UFSC Florianópolis. Outubro 2000. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2000/063/063.htm#2%20Multicaminhamento>. Acesso: 26 de março de 2007.

LEICA Geosystems AG. **GPS1200 System Field Manual 1**. Version 2.0. English. Heerbrugg, Suíça, 2005.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E. M. de; MONICO, J. F. G. **Influência do Multicaminho na Acurácia das Coordenadas GPS**. Artigo. UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, 2005.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. 2000. Editora LTC. Rio de Janeiro, RJ. Artigo. UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, 2005.

TRIMBLE. Disponível em <<http://www.trimble.com>>. Acesso: 20 de abril de 2008.

USP. Disponível em <<http://educar.sc.usp.br/optica/reflexao.htm#especular>>. Acesso 26 de março de 2007.

APÊNDICE

No apêndice A são apresentadas as coordenadas do pós-processamento dos dados brutos do experimento. No apêndice B são apresentados os dados de qualidade das sessões de rastreamento da etapa 3.

Apêndice A - COORDENADAS GEODÉSICAS

As coordenadas geodésicas (WGS84) determinadas pelo processamento das sessões de rastreamento são apresentadas no QUADRO 12.

| Sessão | φ | λ | h |
|------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Padrão | -25° 26' 55,02978" | -49° 13' 52,01281" | 923,6380 m |
| Sessão 1 | -25° 26' 55,05074" | -49° 13' 52,18262" | 916,3487 m |
| Sessão 2 | -25° 26' 55,61245" | -49° 13' 52,21772" | 885,1756 m |
| Sessão 3 | -25° 26' 54,93362" | -49° 13' 51,91546" | 920,3351 m |
| Sessão 4 | - | - | - |
| Sessão 5 | -25° 26' 53,57881" | -49° 13' 50,27922" | 935,6162 m |
| Sessão 6 | -25° 26' 54,16116" | -49° 13' 51,61075" | 934,1061 m |
| Sessão 7 | -25° 26' 55,00746" | -49° 13' 51,88121" | 921,9883 m |
| Sessão 8 | -25° 26' 54,69384" | -49° 13' 52,35044" | 935,699 m |
| Sessão 9 | -25° 26' 55,05921" | -49° 13' 51,91896" | 918,8299 m |
| Sessão 10 | -25° 26' 55,04636" | -49° 13' 51,37738" | 917,6483 m |
| Sessão 11 | -25° 26' 55,02577" | -49° 13' 52,00352" | 922,8528 m |

QUADRO 11 – COORDENADAS GEODÉSICAS EM WGS 84.

FONTE: A autora (2009)

Apêndice B – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO E ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES

Sessão 8

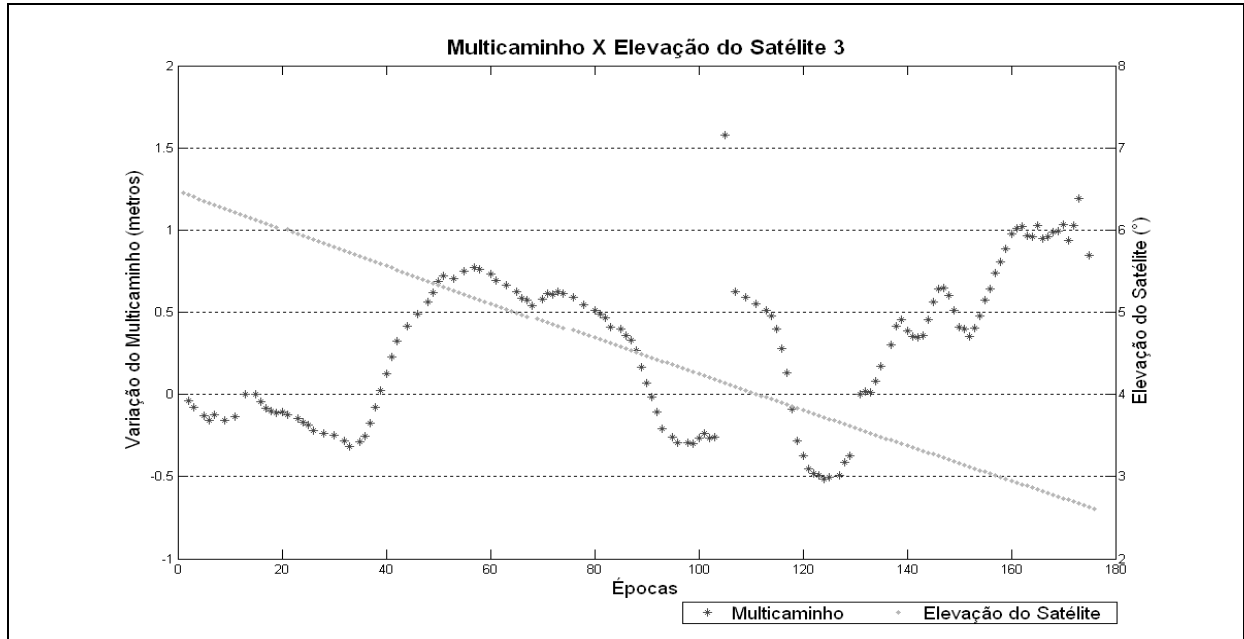


FIGURA 71 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 3 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8
 FONTE: A autora (2009)

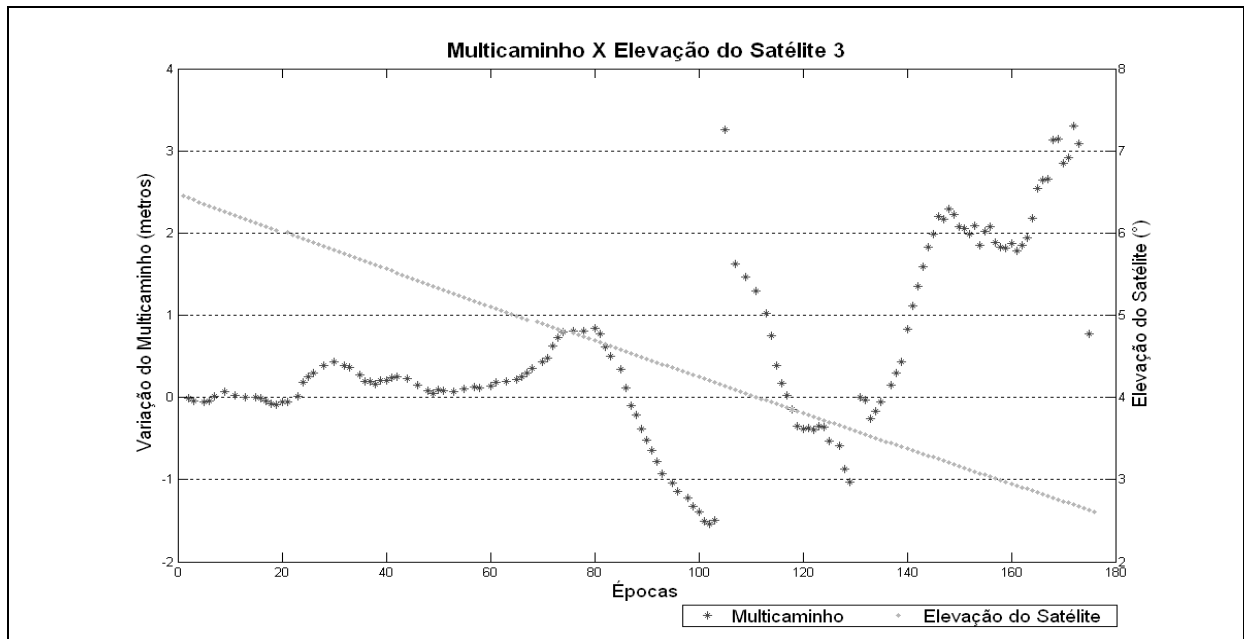


FIGURA 72 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 3 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8
 FONTE: A autora (2009)

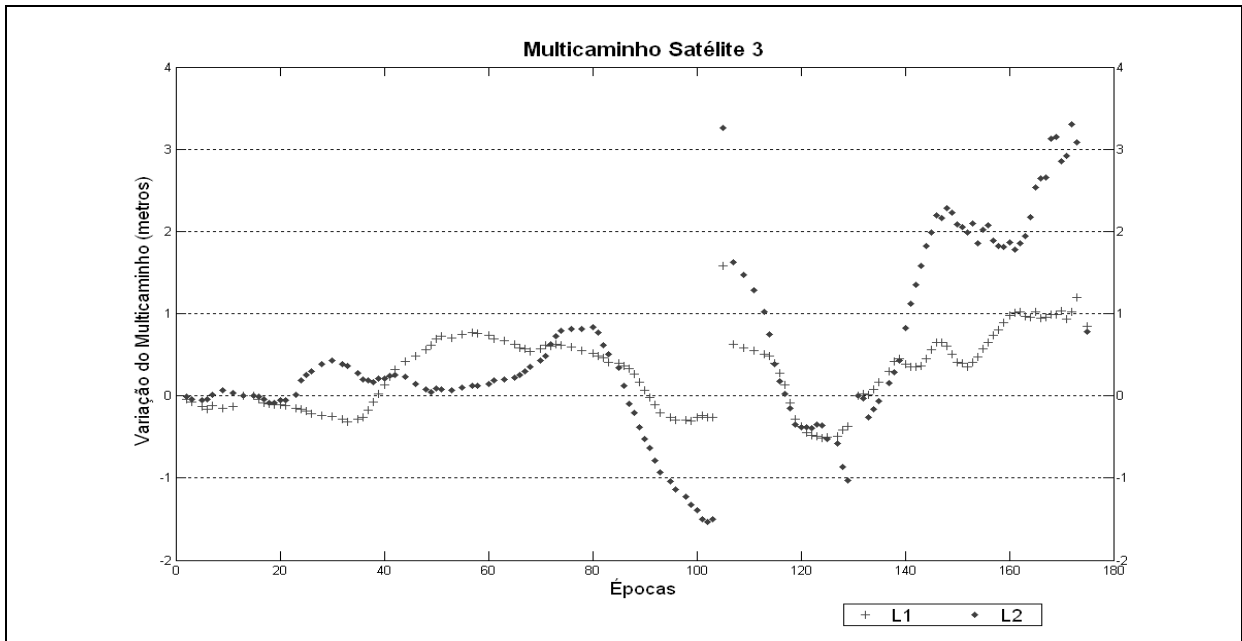


FIGURA 73 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 3 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8
 FONTE: A autora (2009)

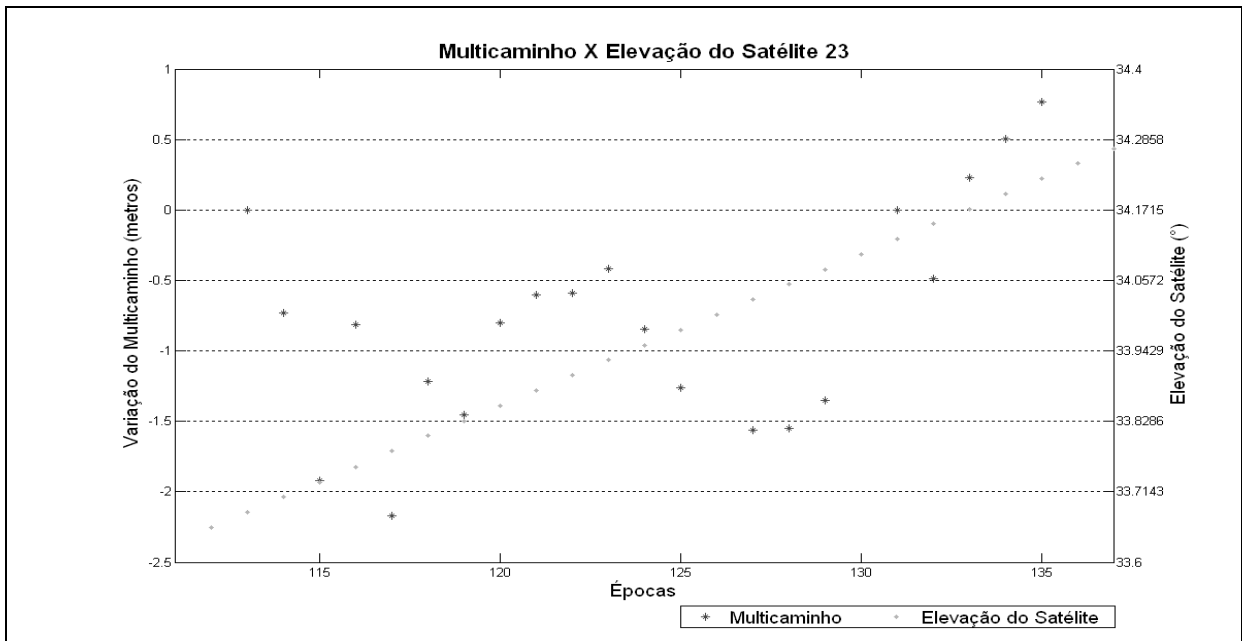


FIGURA 74 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 8
 FONTE: A autora (2009)

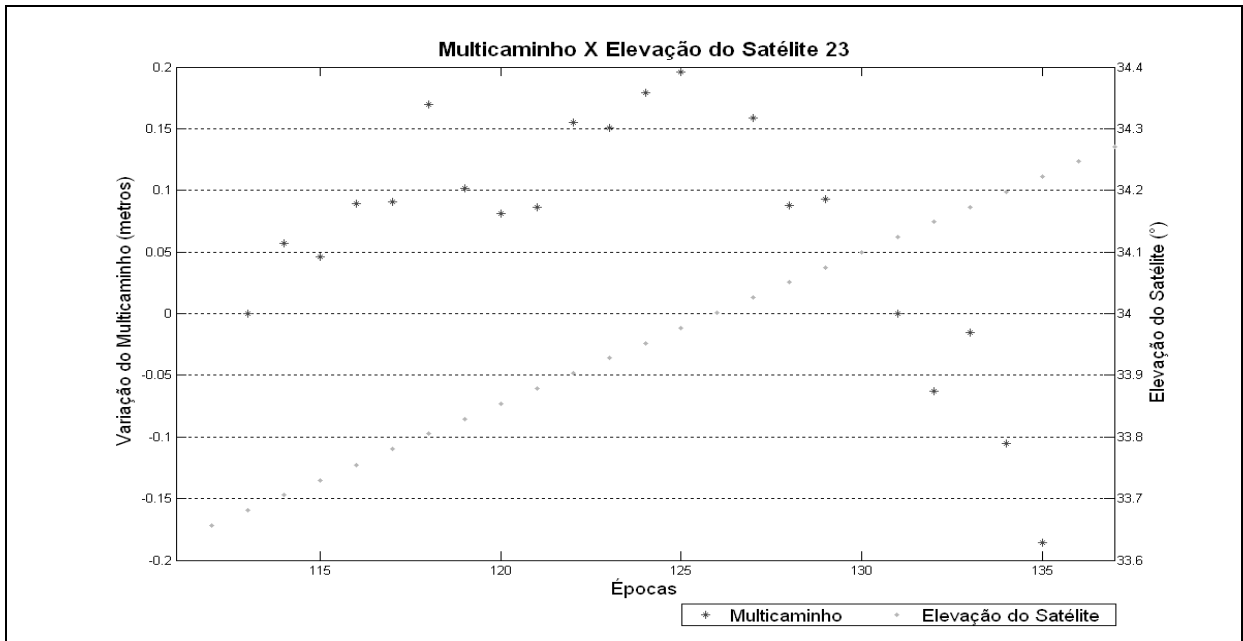


FIGURA 75 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVÇÃO NA SESSÃO 8
 FONTE: A autora (2009)

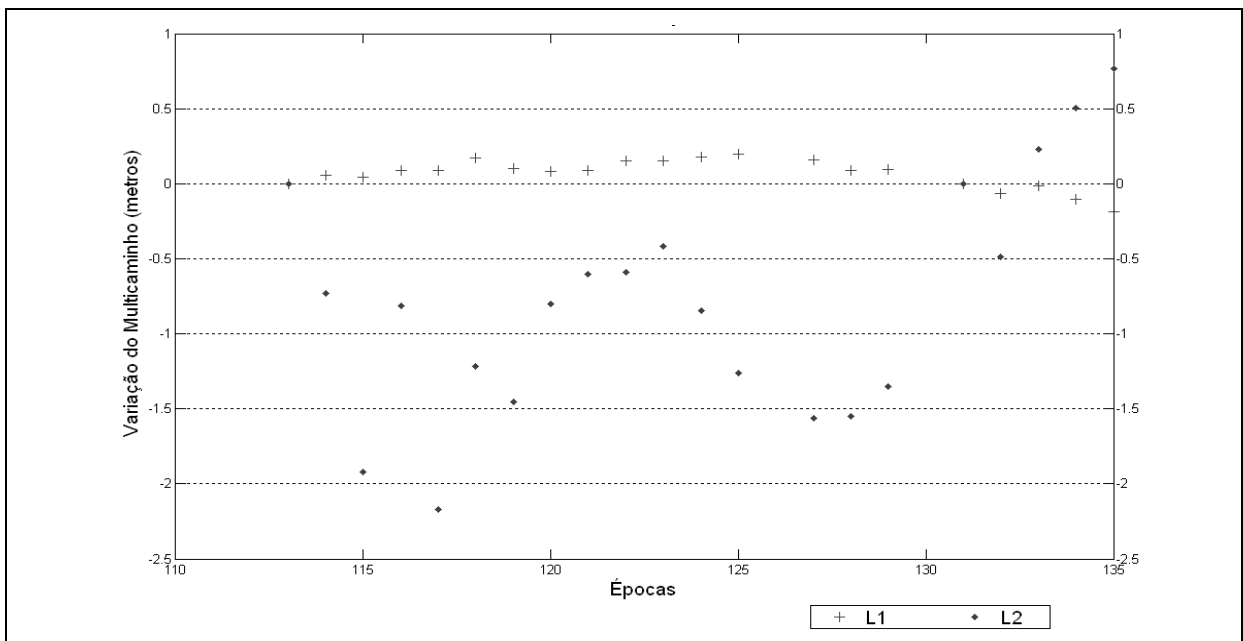


FIGURA 76 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVÇÃO NA SESSÃO 8
 FONTE: A autora (2009)

Sessão 9

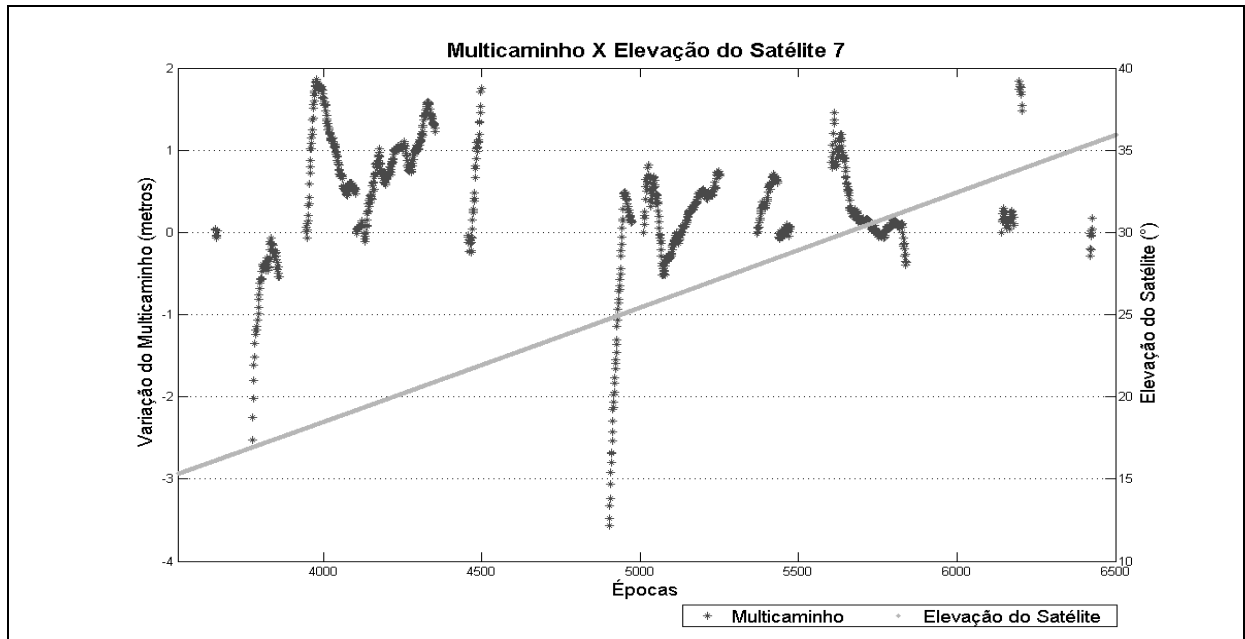


FIGURA 77 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 7 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9
 FONTE: A autora (2009)

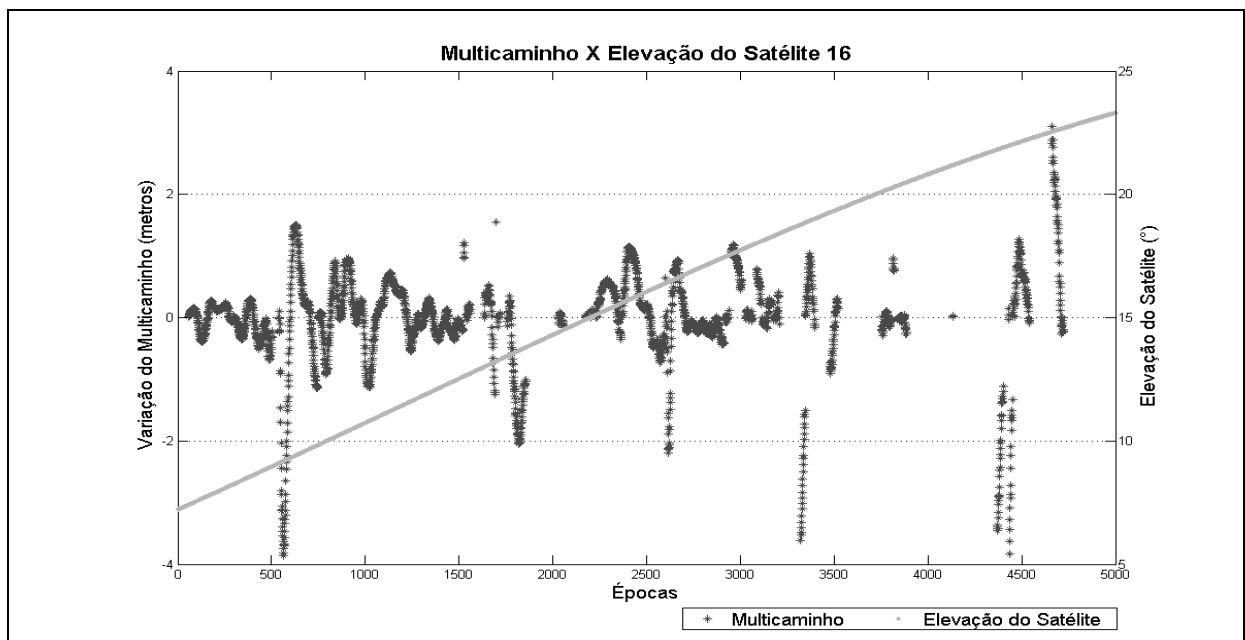


FIGURA 78 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 16 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9
 FONTE: A autora (2009)

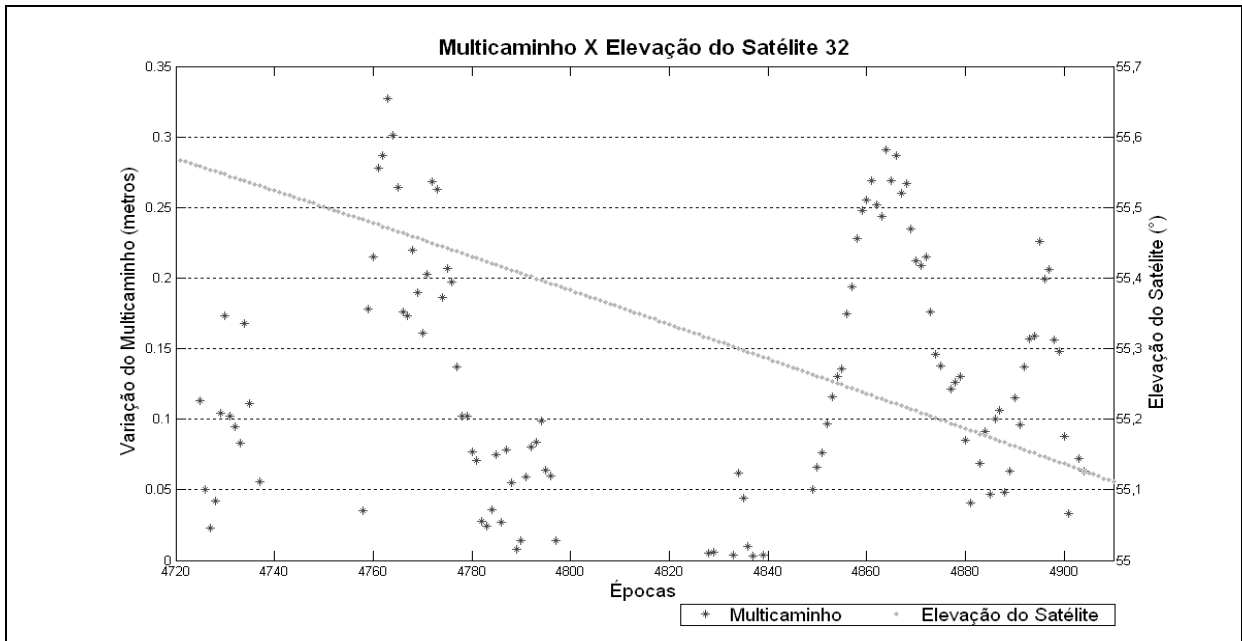


FIGURA 79 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVÇÃO NA SESSÃO 9
 FONTE: A autora (2009)

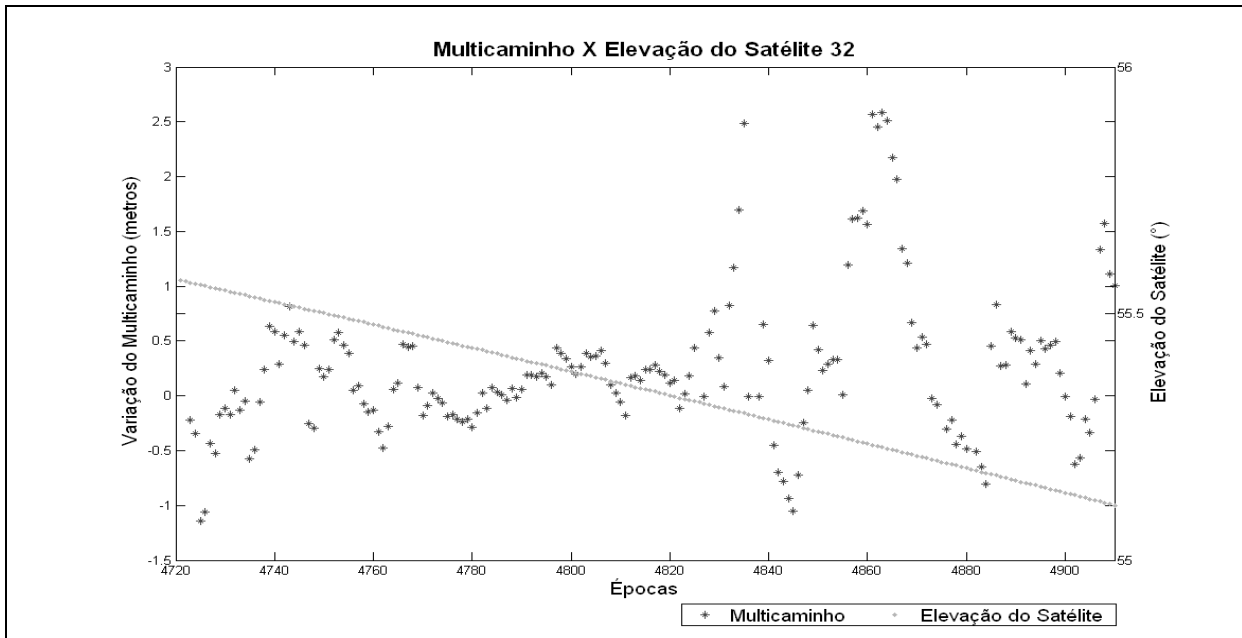


FIGURA 80 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVÇÃO NA SESSÃO 9
 FONTE: A autora (2009)

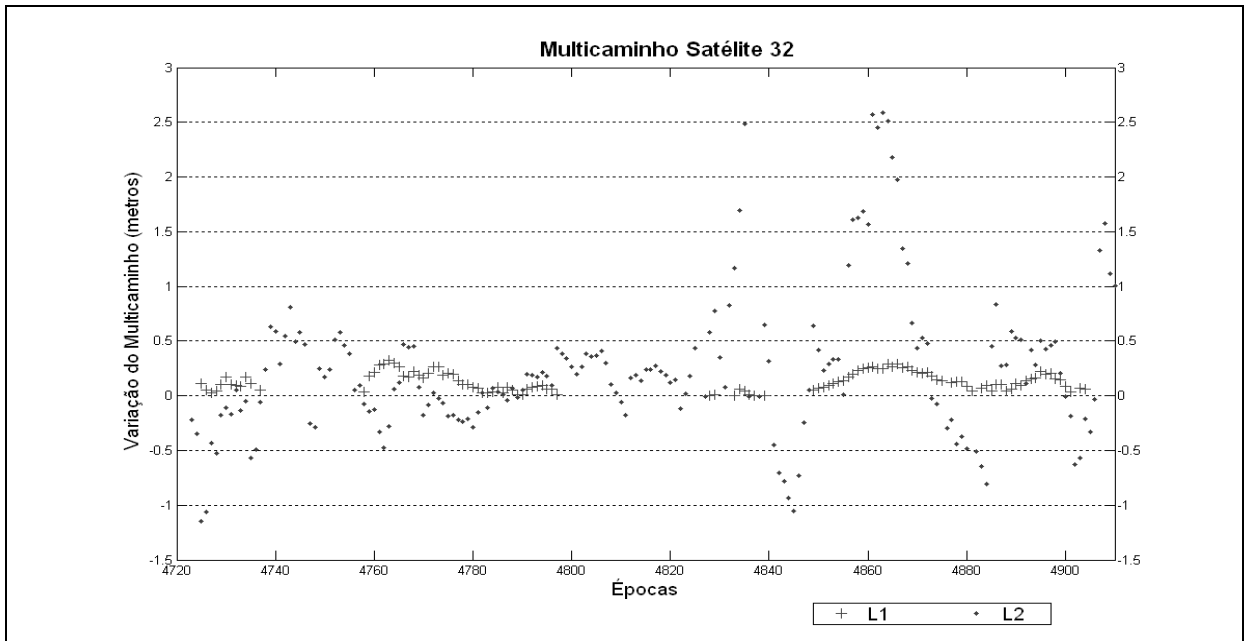


FIGURA 81 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 9
 FONTE: A autora (2009)

Sessão 10

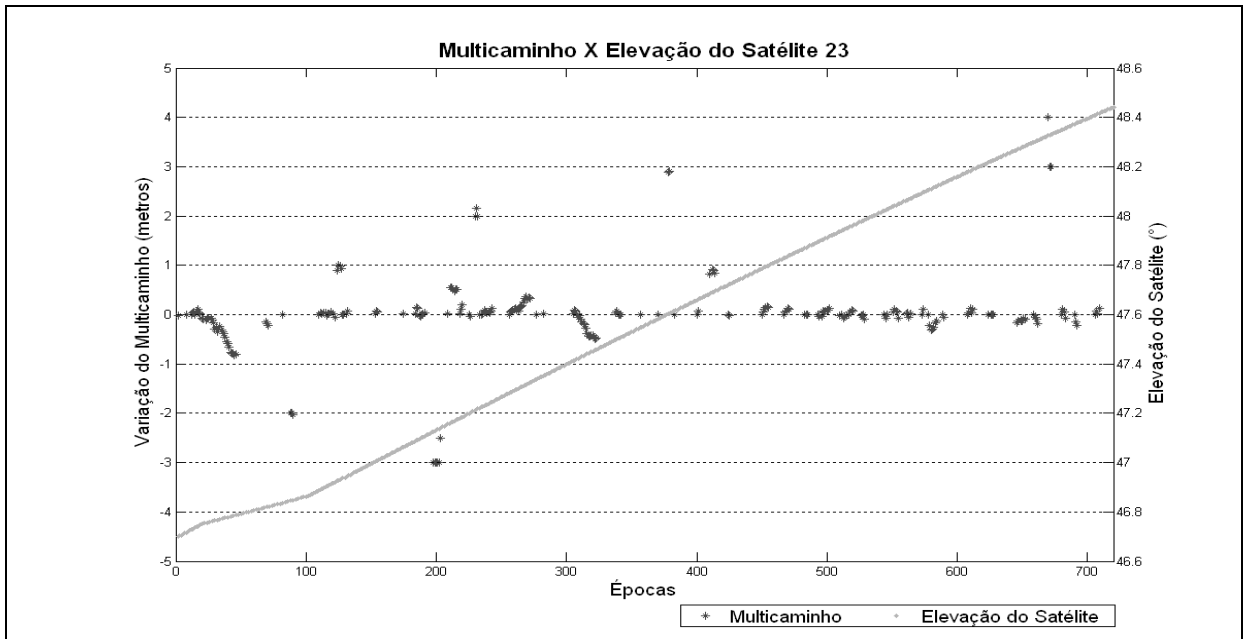


FIGURA 82 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVAÇÃO NA SESSÃO 10
 FONTE: A autora (2009)

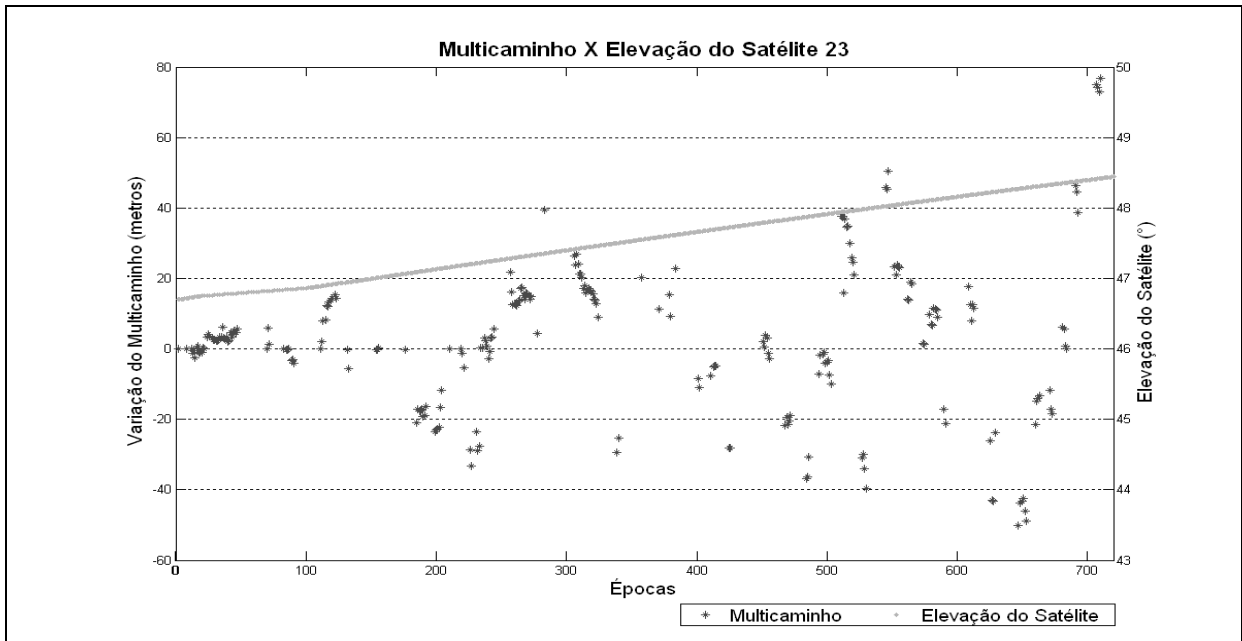


FIGURA 83 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 23 RELACIONADO COM SUA ELEVÇÃO NA SESSÃO 10
 FONTE: A autora (2009)

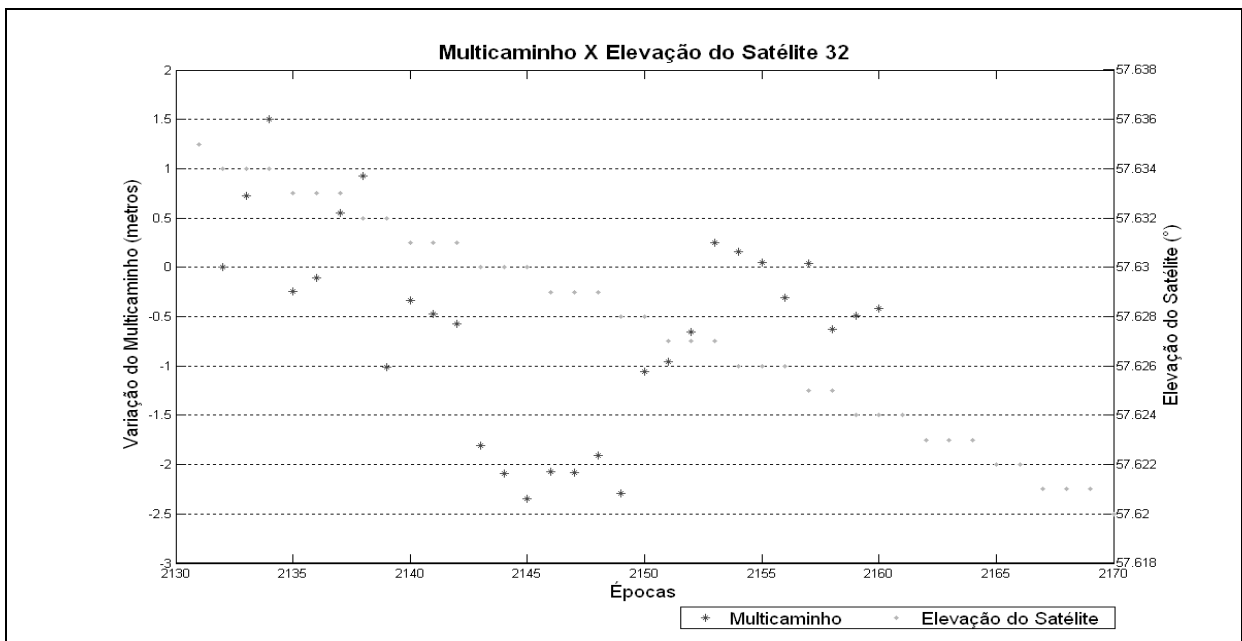


FIGURA 84 – VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO EM L2 NO SATÉLITE 32 RELACIONADO COM SUA ELEVÇÃO NA SESSÃO 10
 FONTE: A autora (2009)

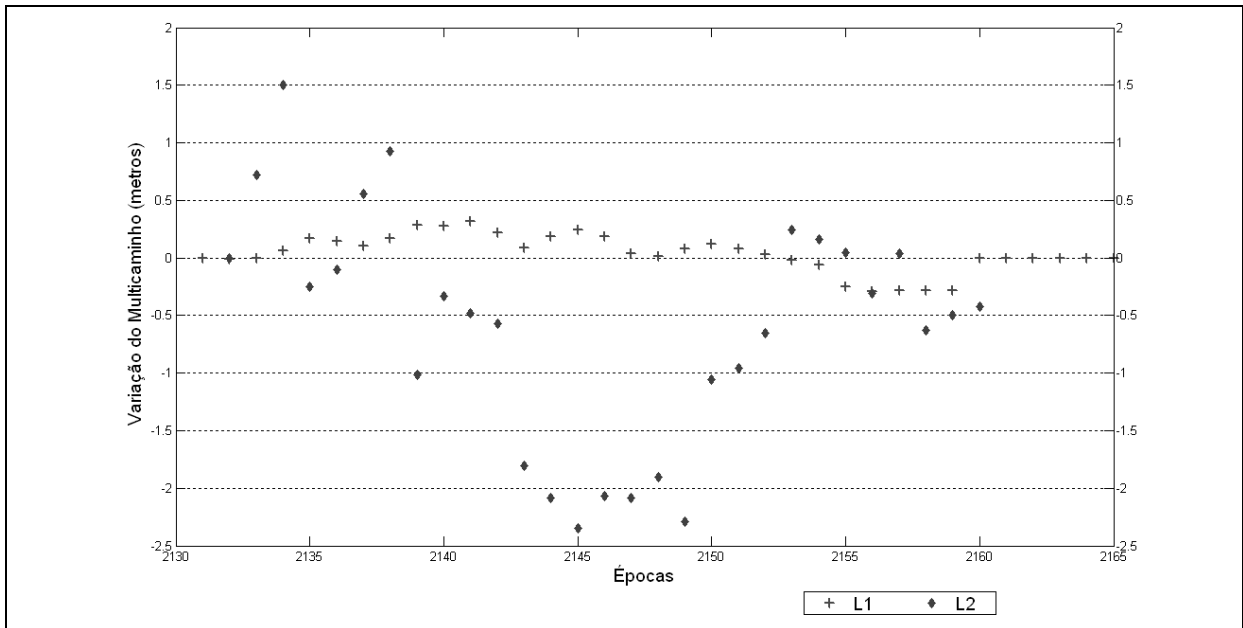


FIGURA 85 – VARIÇÃO DO MULTICAMINHO EM L1 E L2 NO SATÉLITE 32 NA SESSÃO 10
FONTE: A autora (2009)