

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

**PRECISÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS
OBTIDAS COM RECEPTORES GNSS DE PONTOS
SITUADOS SOB REDES ELÉTRICAS DE ALTA
TENSÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fernando Luis Hillebrand

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**PRECISÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS
OBTIDAS COM RECEPTORES GNSS, DE PONTOS
SITUADOS SOB REDES ELÉTRICAS DE ALTA TENSÃO**

por

Fernando Luis Hillebrand

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

Orientador: Prof. Dr. Gelson Lauro Dal' Forno

Santa Maria, RS, Brasil
2012

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

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

**PRECISÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS OBTIDAS COM
RECEPTORES GNSS DE PONTOS SITUADOS SOB REDES
ELÉTRICAS DE ALTA TENSÃO**

elaborado por
Fernando Luis Hillebrand

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Gelson Lauro Dal' Forno, Dr.
(Presidente/Orientador)

Félix Alberto Farret, Dr. (UFSM)

Maurício Roberto Veronez, Dr. (UNISINOS)

Santa Maria, 17 de setembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Desejo externar seus agradecimentos aos amigos, professores, profissionais de instituições e colaboradores abaixo relacionados.

Ao Prof. Dr. Gelson Lauro Dal' Forno, professor do Curso de Pós-Graduação em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de ingresso ao meio científico, à orientação prestada e pela grande amizade.

Ao meu pai, que pela experiência profissional me serviu de exemplo para orientar nas minhas escolhas profissionais.

A minha mãe, pela dedicação e estímulo na continuidade e conclusão dos estudos.

A minha esposa Ana Leticia Jost Beras pelo apoio, estímulo e dedicação pessoal nas dificuldades encontradas. Também expresso meu agradecimento na contribuição da tradução dos textos de livros e artigos estrangeiros.

Aos parentes e também colegas profissionais Eduardo Daniel Schneider e Gabriel Schneider que auxiliaram na série de levantamentos topográficos e geodésicos realizados para a elaboração da dissertação.

Ao amigo Marco Ivan Rodrigues Sampaio, aluno do Curso de Pós-Graduação em Geomática pelo auxílio na elaboração da dissertação.

Ao Prof. Argentino José Aguirre, professor do Curso de Pós-Graduação em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria, pela amizade e também prontamente se dispôs a colaborar na revisão técnica e realizar apontamentos para melhorar a qualidade técnica da dissertação.

A empresa Topographia e Planejamento Rural S/S Ltda pelo crescimento profissional, incentivo e apoio na realização das disciplinas do Curso de Pós-Graduação em Geomática e no empréstimo dos equipamentos topográficos e geodésicos para a elaboração dos experimentos.

RESUMO

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

PRECISÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS OBTIDAS COM RECEPTORES GNSS DE PONTOS SITUADOS SOB REDES ELÉTRICAS DE ALTA TENSÃO

AUTOR: FERNANDO LUIS HILLEBRAND
ORIENTADOR: GELSON LAURO DAL' FORNO

Data e Local da Defesa: Santa Maria/RS, 17 de setembro de 2012.

O propósito deste trabalho foi investigar e mensurar a possibilidade de haver multicaminhamento pelo efeito corona gerado em linhas elétricas de alta tensão na recepção de sinais GNSS. Foram realizados experimentos em uma rede elétrica com tensão de 69 kV localizado no município de Santa Maria/RS. Foi implantada uma série de onze pontos transversais ao alinhamento longitudinal da linha de transmissão. Nestes pontos realizou-se uma avaliação do campo eletromagnético gerado utilizando um equipamento medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000. Foram realizadas avaliações da interferência no posicionamento pelo método absoluto utilizando o receptor GNSS de código C/A Garmin modelo GPS II Plus e o posicionamento pelo método relativo com o receptor GNSS portadora L1/L2 Topcon modelo Hiper. Para avaliar a interferência dos pontos foi necessário obter as coordenadas geodésicas desses pontos sem possibilidades de multicaminhamento pelo efeito corona. Para isto implantou-se uma poligonal topográfica enquadrada em que os marcos de apoio localizavam-se distantes a linha de transmissão sem a influência do campo eletromagnético. Ao realizar o cálculo das discrepâncias entre as coordenadas foi necessário realizar a transformação das coordenadas geodésicas obtidas pelos receptores GNSS para o Sistema Topográfico Local para a compatibilização dos sistemas, sendo utilizado o modelo das rotações e translações. Realizando os cálculos concluiu-se que para os métodos de levantamento e os equipamentos geodésicos utilizados neste experimento, em uma linha de transmissão de 69 kV, as discrepâncias constatadas ficaram dentro do desvio-padrões de 17,10 mm admitido ao equipamento receptor GNSS portadora L1/L2 e 15 m ao receptor GNSS código C/A, a nível de confiança de 95%. Assim não se constatou interferências do campo eletromagnético na recepção dos sinais GNSS.

Palavras-chave: poligonal topográfica; receptores GNSS; rede elétrica; efeito corona, multicaminhamento dos sinais GNSS.

ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree
Graduate Program in Geomatics
Federal University of Santa Maria

PLANIMETRIC COORDINATE ACCURACY OBTAINED WITH GNSS RECEIVERS LOCATED IN POINTS UNDER HIGH VOLTAGE ELECTRICAL LINES

AUTHOR: FERNANDO LUIS HILLEBRAND

ADVISER: GELSON LAURO DAL'FORNO

Date and Place of Defence: Santa Maria/RS, September 17, 2012.

The purpose of this work was investigate and measure the possibility to exist multipath caused by the corona noise generated in high voltage electric lines receiving GNSS signals. Experiments were realized with a 69 kV tension electric line localized in Santa Maria/RS. A serie was located with eleven transversal points to the longitudinal ranging of the transmission line. In this points, the eletromagnetic field was estimated using an equipment to measure the electromagnetic field EM-8000 model. Valuations was realized about the interferences on positioning by the absolut method, using a GNSS receiver with C/A code Garmin GPS II Plus model and the positioning by the relative method with the GNSS receiver L1/L2 Topcon Hiper model. To estimate the interference in the points was necessary to obtain the geodesic coordinates of this points without multipath possibilities caused of corona noise. For this was implanted a squared topographical polygonal where the support points were located far from the transmission lines, free of the electromagnetic field influence. Calculating the variances among the coordinates was necessary transform the geodesic coordinates obtained at GNSS receivers to the Local Topographic System, to make the systems compatible, using the rotation and translation model. Calculating was possible conclude that to the raising method and the geodesic equipment used in this experiment, in a 69 kV transmission line, the found discrepancies were in the standard deviation of 17,10 mm admitted to equipment GNSS receiver L1/L2 and 15 mm to GNSS receiver C/A code, in a 95% confidence level. So it was not evidenced interferences in the electromagnetic field at GNSS signal reception.

Key words: topographical polygonal; GNSS receivers; electric lines; corona noise; GNSS signal multipath.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - O segmento espacial, controle e usuário do GPS	21
Figura 2 - Apresentação esquemática do código e fase do GPS.....	22
Figura 3 - Constelação de satélites GLONASS.....	23
Figura 4 - Distância do satélite	25
Figura 5 - Ocorrência de multicaminhamento.....	33
Figura 6 - Campo elétrico produzido pela linha de transmissão.....	37
Figura 7 - Recepção de sinais de rádio frequência dos satélites orbitais	39
Figura 8 - Geometria de elipse	41
Figura 9 - Coordenadas do ponto (P) projetado sobre o elipsóide (P') e referidas ao sistema de coordenadas geodésicas cartesianas ortogonais, vistas em conjunto com as coordenadas elipsoidais geodésicas	42
Figura 10 - Localização da área experimental.....	45
Figura 11 - Localização da rede elétrica, os pontos e os marcos de apoio.....	47
Figura 12 – Uma das torres da linha de transmissão utilizada no experimento.	48
Figura 13 - Receptor Garmin modelo GPS II Plus.....	49
Figura 14 - Receptor Topcon modelo Hiper	50
Figura 15 – Vista do receptor Topcon modelo Hiper em operação sobre um marco de apoio.	50
Figura 16 - Estação total Leica modelo TPS 805	51
Figura 17 - Mini-prisma	52
Figura 18 - Medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000.....	52
Figura 19 - Croqui da poligonal topográfica enquadrada	56
Figura 20 - Croqui de detalhamento dos pontos implantados abaixo da rede elétrica	56
Figura 21 - Croqui da irradiação topográfica dos pontos instalados sob a rede elétrica de alta tensão	57
Figura 22 - Croqui da poligonal topográfica enquadrada representando a elipse dos erros do marco AUX01	66
Figura 23 - Campo magnético mensurado nos pontos localizados abaixo da rede elétrica nos eixos cartesianos X, Y e Z	67
Figura 24 - Campo elétrico mensurado nos pontos localizados abaixo da rede elétrica nos eixos cartesianos X, Y e Z	68
Figura 25 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 1 em diferentes períodos de rastreo	69
Figura 26 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 2 em diferentes períodos de rastreo	70
Figura 27 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 3 em diferentes períodos de rastreo	71
Figura 28 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 4 em diferentes períodos de rastreo	72

Figura 29 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 5 em diferentes períodos de rastreio	73
Figura 30 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 6 em diferentes períodos de rastreio	74
Figura 31 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 7 em diferentes períodos de rastreio	75
Figura 32 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 8 em diferentes períodos de rastreio	76
Figura 33 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 9 em diferentes períodos de rastreio	77
Figura 34 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 10 em diferentes períodos de rastreio	78
Figura 35 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 11 em diferentes períodos de rastreio	79
Figura 36 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas topográficas transformadas, a partir do receptor GNSS código C/A	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação do GPS e GLONASS	24
Tabela 2 - Incertezas nas efemérides	27
Tabela 3 - Comprimento da sessão para levantamento estático convencional.....	29
Tabela 4 - Classificação das influências	29
Tabela 5 - Erros nos posicionamentos observados com GPS com o receptor do Serviço de Posicionamento Padrão Típico (SPS)	34
Tabela 6 - Relatório técnico da poligonal topográfica observada.....	64
Tabela 7 - Relatório técnico do ajuste dos azimutes da poligonal topográfica pelo Modelo Combinado do Método dos Mínimos Quadrados	65
Tabela 8 - Relatório técnico do ajuste das distâncias da poligonal topográfica pelo Modelo Combinado do Método dos Mínimos Quadrados	65
Tabela 9 - Mensuração do campo eletromagnético da rede elétrica de alta tensão .	67
Tabela 10 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 1	69
Tabela 11 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 2	70
Tabela 12 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 3	71
Tabela 13 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 4	72
Tabela 14 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 5	73
Tabela 15 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 6	74
Tabela 16 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 7	75
Tabela 17 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 8	76
Tabela 18 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 9	77

Tabela 19 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 10	78
Tabela 20 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 11	79
Tabela 21 - Apresentação das distâncias horizontais das irradiações e dos erros lineares admitidos conforme a precisão nominal do equipamento topográfico	80
Tabela 22 – Distribuição numérica e percentagem das discrepâncias Δtu sob diferentes sessões de rastreamento classificadas aos níveis de confiança 68,75% e 95%	80
Tabela 23 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto M02	82
Tabela 24 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto M03	82
Tabela 25 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto M04	83
Tabela 26 - Média das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para os 11 pontos	84
Tabela 27 - Desvio-padrão das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para os 11 pontos	84
Tabela 28 – Resultado do Teste t de Student para as coordenadas topográficas t e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para os 11 pontos, ao nível de 90% de probabilidade.....	85
Tabela 29 – Resultado do Teste t de Student para as coordenadas topográficas u e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para os 11 pontos, ao nível de 90% de probabilidade.....	85
Tabela 30 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS código C/A	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3-D	- Tridimensional
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AOC	- Auxiliary Output Chip
AS	- Availability Selective
C/A	- Coarse Acquisition
DD	- Duplas Diferenças
DoD	- Departamento of Defense
EDM	- Electronic Distance Meter
ESA	- European Space Agency
FDMA	- Frequency Division Multiple Access
GDOP	- Geometric Dilution of Precision
GLONASS	- Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GPS	- Global Positioning System
MMQ	- Método dos Mínimos Quadrados
NAVSTAR-GPS	- Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System
NBR	- Norma Brasileira
OCS	- Operational Control Segment
P	- Precise
PDOP	- Positional Dilution of Precision
Ppm	- Parte por milhão
PPS	- Precise Positioning Service
PRN	- Pseudo Random Noise
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RF	- Radiofrequência
RHCP	- Right Hand Circularly Polarised
RMS	- Root Mean Square
RTK	- Real Time Kinematic
SFT	- Superfície Física da Terra
SIRGAS2000	- Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul 2000
SMAR	- Estação Santa Maria
SPS	- Standard Positioning Service
STL	- Sistema Topográfico Local
TEC	- Total Electron Contents
WGS84	- World Geodetic System 1984

LISTA DE SÍMBOLOS

F	- Achatamento do elipsóide
N	- Ambiguidade inteira
ξ	- Ângulo de elevação do satélite
Az	- Azimute
R	- Coeficiente de correlação linear de Pearson
λ	- Comprimento de onda eletromagnética
φ, λ, h	- Coordenadas geodésicas
E	- Coordenada proveniente do levantamento geodésico com receptor GNSS portadora L1/L2
O	- Coordenada proveniente do levantamento topográfico
X, Y, Z	- Coordenadas geodésicas cartesianas
X_0, Y_0, Z_0	- Coordenadas geodésicas cartesianas do ponto de origem
$\varphi_0, \lambda_0, h_0$	- Coordenadas geodésicas do ponto de origem
t, u, v	- Coordenadas topográficas transformadas no Sistema Topográfico Local
Σ	- Desvio-padrão
$\Delta t, \Delta u, \Delta v$	- Diferença entre as coordenadas geodésicas e topográficas
Q	- Distância geométrica
t	- Época da recepção/transmissão do sinal
tu	- Erro absoluto do posicionamento horizontal
L	- Frequência de onda
f	- Frequência do sinal de satélite
C	- Índice de concordância
R	- Medida através do código por pseudodistância
ϕ	- Medida da fase portadora em ciclos
n	- Número de observações
Δ	- Retardamento do sinal pelo efeito troposférico
A	- Semieixo maior do elipsoide
B	- Semieixo menor do elipsoide
δ	- Tempo do relógio
v	- Velocidade da luz

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Caracterização do problema.....	17
1.2. Justificativa.....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.4. Estrutura da dissertação.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. Generalidades sobre o GNSS.....	20
2.1.1. Definição do sistema.....	20
2.1.2. Princípio do posicionamento por satélites.....	24
2.1.3. Efemérides.....	27
2.1.4. Tipos de posicionamento.....	27
2.1.4.1. Posicionamento absoluto.....	28
2.1.4.2. Posicionamento relativo.....	28
2.1.5. Principais erros do posicionamento.....	29
2.1.5.1. Erro relacionado ao satélite.....	30
2.1.5.2. Erros relacionados com a propagação do sinal.....	30
2.1.5.3. Erros relacionados ao receptor.....	31
2.1.6. Classificação dos receptores.....	34
2.2. Funcionamento das antenas dos receptores GNSS.....	35
2.3. Campo eletromagnético de redes elétricas.....	36
2.4. Influência do campo eletromagnético sob antenas de receptores GNSS.....	38
2.5. Transformação de coordenadas por métodos geodésicos e topográficos.....	40
2.5.1. Representações da Terra.....	40
2.5.1.1. Superfície Física da Terra.....	40
2.5.1.2. Elipsóide de Revolução.....	40
2.5.1.3. Sistema Topográfico Local.....	41
2.5.2. Sistema Geodésico de Coordenadas Cartesiano Tridimensional.....	42
2.5.3. Sistema de Coordenadas Terrestre Local.....	42
2.5.4. Transformação entre os Sistemas Geodésico e Topográfico Local.....	43
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1. Material.....	45
3.1.1. Localização da área experimental.....	45
3.1.1.1. Caracterização do local.....	45
3.1.1.2. Caracterização do procedimento experimental.....	46
3.1.1.3. Caracterização da rede elétrica de alta tensão.....	47
3.1.2. Equipamentos utilizados nos levantamentos geodésicos e topográficos.....	48
3.1.2.1. Levantamento geodésico.....	48
3.1.2.2. Levantamento topográfico.....	51
3.1.2.3. Equipamento utilizado na mensuração do campo eletromagnético.....	52
3.1.3. Programas computacionais utilizados para o tratamento dos dados.....	53
3.2. Métodos.....	53

3.2.1. Levantamento do campo eletromagnético dos pontos.....	53
3.2.2. Levantamento topográfico dos pontos	54
3.2.3. Levantamento geodésico dos pontos.....	57
3.2.4. Transformação dos sistemas	59
3.2.5. Avaliação e análise estatística do erro de posicionamento planimétrico.....	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
4.1. Ajustamento e cálculo das coordenadas topográficas e geodésicas da poligonal.....	64
4.2. Quantificação do campo eletromagnético gerado pela rede elétrica.....	66
4.3. Cálculo dos erros de posicionamento nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS portadora L1/L2.....	68
4.4. Tratamento estatístico dos resultados nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS portadora L1/L2.....	83
4.5. Cálculo dos erros de posicionamento nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS código C/A.....	86
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, estão disponíveis no mercado, diversas tecnologias para o posicionamento de pontos na superfície terrestre que se utilizam dos sistemas de navegação por satélites. Essas tecnologias estão associadas, tanto no que se refere à evolução de programas computacionais de processamento, quanto no desenvolvimento de equipamentos geodésicos.

O princípio básico para se obter o posicionamento pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é a medida das distâncias entre o receptor e, no mínimo, quatro satélites, através do emprego das ondas eletromagnéticas transmitidas, sendo esta informação obtida essencialmente pelo intervalo de tempo da propagação do sinal. Conhecendo as coordenadas dos satélites, em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência (Monico, 2008, p. 32).

Durante o percurso da onda eletromagnética entre o satélite e o receptor podem ocorrer interferências no sinal ocasionando consequentemente erros de posicionamento. As fontes de erros poderão ser originadas pelo satélite, na propagação do sinal e no receptor. Dentre estas fontes de erro está o multicaminhamento na propagação do sinal entre o satélite e o receptor que ocorre próximo a linhas elétricas de alta tensão. Não há trabalhos conclusos sobre este fenômeno, sendo uma dúvida sobre a existência desta fonte de erro.

No Earth Observation Magazine (1995), a Nov Atel Communications Limited afirmou que “As linhas de energia afetam primariamente a sessão de RF (*Radiofrequência*) de cada receptor GPS e como cada fabricante tem diferentes métodos de proteção para tentar minimizar as interferências externas, cada receptor irá reagir diferentemente no ambiente”.

Essa preocupação é oficialmente relatada no item 4.3.3. - Erros devido à escolha do ponto, do manual sobre procedimentos para mensurações, elaborado pelo Department of Transportation of State New Jersey (2012). Nele é possível ler:

Interferência - Interferências de sinais eletromagnéticos podem causar valores baixos de C/N_0 (Carrier-to-noise ratio) e observações menos confiáveis. Devem ser evitadas as áreas com tráfego muito alto de comunicações sem fio

(wireless) ou áreas próximas às linhas de alta tensão. Sessões de observação maiores podem superar alguns dos efeitos da interferência.

Para Wan & Ibrahim (2010, p. 3) a radiação eletromagnética emitida pelas linhas de transmissão de alta tensão seria uma causa provável de alguma inconsistência com o método de posicionamento por GPS. O ruído elétrico poderia causar erros tanto na medição do tempo do sinal quanto na fase.

Alsaman (2001, p. 60) analisou se a alta tensão das linhas de energia de 380 kV causariam distúrbios aos dados GNSS observados e, conseqüentemente nos resultados do posicionamento, concluiu que não haveria risco de interferência do sinal para sessões de rastreamento estática rápidas.

1.1. Caracterização do problema

Sousa (2005, p. 53) relata que, no instante da transmissão e recepção dos sinais dos satélites GNSS podem ocorrer interferências, não intencionais, no percurso o que vem a gerar erros sistêmicos. Entre essas, distinguem-se as interferências de TV via satélite, estações de rádio FM, radioamadores, redes *wireless*, entre outras.

Dentre essas fontes passíveis de causarem erros no posicionamento de pontos, uma, em especial e, talvez a menos estudada, tem sido motivo de preocupação por parte dos profissionais da área. Trata-se da possível interferência do efeito corona, causado pelas linhas de transmissão de energia e que, por gerarem um amplo espectro de frequência poderia afetar a recepção dos sinais de satélites. Ou seja: qual a qualidade e a confiabilidade do posicionamento dos pontos rastreados próximos ou sob linhas de alta tensão?

1.2. Justificativa

Os levantamentos geodésicos são fontes básicas de dados para o desenvolvimento de projetos de engenharia e planejamento. Os levantamentos cadastrais, inevitavelmente, são realizados também, nas proximidades ou sob redes elétricas sujeitas à diferentes tensões.

Nesse contexto e como esses levantamentos darão suporte para a elaboração, implantação e execução de obras de engenharia ou de planejamento, os dados levantados não deverão apresentar erros sistemáticos oriundos de influências externas.

Diante do exposto, é necessária a averiguação e quantificação da possibilidade da interferência, gerada pelo campo eletromagnético, de redes elétricas na recepção dos sinais de satélites GNSS pelos equipamentos geodésicos utilizados.

1.3. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal mensurar, avaliar e discutir a possibilidade da interferência do efeito corona, gerado pelo campo eletromagnético das redes elétricas de alta tensão, na recepção de sinais por receptores GNSS, nas seguintes condições: i) empregando um receptor de código C/A (*Coarse Acquisition*), no modo absoluto estático; ii) utilizando um receptor das portadoras L1/L2, no modo relativo estático e pós-processado.

Como objetivo secundário, quantificar o possível erro de posicionamento planimétrico gerado pela interferência do efeito corona no receptor GNSS L1/L2 sob diferentes sessões de rastreamento.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em seis capítulos, descritos a seguir:

Capítulo 1: Introdução

O primeiro capítulo, conforme aqui explanado, contextualiza o tema desenvolvido no trabalho, justifica a sua escolha e estabelece os objetivos a serem alcançados. Apresenta-se, também, a divisão estrutural do trabalho.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica

O segundo capítulo proporciona uma revisão dos conceitos e definições sobre GNSS, descrição e comportamento do campo eletromagnético em redes elétricas de alta tensão, transformação de coordenadas geodésicas para o sistema topográfico local.

Capítulo 3: Material e métodos

No terceiro capítulo descreve-se a área de estudo, os trabalhos de campo realizados, a instrumentação e os aparelhos empregados e a metodologia aplicada.

Capítulo 4: Resultados e discussões

Nesse capítulo os resultados obtidos são apresentados, analisados e discutidos.

Capítulo 5: Conclusões e recomendações

O quinto capítulo apresenta as conclusões da dissertação e indicativos de algumas recomendações e sugestões a serem aproveitadas.

Capítulo 6: Referências bibliográficas

Neste capítulo são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades sobre o GNSS

2.1.1. Definição do sistema

O GPS (*Global Position System*) ou NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite with Time and Ranging*) é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – DoD (*Departamento of Defense*) com o intuito de ser o principal sistema de navegação das forças americanas (Monico, 2008, p. 31). Huerta et al (2005, p. 1-2) cita que a implementação do programa NAVSTAR GPS foi efetivamente iniciada em dezembro de 1973. Em 22 de fevereiro de 1978 foi lançado o primeiro satélite de uma série de quatro.

O GPS é utilizado para posicionamento de pontos em um sistema tridimensional (3-D) baseado nas observações de sinais de rádio do NAVSTAR GPS. As observações GPS são processadas para determinar as posições das estações em um Sistema Cartesiano de Coordenadas (X, Y, Z) fixado no centro da Terra [Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) Cartesian Coordinates], que está referido ao elipsóide de referência World Geodetic System 1984 (WGS-84). Essas coordenadas podem ser convertidas em coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal) (Department of Transportation of State New Jersey, 2012).

O sistema GPS é estruturado em três segmentos: espacial, controle e usuário, conforme mostrado na figura 1.

O segmento espacial consiste de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20.200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao Equador e o período orbital é de aproximadamente de 12 horas siderais. Essa configuração garante que, no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre a qualquer hora (Monico, 2008, p. 40).

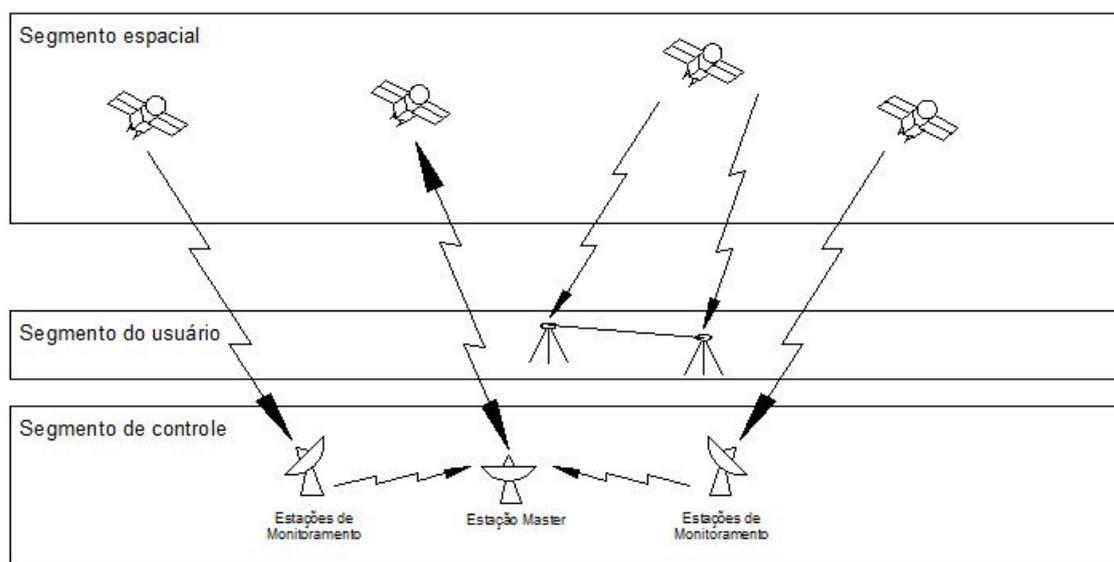


Figura 1 - O segmento espacial, controle e usuário do GPS

Fonte: Leick, 1995, p. 59

Nota: Modificado e traduzido pelo autor

Seeber (2003 p. 216 e 221) descreve que cada satélite transmite sinais nas frequências L1 e L2. Esses sinais são o de navegação (códigos) e o do sistema de dados de navegação (mensagem). Os códigos são modulados na frequência e transportam também o chamado PRN (*Pseudo Random Noise*). Em função de que o código PRN e a mensagem serem dados binários apenas dois modos de modulação de fase são possíveis. O modo +1 ou -1 deixa a portadora inalterada e uma transição do código de + 1 para -1 ou de -1 para +1 envolve uma mudança de fase de 180° , conforme ilustrado na figura 2.

O sinal L1 contém tanto o código de precisão P (*Precise or Protected*) como o código C/A. O sinal L2 contém apenas o código P. Monico (2008, p. 43) descreve que as duas ondas portadoras L1 e L2 são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Dessa forma as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1 e L2 são:

$$L1 = 1.575,42 \text{ MHz e } \lambda \cong 19 \text{ cm}$$

$$L2 = 1.227,60 \text{ MHz e } \lambda \cong 24 \text{ cm}$$

O código C/A com comprimento de onda no entorno de 300 m, é transmitido a uma razão de 1,023 MHz. O código P é transmitido com frequência de 10,23 MHz, resultando em um comprimento de onda de 30 m.

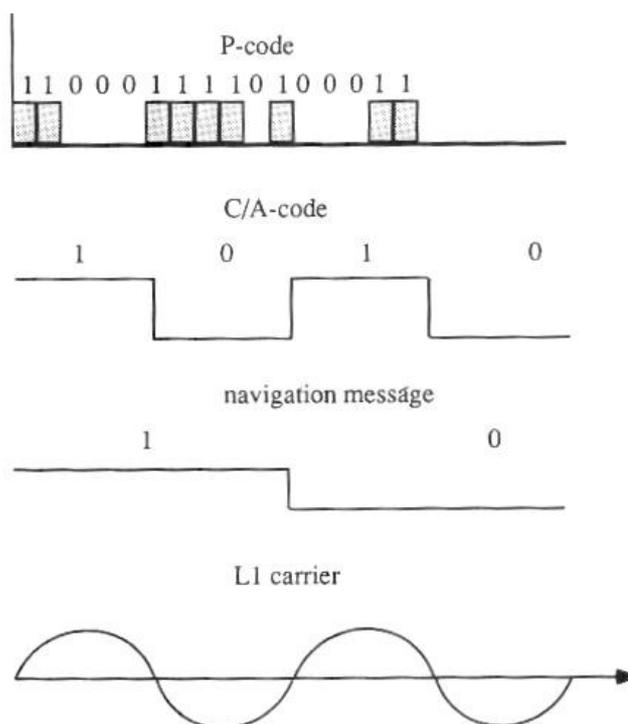


Figura 2 - Apresentação esquemática do código e fase do GPS
 Fonte: Leick, 1995, p. 66

Huerta et al. (2005, p.1-8 e 1-9) descrevem as funções do segmento de controle que é denominado internacionalmente pela sigla OCS (*Operational Control Segment*):

- Monitoramento e controle permanente dos satélites com o objetivo de determinar e prever as órbitas e os relógios a bordo;
- Sincronização dos relógios dos satélites com o tempo GPS;
- Transmissão, a cada satélite, da informação processada.

Huerta et al. (2005, p. 1-9) comentam ainda, que o segmento de controle é integrado por uma estação de controle master, várias estações de monitoramento e antenas terrestres. As estações de monitoramento têm coordenadas conhecidas com grande precisão e estão equipadas com receptores GPS de dupla frequência L1/L2 e um relógio de Césio. Sua função é determinar as distâncias de todos os satélites visíveis e transmiti-las a Estação de Controle Master junto com os dados meteorológicos de cada estação.

O segmento do usuário compreende o conjunto de usuários civis e militares do sistema GPS. Trata-se, fundamentalmente, dos receptores que possuem a

capacidade de registrar as medidas de pseudodistâncias – código e de fase, com base nas duas frequências L1 e L2, transmitidas pelos satélites (Rocha, 2000).

O GPS não é o único sistema de navegação baseado em satélites. A Federação Russa opera com o sistema GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema*) e a União Européia, juntamente com a ESA (*European Space Agency*) estão projetando o Galileo (Seeber, 2003 p. 383).

Conforme Monico (2008, p. 80 e 81) a antiga União Soviética está desenvolvendo, desde 1970, o GLONASS, bastante similar ao GPS. O segmento espacial consiste de uma constelação de 24 satélites e três de reserva. Eles são distribuídos em três planos orbitais separados de 120° e inclinação de $64,8^\circ$, cada um com 8 satélites igualmente espaçados., conforme apresentado na figura 3. A altitude dos satélites é da ordem de 19.100 km e período orbital de 11h e 15min.

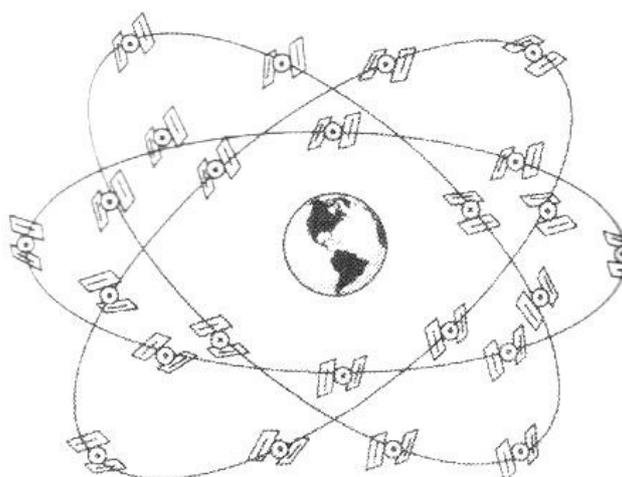


Figura 3 - Constelação de satélites GLONASS
Fonte: Monico, 2008, p. 82

Leick (1995, p. 534) relata que a maior diferença entre o GPS e o GLONASS é o uso do FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) tecnologia discriminada nos sinais recebidos pela antena. Segundo Monico (2008, p. 80) os códigos PRN, de forma similar ao GPS, são dois: o código C/A e o código P. O código C/A, disponível para os usuários civis e, o código P, para os usuários autorizados, são modulados na portadora L1. A portadora L2 é modulada apenas no código P. A frequência do código C/A é de 0,511 MHz e a do código P, de 5,11 MHz, aproximadamente a metade da registrada no GPS.

Tabela 1 - Comparação do GPS e GLONASS

	GPS	GLONASS
	Satélites	Satélites
Número de satélites	24	24
Número de planos de órbita	6	3
Satélite por plano de órbita	4 (irregular)	8 (regular)
Inclinação de órbita	55°	64,8°
Excentricidade nominal	0	0
Raio de órbita	26.560km	25.510km
Período orbital	≈ 11h 58min	≈ 11h 15min
	Sinal	Sinal
Separação técnica de sinal	CDMA	FDMA
Fase	L1: 1575,42 MHz L2: 1227,60 MHz	L1: 1602,5625 – 1615,5 MHz L2: 1246,4375 – 1256,5 MHz
Código C/A (L1)	1,023 MHz	0,511 MHz
Código P (L1, L2)	10,23 MHz	5,11 MHz

Fonte: Leick, 1995, p. 535

2.1.2. Princípio do posicionamento por satélites

No GPS a posição do satélite é conhecida pelas efemérides transmitidas do satélite. Assim, pode-se mensurar a distância do receptor em relação ao satélite, conseqüentemente, a posição pode ser calculada (Tsui, 2005, p. 9). Seeber (2003 p. 211) descreve, mais especificamente, que o fundamento principal da navegação está baseado na mensuração da chamada pseudodistância entre o usuário e cada um dos quatro satélites. Conhecidas as coordenadas dos satélites, no sistema de referência, as coordenadas da antena do usuário podem ser determinadas (figura 4).

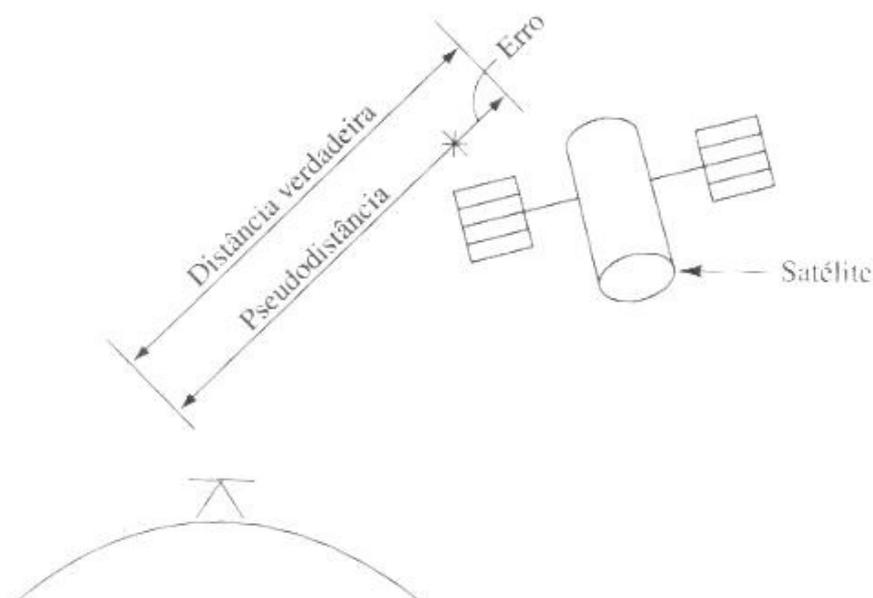


Figura 4 - Distância do satélite
 Fonte: McCormac, 2004, p. 240

Conforme Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 181), o cálculo do posicionamento do ponto por código por meio das pseudodistâncias, na época t , pode ser modelada conforme a equação:

$$R_i^j(t) = Q_i^j(t) + v\Delta\delta_i^j(t) \quad (2.1)$$

onde:

$R_i^j(t)$: medida por meio do código por pseudodistâncias através da observação do item i e o satélite j ;

$Q_i^j(t)$: distância geométrica entre o satélite e o ponto observado;

v : velocidade da luz;

$\Delta\delta_i^j(t)$: diferença do relógio do receptor e o relógio do satélite no respectivo tempo GPS.

As coordenadas do ponto podem ser determinadas implicitamente pela distância $Q_i^j(t)$, sendo explicita por:

$$Q_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2} \quad (2.2)$$

Onde:

$X^j(t)$, $Y^j(t)$ e $Z^j(t)$: componentes da posição geocêntrica com vetor á época do satélite t ;

X_i, Y_i, Z_i : coordenadas desconhecidas da observação.

Monico (2008, p.44) descreve o código C/A da seguinte maneira:

Com comprimento de onda por volta de 300m, é transmitido em uma razão de 1,023MHz. Ele é gerado com base no produto de duas sequências PR (*pseudorandom* – pseudo-aleatórias), denominadas G1 e G2, cada um com período de 1.023bits. O código C/A resultante também consiste de 1.023 bits, com período de 1 ms (milissegundo). Cada satélite transmite um código C/A diferente. Ele é modulado apenas sobre a onda portadora L1.

No cálculo do posicionamento do ponto por fase, as pseudodistâncias são obtidas pela medida da fase portadora. O modelo matemático dessa mensuração é assim descrita por Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 183):

$$\phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \partial_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta \delta_i^j(t) \quad (2.3)$$

Onde:

$\phi_i^j(t)$: medida da fase portadora expressa em ciclos;

λ : comprimento da onda;

$\partial_i^j(t)$: distância geométrica entre o satélite e o ponto observado;

N_i^j : ambiguidade inteira ou ambiguidade;

f^j : frequência do sinal de satélite;

$\Delta \delta_i^j(t)$: diferença do relógio do receptor e do satélite no respectivo tempo

GPS.

Tsui (2005, p. 71) descreve o código P da seguinte maneira:

Possui modulação bifásica de 10,23 MHz, portanto, a maior parte do espectro é 20,46 MHz. O comprimento do fragmento é aproximadamente 97,8 ns (1/10,23 MHz). O código é gerado a partir de dois códigos de ruído pseudorandômico (PRN) com o mesmo valor do segmento. Uma sequência PRN possui 15.345.000 bits com um período de 1,5 segundos, e outro tem 15.345.037 bits, uma diferença de 37 bits. Os dois números, 15.345.000 e 15.345.037, são primos relativos, o que significa que não há fatores comuns entre eles. Portanto, o comprimento do código gerado por esses dois códigos é 23.017.555,5 (1,5 x 15.345.037) segundos, o que é levemente mais longo que 38 semanas. Entretanto, o comprimento atual do código P é uma semana, assim o código é eliminado a cada semana. Esse código de 38 semanas pode ser dividido em 37 diferentes códigos P e cada satélite pode usar uma parte diferente do código.

Conforme Seeber (1993, p. 209) são necessárias três destas observações para se obter coordenadas tridimensionais, mas uma quarta observação é

adicionada para resolver o erro de não sincronismo entre os relógios do receptor e do satélite.

2.1.3. Efemérides

Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 65) descrevem que três conjuntos de dados estão disponíveis para determinar a posição e a velocidade dos vetores dos satélites em um plano de referência terrestre em algum instante: almanaque de dados, efeméride transmitida e efeméride precisa. Os dados diferem em acurácia e são ainda avaliáveis em tempo real ou pós-processado.

Essas efemérides transmitidas são geradas em dois passos. Primeiro, uma efeméride de referência, baseada em sete dias de observações das cinco estações de monitoramento, é gerada usando um pacote de software altamente sofisticado para determinação da órbita. No segundo passo as discrepâncias entre as observações correntes nas estações de monitoramento e as efemérides de referência são derivadas e processadas em um filtro de algoritmo linear Kalman para prever correções para as efemérides de referência (Seeber, 2003, p. 222).

Tabela 2 - Incertezas nas efemérides

Efemérides	Incerteza	Observações
Almanaque	Alguns quilômetros	Dependendo da época dos dados
Transmissão	1m	Exatamente melhor
Precisas	0,05 – 0,20m	Dependendo do atraso

Fonte: Hofmann-Wellenhof et al., 2001, p. 183

2.1.4. Tipos de posicionamento

2.1.4.1. Posicionamento absoluto

Neste tipo de posicionamento as observações são feitas usando um receptor estacionário. Sucessivas observações em um ponto podem ser realizadas para diferentes satélites em tempos diferentes (Smith, 1997, p. 163).

Segundo Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 136), quando se utiliza somente um receptor, apenas o posicionando do ponto pela pseudodistância por código faz sentido. Para posicionamento por ponto, o GPS oferece dois níveis de serviço: (1) o SPS (*Standard Positioning Service*) com acesso por usuários civis, e (2) o PPS (*Precise Positioning Service*) com acesso por usuários autorizados. Para o SPS apenas o código C/A é válido. Com SA (*Selective Availability*) desligado, a exatidão em tempo real alcançada está em torno de 10 m ao nível de probabilidade de 95%. O PPS acessa a ambos os códigos e podem ser obtidas acurácias submétricas.

2.1.4.2. Posicionamento relativo

Conforme Huerta et al. (2005, p. IV-5) a técnica do posicionamento relativo elimina as influências de erros como a propagação do sinal, do satélite e do receptor no cálculo das coordenadas da segunda estação (remota) a partir das coordenadas da primeira estação (base), na qual se conhecem suas coordenadas. Deste modo, para cada posição calculada em relação à estação base, haverá um vetor de erros e logo se aplica a correção no cálculo das coordenadas para a estação remota, tendo assim o posicionamento corrigido.

Para o cálculo do posicionamento relativo são apresentados alguns valores padrão para o comprimento-sessão de observações estáticas, listados na tabela 3. Esses valores são baseados na visibilidade de quatro satélites, boa geometria espacial e condições atmosféricas normais. Note que, um satélite adicional pode reduzir o comprimento da sessão em 20% (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, p. 143). Monico (2008, p. 218) ressalta que para os usuários de receptores de monofrequência (L1) poderem corrigir os efeitos de primeira ordem da refração

ionosférica deverão realizar apenas posicionamento relativo envolvendo linhas-base curtas (menores que 20 Km).

Tabela 3 - Comprimento da sessão para levantamento estático convencional

Receptor	Estático convencional
L1	30min + 3min/km
L1+L2	20min + 2min/km

Fonte: Hofmann-Wellenhof et al., 2001, p. 143

Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 152) comenta ainda que, uma boa ocasião para começar a primeira sessão do levantamento estático é quando quatro ou mais satélites estão com ângulo de elevação acima de 15 a 20 graus e, a última observação desta sessão deve, geralmente, ser executada quando o quarto satélite inclinar-se abaixo de 15 a 20 graus.

2.1.5. Principais erros do posicionamento

As observações GPS, tal como outras variáveis envolvidas nos processos de medidas, estão sujeitas a enganos, erros aleatórios, sistemáticos (Monico, 2008, p.189). A origem do erro pode ser classificada em três grupos, nomeados como: erros relacionados ao satélite, erros relacionados ao meio de propagação do sinal e erros relacionados ao receptor, conforme apresentado na tabela 4 (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, p. 91).

Tabela 4 - Classificação das influências

Fonte	Efeito
Satélite	Erro dos relógios Erro orbital
Propagação do sinal	Refração ionosférica Refração troposférica
Receptor	Variação do centro de fase da antena Erro do relógio Multicaminhamento

Fonte: Hofmann-Wellenhof et al., 2001, p. 91

2.1.5.1. Erro relacionado ao satélite

a) Erro dos relógios

Os relógios dos satélites são na realidade osciladores atômicos. Pela alta frequência e a grande estabilidade dos mesmos, permitem efetuar medições em tempo com estabilidade de 10^{-17} (Huerta et al, 2005, p. I-7). Apesar dos mesmos serem altamente estáveis, eles não acompanha o sistema de tempo GPS e chegam a apresentar diferenças de até um milissegundo, mas seus desempenhos são cuidadosamente monitorados pelo segmento de controle e as suas variações são conhecidas. Essas variações são incluídas na mensagem de navegação na forma de coeficientes (a_0 , a_1 e a_2) de um polinômio de segunda ordem (Wells, 1986), de maneira que seja possível efetuar a correção do tempo. Como a AS foi desativada o polinômio acima referido modela adequadamente os erros dos relógios dos satélites.

b) Erro orbital

Conforme Gemael et al. (2004) as efemérides transmitidas dos satélites GPS são preditas para garantir o uso imediato, por isso possuem erros superiores aos das efemérides precisas. A produção de efemérides pósprocessadas, denominadas efemérides precisas, visa atender usuários que necessitam de posicionamento com melhor precisão relativa (ordem de 5 partes por bilhão) do que aquela proporcionada pelas efemérides transmitidas (Monico, 2008, p. 193).

2.1.5.2. Erros relacionados com a propagação do sinal

a) Refração ionosférica

Conforme Tsui (2005, p. 97) a ionosfera causará um retardamento do código, mas um avanço no transporte da fase. O efeito da refração é proporcional ao TEC (*Total Electron Contents* – Conteúdo Total de Elétrons), ou seja, ao número de elétrons presentes ao longo do caminho percorrido pelo sinal entre o satélite e o receptor (Monico, 2008, p. 208). Além disso o TEC varia no tempo e no espaço, em razão das variações da radiação solar, da localização e do campo geomagnético,

entre outras anomalias e irregularidades, como a anomalia equatorial e a cintilação ionosférica (Leick, 1995).

A dependência da refração ionosférica com relação à frequência do sinal torna possível eliminar os efeitos de primeira ordem quando se dispõe de dados de dois sinais com frequências diferentes. Dessa forma, usuários que dispõem de receptores GNSS de dupla frequência têm capacidade de eliminar os efeitos de primeira advindos da ionosfera (Monico, 2008, p. 218). Hofmann-Wellenhof et al., (2001, p. 22) afirmam que, normalmente, a fase L2 é usada em combinação com a mensuração da L1 para redução do efeito ionosférico nos sinais.

b) Refração troposférica

Comparado com o efeito ionosférico, o efeito troposférico é de uma menor magnitude. Os satélites não transmitem nenhuma informação para a correção do efeito troposférico. Existem vários modelos para corrigir o erro como Hopfield, Saastamoinen, Hopfield modificado e Niell. Um modelo simplificado para o cálculo do retardamento é dado por (Tsui, 2005, p. 99):

$$\Delta = \frac{2,47}{\text{sen}\xi + 0,0121} \quad (2.4)$$

Onde:

Δ : retardamento do sinal (m);

ξ : ângulo de elevação entre o usuário e o satélite.

2.1.5.3. Erros relacionados ao receptor

a) Variação do centro de fase da antena

O centro de fase das antenas é o ponto em que é feita a mensuração do sinal de rádio transmitido e, geralmente, não é idêntico ao centro geométrico da antena. A compensação depende da elevação, do azimute, e da intensidade do sinal do satélite, e, é diferente para L1 e L1/L2. Dois efeitos devem ser distinguidos: a compensação e a variação do centro da fase da antena. A precisão de uma antena deve ser baseada na variação do centro de fase da antena e não na compensação (Hofmann-Wellenhof et al., 2001, p. 125). Monico (2008, p. 231) observa que o uso de antenas de mesmo fabricante e de modelos iguais devem reduzir o problema nas

aplicações mais comuns do GNSS, pois as discrepâncias devem ser praticamente iguais. Basta que todas as antenas sejam orientadas em uma mesma direção – por exemplo, a direção do norte magnético.

b) Erro do relógio

Monico (2008, p. 229) comenta que os receptores GNSS em geral são equipados com osciladores de quartzo. Logo, cada receptor possui sua própria escala de tempo, definida pelo oscilador interno, a qual difere da escala de tempo do sistema em questão (GPS, GLONASS ou Galileo). No posicionamento relativo, os erros dos relógios são praticamente eliminados, não exigindo, para a maioria das aplicações, padrões de tempo altamente estáveis.

c) Multicaminhamento

O multicaminhamento pode ser associado a duas fontes, podendo ser classificado como erro relacionado à propagação de sinal e erro relacionado a estação que consiste em algumas distorções, na realidade, efeitos geodinâmicos que devem ser corrigidos. (Monico, 2008, p. 190). Neste trabalho será classificado como erro relacionado ao receptor, conforme Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 91).

O receptor pode, em algumas circunstâncias, receber, além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas à ela. Dessa forma, os sinais recebidos no receptor podem apresentar distorções na fase da onda portadora e nas modulações sobre ela, sendo ilustrado na figura 5 (Monico, 2008, p. 221 e 222). Leick (1995, p. 312) cita que o sinal refletido é sempre mais fraco em virtude da atenuação do refletor. Essa atenuação depende do material do refletor, do ângulo incidente da reflexão e da polarização. Em geral as reflexões com ângulo de incidência muito baixo, praticamente, não sofrem nenhuma atenuação. Isso explica por que os satélites em baixo ângulo de elevação tendem a gerar forte interferência no multicaminho. Os objetos terrestres que podem refletir nos receptores são: a própria superfície terrestre (solo ou água), prédios, árvores, colinas, etc.

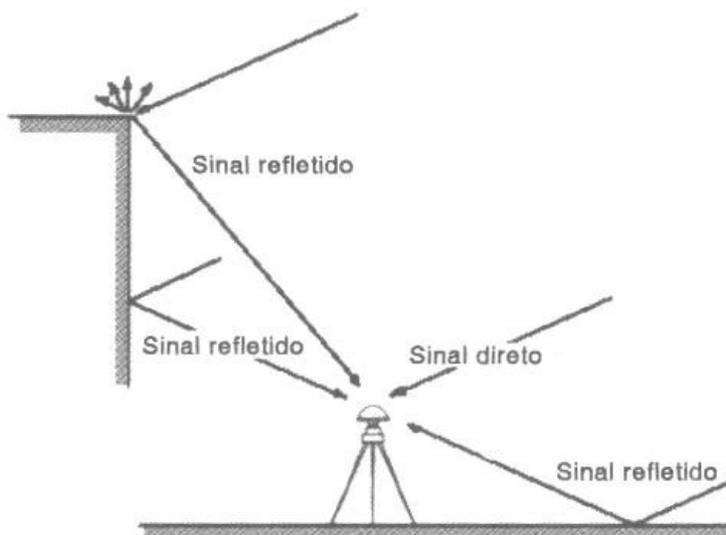


Figura 5 - Ocorrência de multicaminhamento
Fonte: Monico, 2008, p. 223

Para o caso específico das redes elétricas de alta tensão, Hydro (2010, p. 3) comenta que as torres podem resultar em alguma reflexão e em bloqueio dos sinais de rádio frequência e, seu impacto é geralmente momentâneo e insignificante. Condutores das linhas de transmissão são também muito finos para bloquear ou causar grandes reflexões dos sinais rádio frequência.

Monico (2008, p. 223) relata que a redução do sinal refletido é possível pela seleção de antenas construídas com base na polarização do sinal GPS, o qual é polarizado circularmente à direita. O sinal refletido uma única vez, dependendo do ângulo de incidência, será polarizado a esquerda, assim todos os sinais polarizados a esquerda seriam rejeitados pela antena.

A tabela 5 demonstra a magnitude dos erros de posicionamento relatada nas observações com GPS com o receptor do Serviço de Posicionamento Padrão Típico (SPS).

Tabela 5 - Erros nos posicionamentos observados com GPS com o receptor do Serviço de Posicionamento Padrão Típico (SPS)

Fonte de erro	Magnitude da variação do erro típico (1 σ - metros)
Ionosfera *	7,00
Troposfera **	0,70
Relógio do satélite e efemérides	3,60
Ruído do receptor	1,50

* Após aplicação do modelo ionosférico. Atualmente os valores podem variar aproximadamente entre 1 – 30 m.

** Após aplicação do modelo troposférico.

Fonte: Tsui, 2005, p. 100

2.1.6. Classificação dos receptores

Os receptores GNSS podem ser classificados por diferentes critérios, quais sejam: aplicação da comunidade usuária, aplicação técnica ou, quanto ao tipo de dado proporcionado pelo receptor, sendo essa última a mais recomendada (Monico, 2008, p. 60). Conforme Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 21) baseado no tipo da observável (pseudodistância por código ou por fase da portadora) e na disponibilidade do código (código C/A, código P, ou código Y), pode-se classificar os receptores GPS em quatro grupos:

- i. Código C/A de pseudodistância: estes são tipos de receptores, usados somente para medição de pseudodistâncias pelo código C/A. Os receptores são geralmente portáteis e alimentados por pilhas comuns. Smith (1997, p. 163) comenta que o código C/A é a base do SPS para aquisição do sinal inicial e determinação do curso de posição, que pode dar uma acurácia de 20 – 30m;
- ii. Código C/A de fase portadora: com este tipo de receptor, somente pseudodistâncias e a fase portadora L1 podem ser obtidos porque o código não é modulado na L2. Portanto não fornece dados em duas frequências;
- iii. Código P de fase portadora: este tipo de receptor utiliza o código P e proporciona o rastreamento das portadoras L1 e L2. Com a ausência do SA, as observáveis são derivadas pela correlação dos sinais transmitidos pelos

satélites, com as réplicas dos códigos P gerados no receptor. Para isso, a estrutura do sinal deve ser conhecida.

- iv. Código Y de fase portadora: receptores desse tipo permitiam o acesso ao código P com a SA ativada. Logo, os códigos de distância e fases podem ser determinados a partir de portadoras L1 e L2, pela técnica de correlação do código P. O acesso ao código P é possível com a instalação de um AOC (*Auxiliary Output Chip*) em cada canal do receptor. Esse “chip” proporciona a decodificação do código Y em P e a degradação corrente da AS.

2.2. Funcionamento das antenas dos receptores GNSS

Segundo (Monico, 2008, p. 55), a antena detecta as ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites, converte a energia da onda em corrente elétrica, amplifica o sinal e envia para a parte eletrônica do receptor. Em razão da estrutura dos sinais GPS, todas as antenas devem ser RHCP (*Right Hand Circularly Polarised*). Para levantamentos geodésicos, a antena deve garantir alta estabilidade do seu centro de fase em relação ao seu centro geométrico, e proteção contra multicaminhamento.

Um receptor pode ter um ou mais canais. No conceito de canal paralelo cada canal continuamente acompanha um satélite em particular. Um mínimo de quatro canais paralelos é requerido para determinar três coordenadas e o tempo. Com mais canais satélites adicionais podem ser acompanhados. Receptores modernos podem conter acima de doze canais para cada frequência e canais adicionais para processamento de multissistemas (Seeber, 2003, p. 236)

A antena GPS deve cobrir um amplo ângulo espacial para receber o máximo número de sinais. É comum o receptor captar sinais de todos os satélites acima de 5 graus do horizonte. A combinação de ângulos de elevação baixos e altos dos satélites pode produzir um baixo valor de GDOP (*Geometric Dilution of Precision*) (Tsui, 2005, p. 106).

2.3. Campo eletromagnético de redes elétricas

Silva & Olsen (2002, p. 939) descreve sobre o mecanismo do efeito corona ao longo das linhas de transmissão:

A interferência eletromagnética dos condutores das linhas de força é importante apenas em linhas de transmissão para qual a superfície condutora do campo elétrico de 50-60 Hz são grandes suficientes para causar o efeito corona (ionização local do ar). O corona causado por este grande campo elétrico na superfície condutora induz correntes impulsivas na linha de transmissão. Este efeito é apenas um problema quando seguido de três condições satisfeitas: i) A tensão da linha de transmissão é acima de 230kV; ii) A frequência de interesse é abaixo de 30MHz; iii) A distância entre a linha de transmissão e o receptor é pequena (menos que 100 pés).

Elgerd (1975, p. 156) confirma ainda que, o efeito corona pode ser causado por um colapso ou ionização da atmosfera quando certo campo elétrico de intensidade aproximadamente 3000 kV/m é alcançado. Esse efeito é associado com perda de energia, causando interferência na comunicação e não é tolerada. Para tensões em torno de 230 kV, não é possível usar um condutor de descarga simples.

Conforme exposto por Veldhuizen et al. (2000 apud Huertas, 2010, p. 90) três condições devem ser encontradas para iniciar uma descarga corona: i) deve haver elétrons livres na área de interesse, ii) a intensidade do campo elétrico deve ser alta, e iii) o nível da desuniformidade do campo elétrico deve ser alto. A primeira condição é preenchida automaticamente porque aproximadamente oito elétrons por centímetro cúbico de ar por segundo são continuamente produzidos pela própria radioatividade da Terra. Para Indulkar et al. (2004 apud Huertas, 2010, p. 90) a segunda condição tem sido determinada experimentalmente e por simulações de computador, que as descargas corona são originadas na superfície dos condutores elétricos de alta tensão quando a tensão gradiente na superfície alcança um valor crítico. A magnitude depende da polaridade da tensão aplicada, tanto quanto a pressão atmosférica, temperatura e níveis de umidade. A última condição, que está relacionada ao nível de desuniformidade do campo elétrico é também obtida a partir de equações empíricas para formas particulares de eletrodos (Huertas, 2010, p. 90).

Para Wan & Ibrahim (2010, p. 3) a radiação eletromagnética emitida pelas linhas de transmissão de alta tensão seria a causa mais provável de alguma inconsistência com o método de posicionamento por GPS. Essa interferência

poderia chegar ao receptor GPS através de alguns elementos do receptor ativo como uma antena. Os efeitos que o ruído elétrico exerce no sistema GPS serão dependentes do circuito usado. O ruído elétrico poderia causar erros tanto em cada um, como em ambos, medição do tempo do sinal e a fase do sinal. O ruído elétrico se manifestará na forma de um campo elétrico e de um campo magnético em volta dos fios de alta tensão.

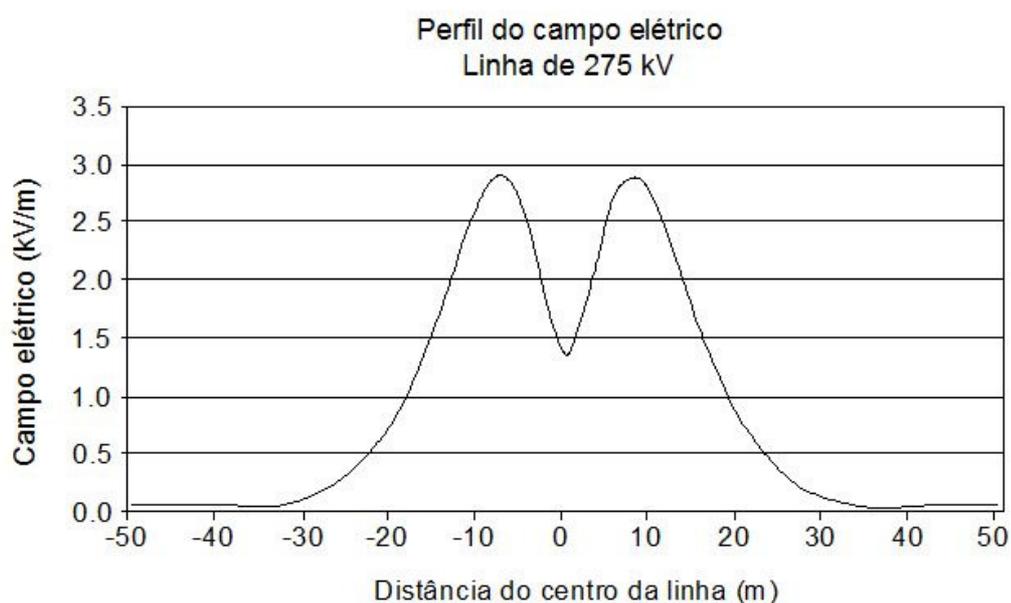


Figura 6 - Campo elétrico produzido pela linha de transmissão
Fonte: Wan & Ibrahim, 2010, p. 3
Nota: Traduzido pelo autor

A figura 6 mostra a intensidade do campo elétrico produzido por uma linha de transmissão de 275 kV em relação a uma certa distância do solo, perpendicularmente à linha e em pontos afastados do centro das linhas de transmissão. Isso indica que aproximadamente a 30 metros do centro da linha a maioria das influências do campo elétrico são mínimas (Wan & Ibrahim, 2010, p. 3 e 4).

2.4. Influência do campo eletromagnético sob antenas de receptores GNSS

Quanto ao uso do GNSS nas proximidades de redes elétricas, o Earth Observation Magazine (1995) apresenta uma entrevista realizada com cinco diferentes fabricantes de receptores GNSS. Nela, os fabricantes responderam a questão sobre os efeitos das linhas de energia nos sinais GNSS. A Trimble Navigation Limited afirmou “Na América do Norte, a energia das linhas de energia é de 60 Hz e as harmônicas de 60 Hz (50 Hz na Europa) com a energia harmônica caindo rapidamente com o aumento da frequência. O campo magnético das linhas de força harmônicas não é um fator para as frequências do GPS”. A Leica Company afirmou “Abaixo das linhas de transmissão de energia cria-se um campo eletromagnético. Temos verificado pouco ou nenhum efeito das linhas de energia sobre os sinais GPS. A operação dos receptores GPS perto ou próximo a um forte campo magnético também demonstra pouca dificuldade”. A Astech Company afirmou “As linhas de energia e campos magnéticos fortes podem causar problemas em alguns receptores. Entretanto, testes internos e independentes tem mostrado que os receptores Astech tem muito pouco, se alguma, degradação no desempenho sob essas condições adversas”. A Magellan Systems Corporation afirmou “Campos magnéticos não tem efeito sobre sinais GPS, nem as linhas de energia”.

Alsaman (2001, p. 60) verificando se a alta tensão das linhas de energia de 380 kV causariam distúrbios aos dados GNSS observados e, conseqüentemente nos resultados no posicionamento, chegando a seguinte afirmação:

Baseado nos resultados obtidos durante as situações de tensão desligada e ligada parece que os campos elétricos e magnéticos criados pela tensão da alta tensão não afetam os dados recebidos pelo GPS que está perto dela (cerca de 20m debaixo da linha de força/energia). Os usuários de GPS podem, portanto, operar e observar sinais GPS nas proximidades de energia de alta tensão sem risco de perturbação de sinal. Deveria ser apontado, entretanto, que essa conclusão é assegurada por sessões de observações estáticas rápidas.

Referente à recepção e reflexão dos sinais de satélites nas torres de transmissão, Hydro (2010, p. 3) cita que os receptores GPS são tipicamente configurados para reduzir os efeitos de bloqueio e reflexão dos sinais, resultando em pequena e temporária área de bloqueio, se ela ocorrer. Como ilustrado na figura 7, o

conceito de disponibilidade de múltiplos satélites implica que tendo o sinal a partir de um grupo de satélites, um satélite bloqueado não compromete a qualidade, desde que, a recepção de outros satélites ainda esteja disponível.



Figura 7 - Recepção de sinais de rádio frequência dos satélites orbitais
Fonte: Hydro, 2010

Silva & Olsen (2002, p. 943 e 944) realizaram uma avaliação sobre a possibilidade de linhas condutoras afetarem os receptores GNSS. Os resultados obtidos através de um modelo simples para demonstrar a dispersão eletromagnética dos sinais GNSS pela rede elétrica não indicaram que o efeito corona gerado pudesse afetar no desempenho dos receptores GNSS, sendo que especificamente não houve perdas na recepção do sinal dos satélites quando foi colocado o receptor próximo à linha elétrica.

Lee & Ge (2006, p. 522) avaliaram a possibilidade de detectar fatores que afetam a acurácia do GPS RTK (*Real Time Kinematic*) nos pilares e centro de duas torres que conduzem rede elétrica de 154 kV de tensão. As conclusões foram:

Os pilares das torres de força elétrica foram levantados com sucesso no modo estático com GPS, mas não tão bem no GPS RTK. Mas, em área aberta o GPS RTK é esperado que seja uma ferramenta útil para levantamento de torres de energia elétrica.

2.5. Transformação de coordenadas por métodos geodésicos e topográficos

2.5.1. Representações da Terra

2.5.1.1. Superfície Física da Terra

Para Torge (2001) a Superfície Física da Terra (SFT) é aquela formada pelo contato entre a atmosfera e as massas sólidas ou líquidas da Terra, salientando que o fundo dos oceanos está incluído nessa formulação, pois é a superfície limite entre o corpo sólido terrestre e as massas de água do oceano.

2.5.1.2. Elipsóide de Revolução

O elipsóide de revolução é uma figura geométrica que mais se ajusta ao geóide que contém forma e dimensões estabelecidas (figura 8). Os parâmetros que o definem são:

- Semieixo maior (a);
- Semieixo menor (b);
- Achatamento (f).

O achatamento é dado pela fórmula: $f = 1 - (b/a)$ (2.5)

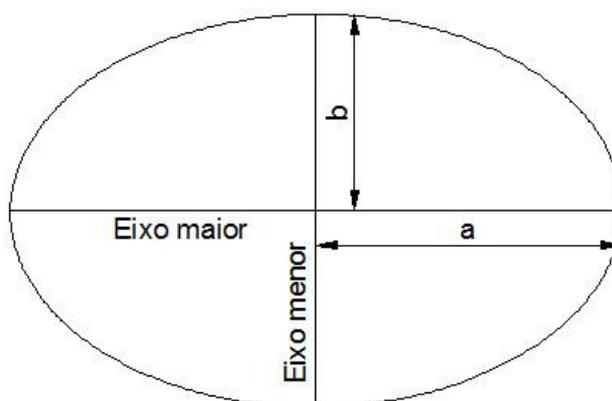


Figura 8 - Geometria de elipse
 Fonte: Leick, 1995, p. 224
 Nota: Traduzido pelo autor

Conforme Huerta (2005, p. II-10 e II-11) as coordenadas geodésicas de um ponto P se definem pela seguinte maneira:

- A latitude geodésica (φ) é o ângulo formado entre o ângulo do plano do Equador e a normal do elipsoide que passa pelo ponto P medida no plano do meridiano do ponto. A origem das latitudes é o Equador e varia entre 0° e 90° no hemisfério norte e entre 0° e -90° no hemisfério sul;
- A longitude geodésica (λ) é o ângulo diedro determinado pelo Meridiano de Greenwich e o plano do meridiano que contém o ponto P. A longitude varia entre 0° e 180° medida desde o Meridiano de Greenwich para o leste e 0° e -180° medida desde o Meridiano de Greenwich para o oeste;
- A altitude geodésica (h) é a distância entre o ponto e o elipsoide medido ao longo da normal do elipsoide. A altura é positiva acima do elipsoide e negativa abaixo do elipsoide.

2.5.1.3. Sistema Topográfico Local

Conforme Dal' Forno et al., (2009, p. 53) o Sistema Topográfico Local (STL) desconsidera a curvatura da Terra e é perpendicular à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerando como origem do levantamento. Nessa simplificação, não se observam os erros sistemáticos provenientes da desconsideração da curvatura terrestre e do desvio da vertical.

2.5.2. Sistema Geodésico de Coordenadas Cartesiano Tridimensional

O sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais é estabelecido sobre o elipsoide de revolução e constituído de três eixos perpendiculares (figura 9). A origem do sistema é a intersecção dos dois eixos da elipse; o eixo X, coincidente com o plano equatorial e positivo na direção da longitude 0° , e o eixo Y, também situado no plano equatorial, e positivo na direção da longitude 90° . O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e é positivo na direção do norte. Se a origem do sistema está localizada no centro de massas da Terra, suas coordenadas são denominadas de geocêntricas e, em caso contrário, de topocêntricas (Dal' Forno et al., 2009, p. 53).

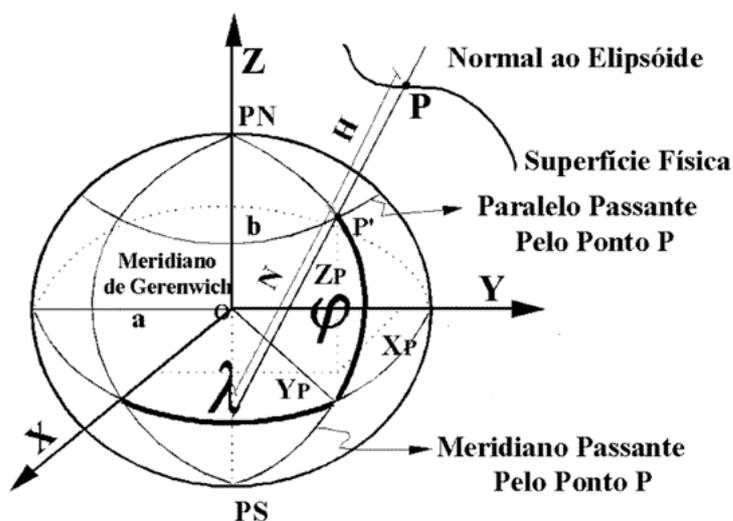


Figura 9 - Coordenadas do ponto (P) projetado sobre o elipsóide (P') e referidas ao sistema de coordenadas geodésicas cartesianas ortogonais, vistas em conjunto com as coordenadas elipsoidais geodésicas

Fonte: Dal' Forno et al., 2009, p. 53

2.5.3. Sistema de Coordenadas Terrestre Local

O sistema de coordenadas terrestre local é baseado na mensuração e representação da superfície física da Terra através de posições relativas mediante a leitura de ângulos e distâncias, horizontais e verticais.

Conforme a NBR 13133 (ABNT, 1994, p. 5), as principais características são:

- As projetantes são ortogonais a superfície de projeção;
- A superfície de projeção é um plano normal a vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento;
- A localização planimétrica dos pontos, medidos do terreno e projetados no plano de projeção, se dá por intermédio de um sistema de coordenadas cartesianas, cuja origem coincide com o levantamento topográfico;
- O eixo das ordenadas é a referência azimutal, que, dependendo das particularidades do levantamento, pode estar orientado para o norte geográfico, para o norte magnético ou para uma direção notável do terreno, julgada importante.

2.5.4. Transformação entre os Sistemas Geodésico e Topográfico Local

Para que possa ser mensurada a exatidão da determinação das coordenadas planimétricas sob de redes elétricas de alta tensão com receptores GNSS é necessária à compatibilização dos dados levantados sob o mesmo sistema de referência.

Hofmann-Wellenhof et al. (2001, p. 302) já citou que o problema encontrado aqui é que os dados GPS referem-se ao sistema cartesiano tridimensional geocêntrico, comparado a dados terrestres referenciados individualmente em nível de sistema local (tangente ao plano). Dal' Forno et al. (2009, p. 52) comentou que mensurações obtidas pelo método topográfico, os elementos são retas e ângulos planos medidos sobre o referencial no sistema topográfico local e as mensurações obtidas pelo método geodésico, são distâncias e ângulos obtidos sobre o elipsoide de referência e são elementos curvilíneos.

Rapp (1989 apud Zás, 2009) descreve que a transformação que leva o Sistema Topográfico Local ao Sistema Geodésico Geocêntrico pode ser feito de uma translação da origem ao STL ao sistema geodésico, um rotação em torno do eixo t do STL para o eixo v coincidir com o eixo Z e uma rotação em torno do eixo v para que os eixos t e u do STL coincidam com os eixos X e Y do sistema geodésico geocêntrico.

Para a transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas topográficas locais, na mesma escala, emprega-se a equação a seguir (Andrade, 1998).

$$\begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen } \varphi_0 & \text{cos } \varphi_0 \\ 0 & -\text{cos } \varphi_0 & \text{sen } \varphi_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\text{sen } \lambda_0 & \text{cos } \lambda_0 & 0 \\ -\text{cos } \lambda_0 & -\text{sen } \lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Onde:

t , u e v : são as coordenadas topográficas transformadas no STL;

φ_0 e λ_0 : são a latitude e a longitude geodésicas do ponto escolhido como origem do sistema;

X , Y e Z : são as coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionais do ponto a transformar;

X_0 , Y_0 e Z_0 : são as coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionais do ponto escolhido para origem do sistema.

Por sua vez, a transformação inversa é feita a partir da seguinte equação (Andrade, 1998):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen } \lambda_0 & -\text{cos } \lambda_0 & 0 \\ \text{cos } \lambda_0 & -\text{sen } \lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen } \varphi_0 & -\text{cos } \varphi_0 \\ 0 & \text{cos } \varphi_0 & \text{sen } \varphi_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Localização da área experimental

3.1.1.1. Caracterização do local

As mensurações foram realizadas em uma área localizada às margens da Estrada Municipal Eduardo Duarte, Bairro Tomazetti, na zona urbana do Município de Santa Maria/RS, próximo a Rodovia BR-392 no trecho que interliga os municípios de Santa Maria a São Sepé (figura 10). As coordenadas geodésicas centrais da área são: a) latitude de $29^{\circ}44'02''\text{S}$ e b) longitude de $53^{\circ}47'41''\text{W}$ (SIRGAS2000).



Figura 10 - Localização da área experimental
Fonte: o autor

O relevo é suavemente ondulado, com cobertura vegetal campestre, característica que permite amplo ângulo de rastreamento de sinais de satélite GNSS. Nos pontos da mensuração, inclusive nas estações de apoio à poligonal topográfica, garantiu-se um ângulo de corte, sem obstrução, de 15° (máscara de elevação). A distância entre a área experimental e a SMAR (*Estação Santa Maria*) da RBMC (*Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo*) é aproximadamente de 7.500 m.

3.1.1.2. Caracterização do procedimento experimental

Para avaliar o possível erro no posicionamento planimétrico quando se empregam receptores GNSS sob redes de alta tensão, foram implantados 11 pontos sob a rede de transmissão elétrica. Esses pontos estão distribuídos perpendicularmente ao eixo longitudinal da linha, com equidistância de 5,00 m entre eles, cobrindo uma distância de 25,00 m para cada lado do eixo da rede.

Depois de implantados os pontos, foi necessária a determinação das coordenadas planimétricas sem que houvesse a possibilidade da interferência do campo eletromagnético. Para isto foram implantados quatro marcos de apoio imediato situados a uma distância em que a possibilidade de interferência das torres e dos condutores fosse a mínima possível. Foi realizado o levantamento geodésico dos marcos e, apoiada neles, implantou-se uma poligonal topográfica que serviu de apoio à determinação, por irradiação, das coordenadas planimétricas dos pontos situados sob a rede elétrica. Essas coordenadas serviram como padrão para a avaliação da acurácia planimétrica das obtidas com o rastreamento GNSS.

Posteriormente, os onze pontos foram rastreados com dois equipamentos geodésicos, ou seja, um receptor GNSS código C/A e outro receptor GNSS portadora L1/L2. As coordenadas geodésicas, assim obtidas, foram transformadas em coordenadas topográficas e, posteriormente, comparadas com as coordenadas planimétricas oriundas da poligonal topográfica. Essa comparação permitiu verificar a discrepância existente entre as duas metodologias empregadas. A figura 11 apresenta um croqui da localização da rede elétrica, dos pontos e dos marcos de apoio da poligonal topográfica.

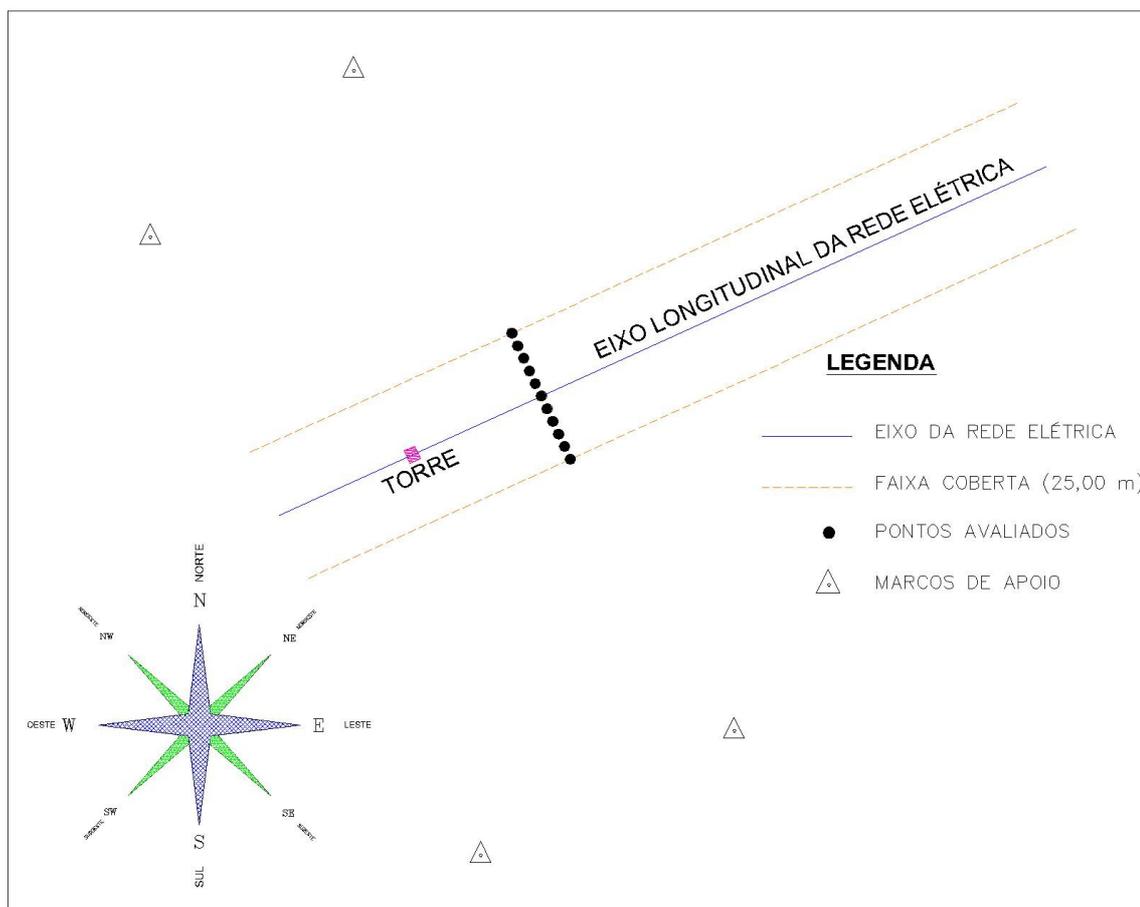


Figura 11 - Localização da rede elétrica, os pontos e os marcos de apoio
 Fonte: o autor

3.1.1.3. Caracterização da rede elétrica de alta tensão

A rede elétrica utilizada nas avaliações experimentais está sob concessão da empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. A linha apresenta uma tensão nominal de 69 KV, frequência de 60 Hz e a altura máxima em relação à superfície do solo é de 23,83 m, medida no local. A figura 12 ilustra uma das torres da rede. A orientação do eixo longitudinal da rede de transmissão, em relação ao Pólo Magnético da Terra, representada pelo azimute magnético, é de $64^{\circ}30'36''$ e declinação magnética de $14^{\circ}06'09''$ (Oeste) para o dia 04 de Março de 2011. O azimute topográfico-geodésico é de $50^{\circ}24'27''$.



Figura 12 – Uma das torres da linha de transmissão utilizada no experimento.
Fonte: o autor

3.1.2. Equipamentos utilizados nos levantamentos geodésicos e topográficos

3.1.2.1. Levantamento geodésico

Para o levantamento geodésico dos marcos da poligonal topográfica foram utilizados os receptores GNSS modelo Hiper da marca comercial Topcon. Nos levantamentos geodésicos utilizou-se o posicionamento no modo relativo estático convencional. Os pontos localizados sob a rede elétrica foram coletados utilizando dois equipamentos para as avaliações propostas: sendo um receptor GNSS de

dupla frequência modelo Hiper da marca comercial Topcon e um receptor de navegação modelo GPS II Plus da marca comercial Garmin.

As características básicas dos receptores são:

- Receptor modelo GPS II Plus da marca comercial Garmin (figura 13): (i) recepção de sinais GPS código C/A; (ii) possui precisão sob método absoluto de 15 metros a um nível de confiança de 95%.
- Receptor modelo Hiper da marca comercial Topcon (figuras 14 e 15): (i) recepção de sinais GPS e GLONASS L1 e L2; (ii) nos métodos relativo estático ou rápido estático, a precisão horizontal é de 3 mm + 0,5 ppm e a vertical é de 5 mm + 0,5 ppm; (iii) recepção de 20 canais GPS L1 + L2 + GLONASS e recepção de 40 canais GPS L1.



Figura 13 - Receptor Garmin modelo GPS II Plus
Fonte: o autor



Figura 14 - Receptor Topcon modelo Hiper
Fonte: o autor



Figura 15 – Vista do receptor Topcon modelo Hiper em operação sobre um marco de apoio.
Fonte: o autor

3.1.2.2. Levantamento topográfico

No levantamento topográfico foi utilizado a estação total (taquímetro eletrônico) Leica modelo TPS 805 (figura 16), com as características de apresentar, para medição angular no método absoluto contínuo, a resolução de 1" e desvio-padrão de 5" e, para a medição de distâncias com prisma o desvio-padrão é de 2 mm + 2 ppm no programa de medição EDM (*Electronic Distance Meter*). Possui luneta de aproximação em 30X.

Para o levantamento da poligonal topográfica enquadrada e para o levantamento por irradiação dos pontos localizados sob a rede elétrica utilizou-se mini-prisma (figura 17), que apresenta constante 0 mm, alcance de medição de 2.000 m em ambiente nublado, sem cerração, visibilidade de 40 km e ausência de cintilação (Manual do fabricante).



Figura 16 - Estação total Leica modelo TPS 805
Fonte: Manfra, 2011



Figura 17 - Mini-prisma
Fonte: Manfra, 2011

3.1.2.3. Equipamento utilizado na mensuração do campo eletromagnético

Para a mensuração do campo eletromagnético dos pontos sob a rede elétrica foi utilizado o medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000, fabricado pela ICEL-Manaus (figura 18). O equipamento mede o campo eletromagnético de três eixos (X, Y, Z).

O equipamento apresenta a medição do campo magnético em micro tesla e mili gauss. A frequência que o equipamento capta é de 30 Hz a 300 Hz.



Figura 18 - Medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000
Fonte: o autor

3.1.3. Programas computacionais utilizados para o tratamento dos dados

Para o envio e o recebimento dos dados da estação total para o microcomputador na etapa referente ao levantamento da poligonal topográfica, locação e levantamento por irradiação dos pontos sob a rede elétrica de alta tensão foi utilizado o software de automação topográfica Posição 2003.

No processamento geodésico dos pontos pelo método relativo estático dos dados do receptor GNSS modelo Hiper da Topcon foi utilizado o software comercial Topcon Tools V. 7.1. O software possibilita a preparação dos dados brutos, o processamento e o ajustamento de observações de instrumentos da Topcon e da Sokkia. O programa possibilita o pós-processamento de linhas geodésicas, ajustamento de observações geodésicas, importação e exportação de arquivos e a geração de relatórios dos resultados do processamento, a qualidade e o resultado final do ajustamento.

Para o cálculo do ajustamento da poligonal topográfica enquadrada e os cálculos das irradiações utilizou-se o software TopoEVN 6.6.0.7 da empresa Métrica Tecnologia. Conforme o fabricante do software, o programa permite que o usuário atribua pesos às observações, denominado injuncionamento relativo.

A tabulação dos dados, para a avaliação estatística, foram obtidas pelo programa computacional Microsoft Excel e para a apresentação gráfica dos levantamentos topográficos planimétricos gerados valeu-se do programa computacional AutoCAD Civil 3D 2010.

3.2. Métodos

3.2.1. Levantamento do campo eletromagnético dos pontos

Nos pontos locados sob a rede elétrica foram feitas medições eletromagnéticas utilizando o medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000.

O sensor foi colocado na mesma altura dos receptores GNSS, ou seja, a 1,50 m. O medidor constitui-se de três eixos (X, Y e Z). Nas medições, o eixo Y ficou paralelo ao eixo longitudinal da rede elétrica e o eixo X ficou transversalmente ao eixo longitudinal da rede elétrica. Foram realizadas três séries de leituras.

3.2.2. Levantamento topográfico dos pontos

Com a finalidade de obter as coordenadas planimétricas dos pontos, o levantamento topográfico seguiu a NBR 13.133 – Execução de Levantamento Topográfico. Inicialmente, foram implantados marcos de concreto para dar apoio à partida e à chegada da poligonal topográfica enquadrada, conforme apresentada na figura 19.

Essas estações estão afastadas em relação à rede elétrica de uma distância ($\pm 131,22$ m) de maneira a minimizar as possibilidades de multicaminhamento produzido pelas torres e pelos condutores e, da influência da corrente eletromagnética. A poligonal é da classe III P, sendo realizadas, para a medição angular, quatro séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical e, para a medição linear foram realizadas leituras recíprocas de vante e ré.

Para a determinação do azimute topográfico-geodésico inicial do alinhamento da poligonal, foi empregado o programa computacional AzCerto. Para aplicar o programa, obteve-se as coordenadas geodésicas dos vértices, utilizando o sistema de posicionamento por satélite. O método de rastreamento utilizado foi o relativo estático, com o receptor previamente configurado para operar em uma taxa de aquisição igual a 5 segundos, PDOP (*Positional Dilution of Precision*) < 6 , ângulo de elevação de 15° , tempo mínimo de permanência de uma hora por ponto utilizando as efemérides precisas.

Os dois equipamentos foram usados simultaneamente, sendo o primeiro rastreio nos marcos de apoio de partida da poligonal e o segundo rastreio nos marcos de apoio de chegada. Para o ajustamento geodésico, foi considerada como base a estação SMAR, pertencente à RBMC. Após, aplicaram-se translações e rotações ao sistema cartesiano ortogonal tridimensional para transformá-lo em um

sistema de coordenadas terrestre geodésico local através do software Transgeolocal v. 2.0.

Para o ajustamento da poligonal topográfica enquadrada foi empregada o ajustamento pelo MMQ (*Método dos Mínimos Quadrados*). O cálculo resulta de observações de ângulos e distâncias. Sendo assim, os erros que existem nessas observações propagam-se sucessivamente de acordo com a lei geral de propagação das variâncias e covariâncias. Conforme Veronez et al.(1997, p. 03), o ajustamento de poligonais topográficas pelo MMQ proporciona uma grande vantagem em relação as metodologias convencionais de distribuição de erros, proporcionando nos resultados finais análises estatísticas como: precisões das grandezas observáveis e das coordenadas dos vértices da poligonal.

O MMQ possibilita a resolução dos problemas matemáticos através de três modelos de ajustamento: Modelo Paramétrico (Modelo das Equações de Observação), Modelo dos Correlatos (Modelo das Equações de Condição) e Modelo Combinado (Modelo Implícito). Neste experimento utilizou-se o software TopoEVN 6.6.0.7 da empresa Métrica Tecnologia que na qual trabalha com o Modelo Combinado.

Partindo dos vértices da poligonal topográfica enquadrada, foi realizado a locação de 11 pontos situados sob a rede elétrica, conforme o item 3.1.1.2. Esses pontos estão representados na figura 20. Concluída a locação, foi feito o levantamento desses mesmos pontos locados através do método da irradiação (figura 21). Nesta etapa realizaram-se também, para a medição angular, quatro séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical e para a medição linear foram realizadas leituras recíprocas de vante e ré.

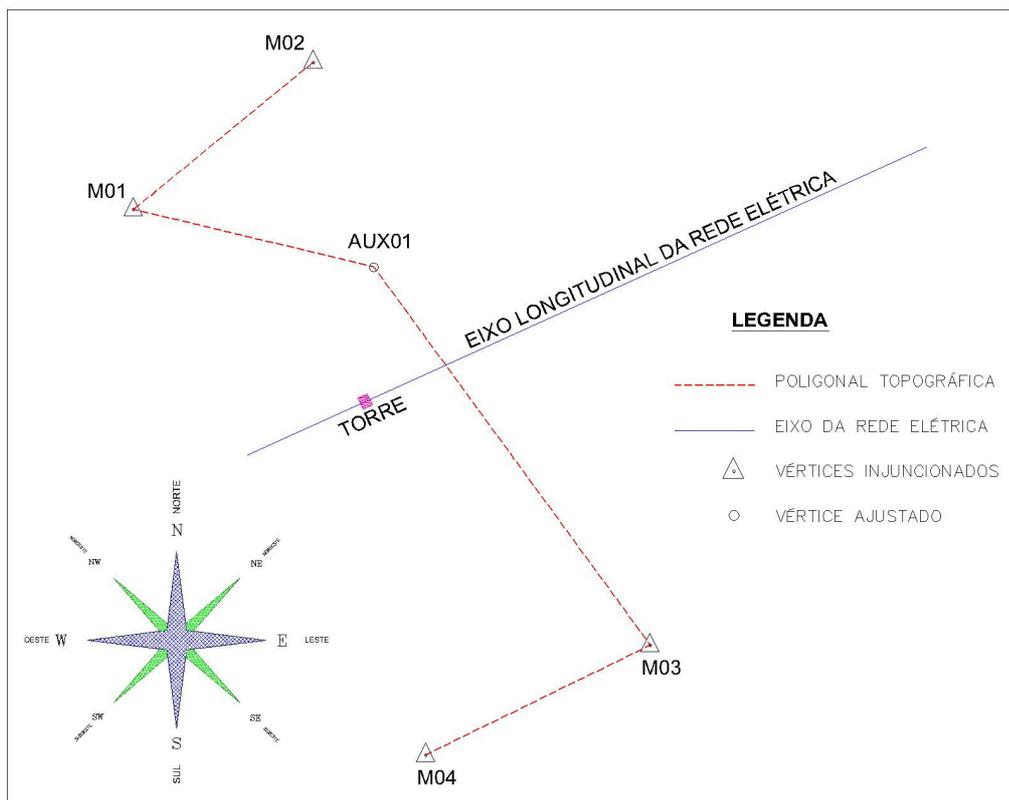


Figura 19 - Croqui da poligonal topográfica enquadrada
Fonte: o autor

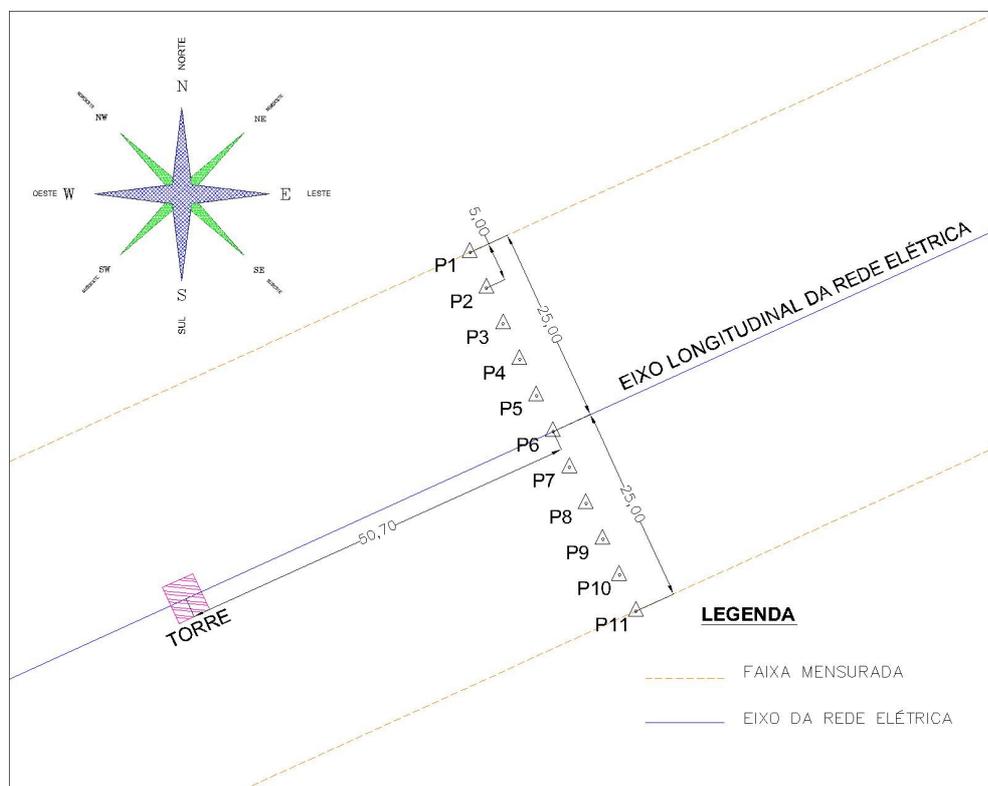


Figura 20 - Croqui de detalhamento dos pontos implantados abaixo da rede elétrica
Fonte: o autor

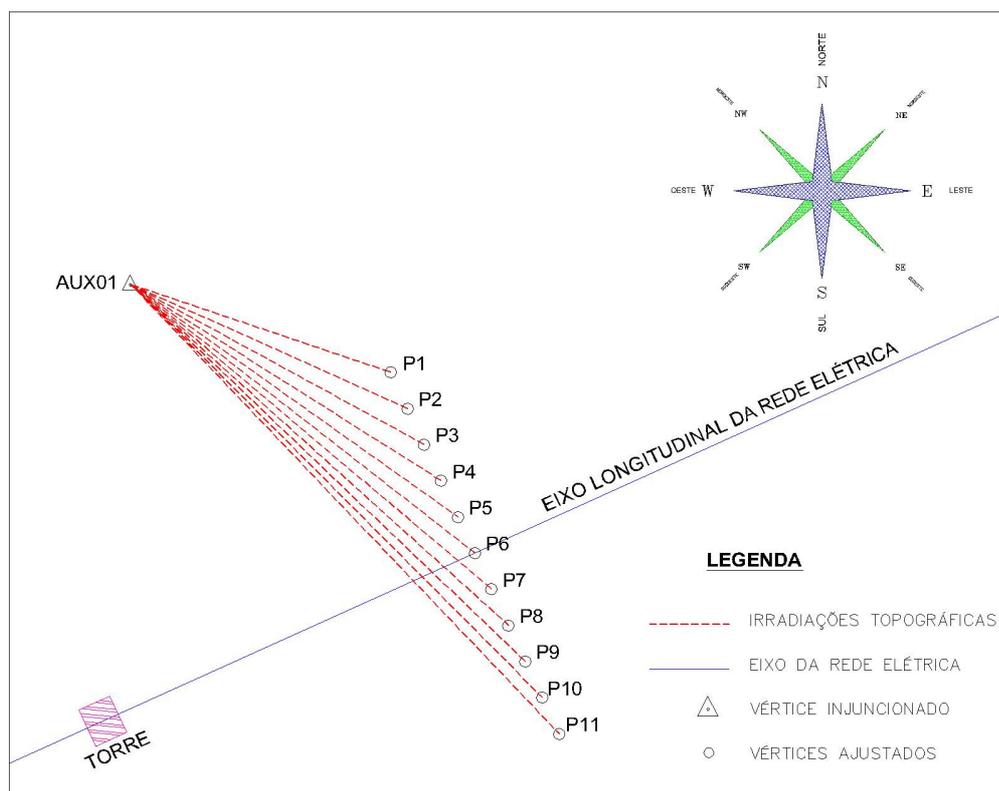


Figura 21 - Croqui da irradiação topográfica dos pontos instalados sob a rede elétrica de alta tensão
Fonte: o autor

3.2.3. Levantamento geodésico dos pontos

Para a avaliação da interferência do campo eletromagnético gerado pela rede elétrica sob as coordenadas planimétricas dos pontos implantados sob a rede, foi realizado o levantamento com os dois tipos de receptores GNSS.

Para avaliação dessa interferência sobre os sinais GNSS portadora L1/L2, foi utilizada a metodologia explanada no item 3.2.2. Com o auxílio de um bipé, fixou-se a antena receptora a 1,50 metros de altura e foram levantados os 11 pontos que constituem a amostra. Realizada a coleta dos dados de campo, os arquivos brutos foram descarregados no microcomputador. Com o software comercial Topcon Tools V. 7.1., descrito anteriormente no item 3.1.3, foi realizado o processamento e o ajustamento geodésico dos pontos, na seguinte sequência:

- a) Criação de um projeto: é o ambiente onde serão armazenados os dados brutos levantados a campo e onde é realizado o processamento e o ajustamento das observações geodésicas;

- b) Configuração do Topcon Tools V. 7.1.: relacionada às unidades de medida, o datum horizontal, sistema de coordenadas, geração de relatórios, exportação dos dados, etc;
- c) Importação dos dados: é importado no ambiente do programa os dados brutos coletados no campo pelo receptor Hiper e o arquivo da estação base gerado referente a data correspondente ao levantamento. A estação base utilizada foi a SMAR pertencente à RBMC, citada anteriormente;
- d) Processamento e ajustamento das observações: foi pósprocessado pelo método relativo estático criando vetores entre a estação base e os pontos coletados, gerando arquivos corrigidos dos erros comuns entre os dois receptores e ajustados;
- e) Estatística dos dados: é gerado um relatório do arquivo corrigido, fornecendo informações como latitude, longitude, altitude geométrica, PDOP, tipo de solução, desvios-padrões, RMS (*Root Mean Square*) e precisões.

Para o ajustamento estatístico dos dados utilizou-se o nível de confiança de 68,27%.

A partir dos dados coletados nos pontos realizaram-se seis simulações de tempos de observação para analisar a apresentação de solução fixa e a possível influência do tempo de rastreamento na compensação da provável influência do campo eletromagnético. Os tempos de rastreamento realizados foram: 1, 5, 15, 30, 45 e 60 min de tempo de rastreamento de sinal. Para realizar o corte dos sinais de ocupação, conforme os períodos apresentados, realizou-se a conversão dos arquivos do formato nativo (*.tps) para formato rinex.

Para avaliação da interferência do campo eletromagnético sobre os sinais GNSS código C/A, foi utilizado o receptor GPS II Plus da Garmin, já descrito anteriormente. Com o auxílio de um bipé, ficou fixado o receptor a 1,00 metro de altura sendo levantados os 11 pontos onde foram feitas as avaliações. As coordenadas geodésicas apresentadas no visor foram anotadas para avaliação posterior.

3.2.4. Transformação dos sistemas

Como as coordenadas dos pontos obtidos pelo levantamento topográfico estão em sistema diferente das obtidas pelo levantamento geodésico, não há a possibilidade da análise estatística. Assim, após o levantamento e o processamento geodésico dos pontos pelos receptores apresentados, foi realizada a transformação dos dados que estão em sistema geodésico de coordenadas cartesianas tridimensional para o sistema topográfico local terrestre através do software Transgeolocal v. 2.0. Este software utiliza como fundamentação matemática a transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas topográficas locais, por rotações e translações, na mesma escala, com as formulações matemáticas descritas anteriormente no item 2.5.4.

3.2.5. Avaliação e análise estatística do erro de posicionamento planimétrico

Para avaliar as discrepâncias de posicionamento entre as coordenadas obtidas através do levantamento topográfico e as obtidas pelo levantamento com receptores GNSS, aplicaram-se as seguintes expressões:

$$\Delta tu = \sqrt{\Delta t^2 + \Delta u^2} \quad (3.1)$$

onde:

Δtu : erro do posicionamento (m);

Δt : diferença da i -ésima medição entre as coordenadas t do levantamento geodésico e o levantamento topográfico (m);

Δu : diferença da i -ésima medição entre as coordenadas u do levantamento geodésico e o levantamento topográfico (m).

Para o cálculo das coordenadas médias e do valor dos erros médios dos posicionamentos oriundos das diferenças entre os valores apresentados no levantamento topográfico e geodésico, aplicaram-se as seguintes equações:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n} \quad (3.2)$$

$$\overline{\Delta u} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta u_i}{n} \quad (3.3)$$

$$\overline{\Delta tu} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta tu_i}{n} \quad (3.4)$$

onde:

$\overline{\Delta t}$, $\overline{\Delta u}$ e $\overline{\Delta tu}$: média das “n” observações das discrepâncias (m);

Δt_i , Δu_i e Δtu_i : i-ésima medição das discrepâncias (m);

n: número de observações.

Na avaliação da precisão, segundo McCormac (2004, p. 19) o cálculo do desvio padrão ou também denominado erro médio quadrático fornece numericamente um meio prático de indicar a confiabilidade de um conjunto de medições repetidas. O cálculo é dado pela expressão a seguir (NBR 13133, 1994):

$$\sigma_t = \pm \sqrt{\frac{\sum (\Delta t - \overline{\Delta t})^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

$$\sigma_u = \pm \sqrt{\frac{\sum (\Delta u - \overline{\Delta u})^2}{n-1}} \quad (3.6)$$

$$\sigma_{tu} = \pm \sqrt{\frac{\sum (\Delta tu - \overline{\Delta tu})^2}{n-1}} \quad (3.7)$$

onde:

σ_t , σ_u , σ_{tu} : desvio padrão (m);

$\overline{\Delta t}$, $\overline{\Delta u}$ e $\overline{\Delta tu}$: média das “n” observações das discrepâncias (m);

Δt_i , Δu_i e Δtu_i : i-ésima medição das discrepâncias (m);

n: número de observações.

Para realizar uma comparação adimensional das variáveis envolvidas, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e o índice de concordância

(c). Para analisar a possibilidade de tendência das coordenadas t e u realizou-se a análise estatística Teste t de Student. As análises estatísticas foram realizadas entre as coordenadas oriundas da poligonal topográfica utilizada para o transporte de coordenadas geodésicas e o levantamento geodésico obtido com diferentes sessões de rastreamento por receptor GNSS portadora L1/L2.

Conforme Costa (2002, p. 182) o coeficiente de correlação linear de Pearson tem a importante propriedade de ser adimensional e de variar entre -1 e +1. No caso de $r = -1$ tem-se um caso de correlação linear negativa perfeita e se $r = +1$ a correlação é linear positiva perfeita. Esse coeficiente permite avaliar o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados. Ele é representado pela expressão:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e}) (o_i - \bar{o})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \right]}} \quad (3.8)$$

onde:

r : coeficiente de correlação linear de Pearson

e_i : i-ésima coordenada proveniente do levantamento geodésico com receptor GNSS portadora L1/L2 (m);

\bar{e} : média das coordenadas provenientes do levantamento geodésico com receptor GNSS portadora L1/L2 (m);

o_i : i-ésima coordenada proveniente do levantamento topográfico (m);

\bar{o} : média das coordenadas provenientes do levantamento topográfico (m).

Segundo Willmont (1981) o índice de concordância idealiza a amplitude dos erros entre o modelo proposto (valores estimados) e o observado. Este índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, menor a amplitude dos erros. Isto permite avaliar o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas. O modelo é representado pela expressão:

$$c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|e_i - o| + |o_i - o|)^2} \quad (3.9)$$

onde:

c : índice de concordância

e_i : i -ésima coordenada proveniente do levantamento geodésico com receptor GNSS portadora L1/L2 (m);

o_i : i -ésima coordenada proveniente do levantamento topográfico (m);

\bar{o} : média das coordenadas provenientes do levantamento topográfico (m).

A análise de tendência foi realizada utilizando o Teste t de Student. Segundo Soares et al. (2007, p. 681 apud Galo et al., 2001) as discrepâncias das médias amostrais obtidas em cada uma das n coordenadas planimétricas, a certo nível de significância $(1 - \alpha)$ e com um grau de liberdade $(n - 1)$, admite-se a não existência de tendência nas direções cartesianas quando o valor calculado $t_{n-1, \alpha/2}$ for inferior ao valor limite $t_{n-1, \alpha/2}$ obtido por meio de tabela, para que os dados estejam livres de erros sistemáticos nas coordenadas t e u . O Teste t de Student é calculado obedecendo as seguintes hipóteses e fórmulas:

–Hipótese para a coordenada t :

H_0 se $\Delta t = 0$, então t não é tendencioso;

H_1 se $\Delta t \neq 0$, então t é tendencioso.

–Hipótese para a coordenada u :

H_0 se $\Delta u = 0$, então u não é tendencioso;

H_1 se $\Delta u \neq 0$, então u é tendencioso.

$$|t_{\text{calculado coord } t}| = \frac{\overline{\Delta t} \sqrt{n}}{\sigma_t} \quad (3.10)$$

Onde:

$t_{\text{calculado coord } t}$: t calculado para o Teste t de Student a coordenada t ;

$\overline{\Delta t}$: média das discrepâncias para a coordenada t (m);

n : número de observações;

σ_t : desvio-padrão para a discrepância da coordenada t (m);

$$|t_{\text{calculado coord } u}| = \frac{\overline{\Delta u} \sqrt{n}}{\sigma_u} \quad (3.11)$$

Onde:

$t_{\text{calculado coord } u}$: t calculado para o Teste t de Student a coordenada u ;

$\overline{\Delta u}$: média das discrepâncias para a coordenada u (m);

n : número de observações;

σ_u : desvio-padrão para a discrepância da coordenada u (m);

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Ajustamento e cálculo das coordenadas topográficas e geodésicas da poligonal

Realizou-se o levantamento geodésico dos marcos de apoio à poligonal topográfica enquadrada. As coordenadas geodésicas apresentam as seguintes características técnicas: a) os dados estão no datum SIRGAS 2000, b) coordenadas no sistema topográfico local terrestre, cujo plano é tangente no marco M01 de coordenadas $\varphi = -29^{\circ} 43' 59,19938''$, $\lambda = -53^{\circ} 47' 44,43285''$, adotando-se a altitude média de 95,00 m para o plano local, c) precisão das medições, horizontal: 3 mm + 0,5 ppm, vertical: 5 mm + 0,5 ppm.

Como os dados estão no sistema geodésico de coordenadas cartesiano tridimensional, foi realizada a transformação para sistema topográfico local terrestre. Para a origem do sistema topográfico, considerou-se o marco M01 com as coordenadas $t = 1.000,000$ e $u = 1.000,000$, sendo a orientação azimutal base realizada no marco M02. Na orientação azimutal de chegada se utilizaram os marcos M03 e M04, conforme a figura 19. Os coeficientes técnicos da poligonal estão apresentas nas tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Relatório técnico da poligonal topográfica observada

	Ângulos	Fechamento na coord. X (m)		Fechamento na coord. Y (m)	
Az. Base	243°43'42,4"	Base (X):	1.208,816	Base (Y):	822,023
Az. Chegada	243°43'50,0"	Chegada (X):	1.208,800	Chegada (Y):	822,019
Erro angular	0°00'07,6"	Δ (X):	-0,016	Δ (Y):	-0,003

Tabela 7 - Relatório técnico do ajuste dos azimutes da poligonal topográfica pelo Modelo Combinado do Método dos Mínimos Quadrados

Alinhamento			Azimutes	
Estação	Ponto visado	Observado	Correção	Ajustado
M01	AUX01	103°36'34"	-0°00'02,53"	103°36'31,47"
AUX01	M03	144°06'49"	-0°00'02,53"	144°06'46,47"

Tabela 8 - Relatório técnico do ajuste das distâncias da poligonal topográfica pelo Modelo Combinado do Método dos Mínimos Quadrados

Alinhamento			Distâncias (m)	
Estação	Ponto visado	Observado	Correção	Ajustada
M01	AUX01	99,826	0,0179	99,8439
AUX01	M03	190,687	-0,0061	190,6809

A elipse dos erros demonstra a região de incerteza de um ponto, representada por dois semi-eixos, máximo e mínimo. Para o marco AUX01 encontraram-se os seguintes desvios-padrões: $\sigma_{\text{máx}} = 0,005$ m, $\sigma_{\text{mín}} = 0,001$ m e ângulo crítico 334°54'21,1".

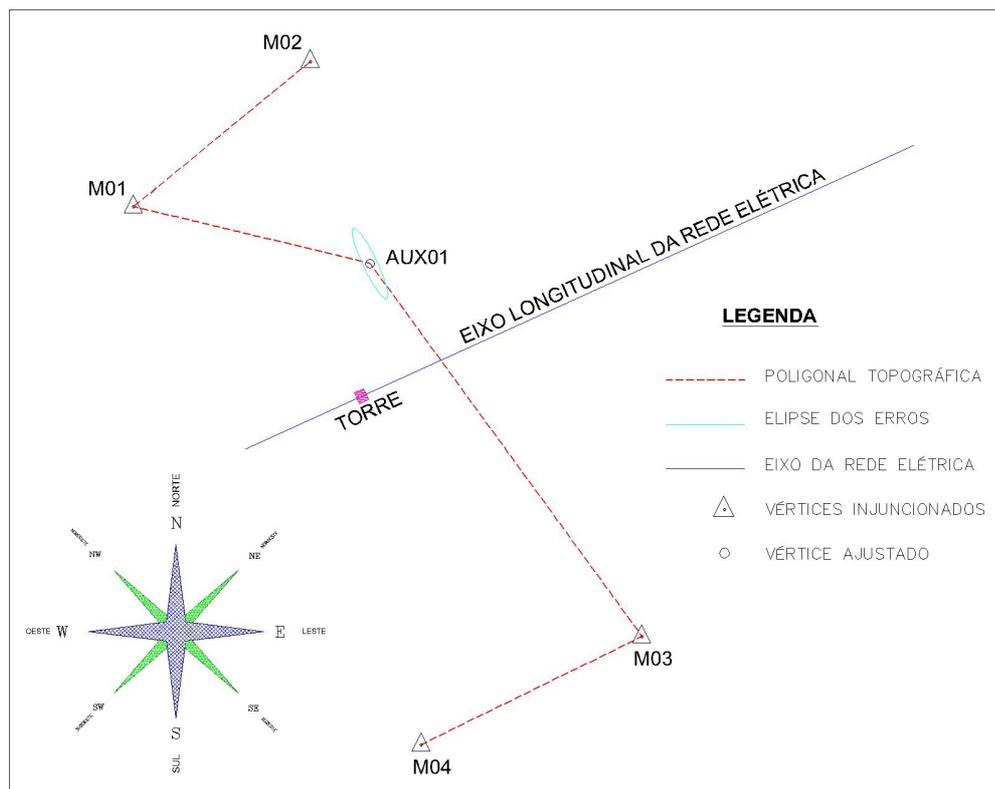


Figura 22 - Croqui da poligonal topográfica enquadrada representando a elipse dos erros do marco AUX01

Fonte: o autor

4.2. Quantificação do campo eletromagnético gerado pela rede elétrica

Foi mensurado o campo eletromagnético gerado pelas linhas de transmissão e posteriormente os dados foram tabulados, conforme a tabela 9, gerando dois gráficos ilustrativos do comportamento do campo elétrico e magnético. Avaliando os gráficos, verificou-se que o comportamento eletromagnético apresenta semelhança ao verificado por Wan & Ibrahim (2010, p. 3) no eixo da coordenada Z e que se encontra representado na figura 6.

Tabela 9 - Mensuração do campo eletromagnético da rede elétrica de alta tensão

Ponto	Localização em relação eixo rede		Campo Magnético (mGauss)			Campo Elétrico (Tesla)		
	X (m)	Y (m)	X	Y	Z	X	Y	Z
1	25	0	2,200	0,300	2,500	0,210	0,020	0,250
2	20	0	2,300	0,100	4,200	0,240	0,010	0,420
3	15	0	1,500	0,200	6,200	0,170	0,030	0,630
4	10	0	2,500	1,600	10,400	0,230	0,210	1,030
5	5	0	10,700	3,100	9,800	1,150	0,230	0,930
6	0	0	18,800	0,400	2,400	1,880	0,070	0,240
7	-5	0	12,600	1,400	9,500	1,280	0,170	0,940
8	-10	0	3,200	0,600	10,200	0,310	0,040	1,030
9	-15	0	1,400	0,100	6,600	0,140	0,010	0,670
10	-20	0	2,200	0,000	4,100	0,210	0,000	0,410
11	-25	0	1,900	0,200	2,400	0,190	0,020	0,230

* O eixo Y está orientado longitudinalmente a linha de rede de alta tensão

** O eixo X está orientado transversalmente a linha de rede de alta tensão

Os dados da tabela 9 estão representados na figura 23 e 24.

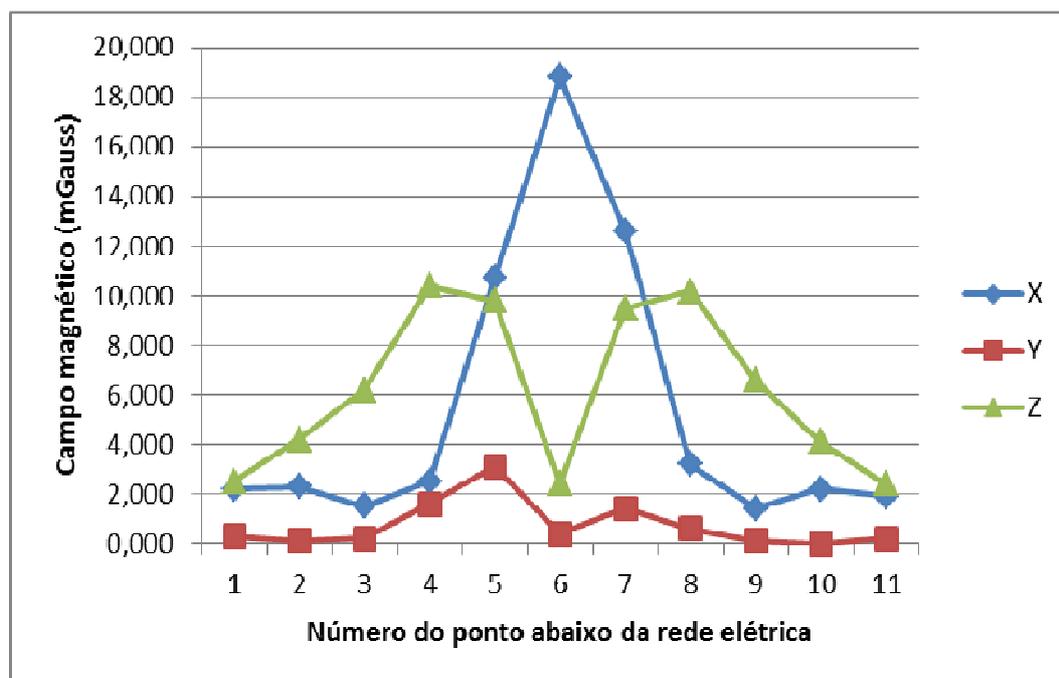


Figura 23 - Campo magnético mensurado nos pontos localizados abaixo da rede elétrica nos eixos cartesianos X, Y e Z

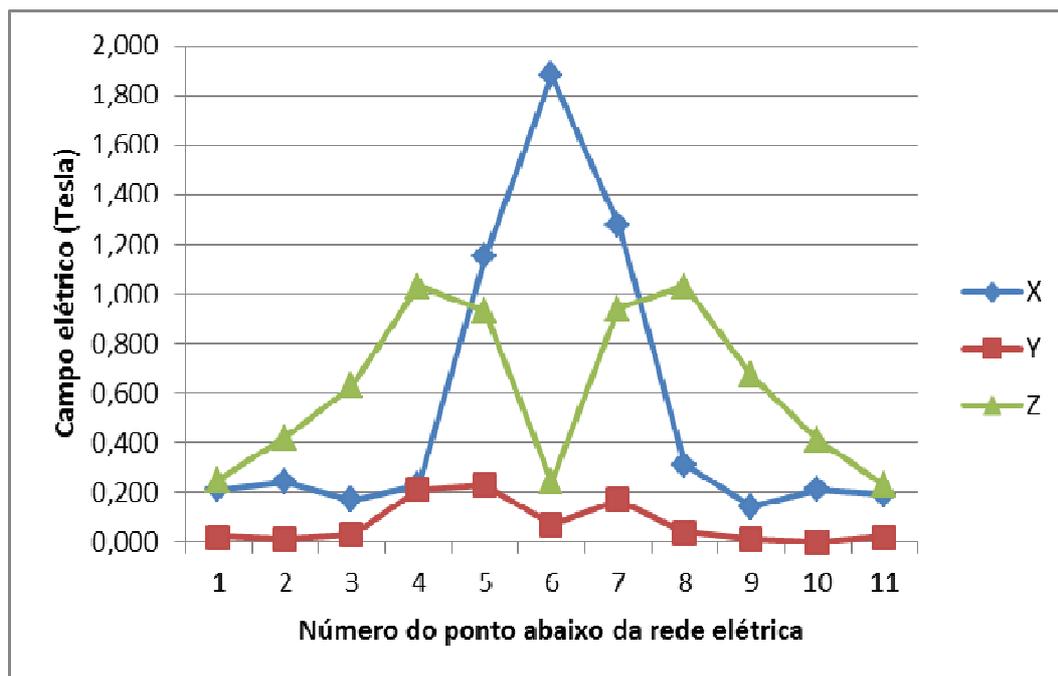


Figura 24 - Campo elétrico mensurado nos pontos localizados abaixo da rede elétrica nos eixos cartesianos X, Y e Z

4.3. Cálculo dos erros de posicionamento nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS portadora L1/L2

As coordenadas dos pontos situados sob a rede elétrica e suas discrepâncias, mensuradas pelos levantamentos topográfico e geodésico, são apresentadas nas tabelas de 10 a 20. Cada tabela representa um ponto sob diferentes tempos de rastreamento. Foram calculadas as discrepâncias nas coordenadas, as médias aritméticas e os desvios-padrão das discrepâncias. Nas figuras 25 a 35 estão representadas graficamente as discrepâncias correspondentes.

Tabela 10 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 1

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1129,274	965,458	1129,265	965,457	0,009	0,001	0,009
5	1129,274	965,458	1129,267	965,466	0,007	-0,008	0,011
15	1129,274	965,458	1129,266	965,462	0,008	-0,004	0,009
30	1129,274	965,458	1129,266	965,461	0,008	-0,003	0,009
45	1129,274	965,458	1129,267	965,460	0,007	-0,002	0,007
60	1129,274	965,458	1129,266	965,460	0,008	-0,002	0,008
Média *	---	---	---	---	0,008	-0,003	0,009
σ *	---	---	---	---	0,001	0,003	0,001

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

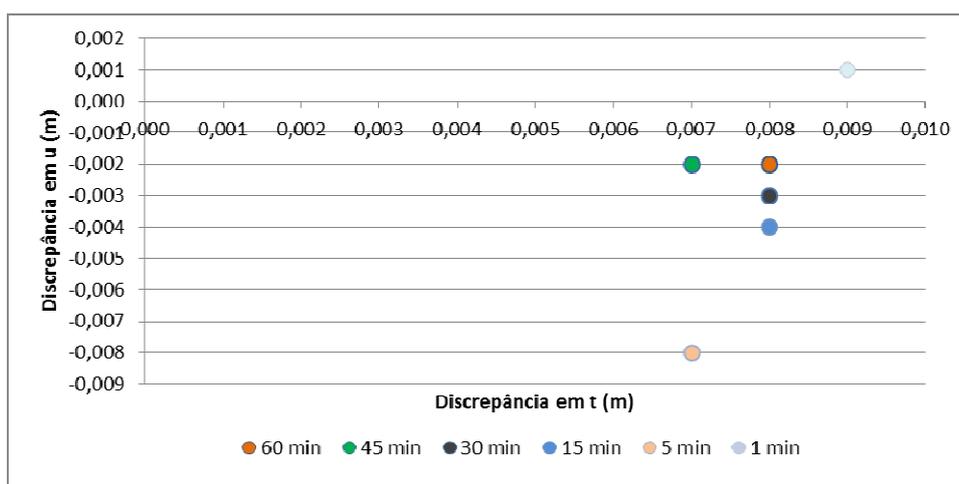


Figura 25 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 1 em diferentes períodos de rastreo

Tabela 11 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 2

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1131,353	960,897	1131,358	960,907	-0,005	-0,010	0,011
5	1131,353	960,897	1131,357	960,895	-0,004	0,002	0,004
15	1131,353	960,897	1131,355	960,905	-0,002	-0,008	0,008
30	1131,353	960,897	1131,351	960,904	0,002	-0,007	0,007
45	1131,353	960,897	1131,349	960,906	0,004	-0,009	0,010
60	1131,353	960,897	1131,348	960,905	0,005	-0,008	0,009
Média *	---	---	---	---	0,000	-0,007	0,008
σ *	---	---	---	---	0,004	0,004	0,002

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

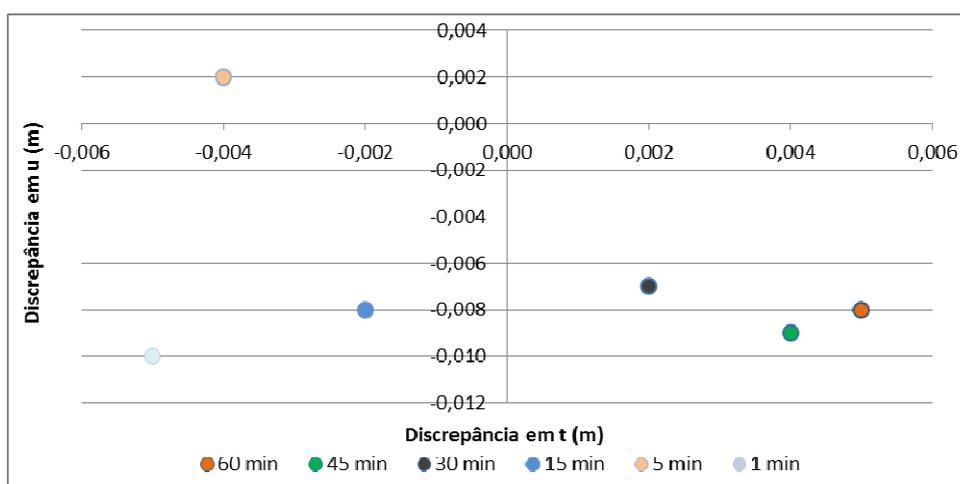


Figura 26 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 2 em diferentes períodos de rastreo

Tabela 12 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 3

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1133,444	956,373	1133,446	956,377	-0,002	-0,004	0,004
5	1133,444	956,373	1133,444	956,377	0,000	-0,004	0,004
15	1133,444	956,373	1133,450	956,385	-0,006	-0,012	0,013
30	1133,444	956,373	1133,442	956,379	0,002	-0,006	0,006
45	1133,444	956,373	1133,443	956,377	0,001	-0,004	0,004
60	1133,444	956,373	1133,446	956,377	-0,002	-0,004	0,004
Média *	---	---	---	---	-0,001	-0,006	0,006
σ *	---	---	---	---	0,003	0,003	0,004

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

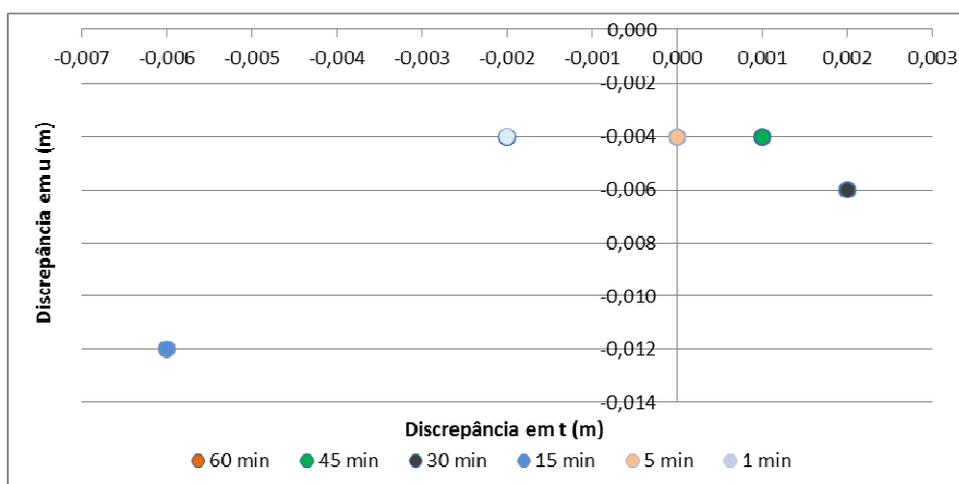


Figura 27 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 3 em diferentes períodos de rastreamento

Tabela 13 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 4

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1135,525	951,831	1135,513	951,895	0,012	-0,064	0,065
5	1135,525	951,831	1135,511	951,791	0,014	0,040	0,042
15	1135,525	951,831	1135,528	951,762	-0,003	0,069	0,069
30	1135,525	951,831	1135,518	951,833	0,007	-0,002	0,007
45	1135,525	951,831	1135,524	951,846	0,001	-0,015	0,015
60	1135,525	951,831	1135,522	951,835	0,003	-0,004	0,005
Média *	---	---	---	---	0,006	0,004	0,034
σ *	---	---	---	---	0,007	0,046	0,029

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

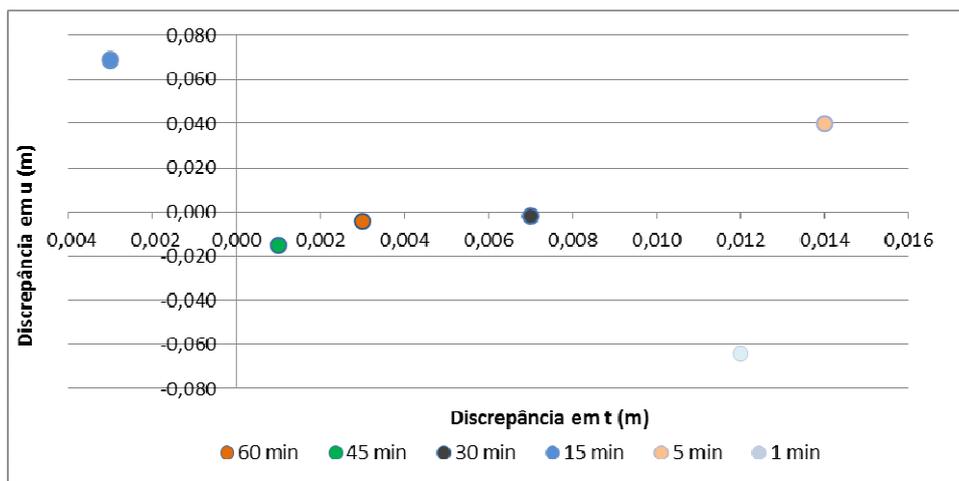


Figura 28 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 4 em diferentes períodos de rastreamento

Tabela 14 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 5

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1137,612	947,279	1137,617	947,284	-0,005	-0,005	0,007
5	1137,612	947,279	1137,620	947,289	-0,008	-0,010	0,013
15	1137,612	947,279	1137,610	947,276	0,002	0,003	0,004
30	1137,612	947,279	1137,605	947,326	0,007	-0,047	0,047
45	1137,612	947,279	1137,611	947,271	0,001	0,008	0,008
60	1137,612	947,279	1137,611	947,279	0,001	0,000	0,001
Média *	---	---	---	---	0,000	-0,008	0,013
σ *	---	---	---	---	0,005	0,020	0,017

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

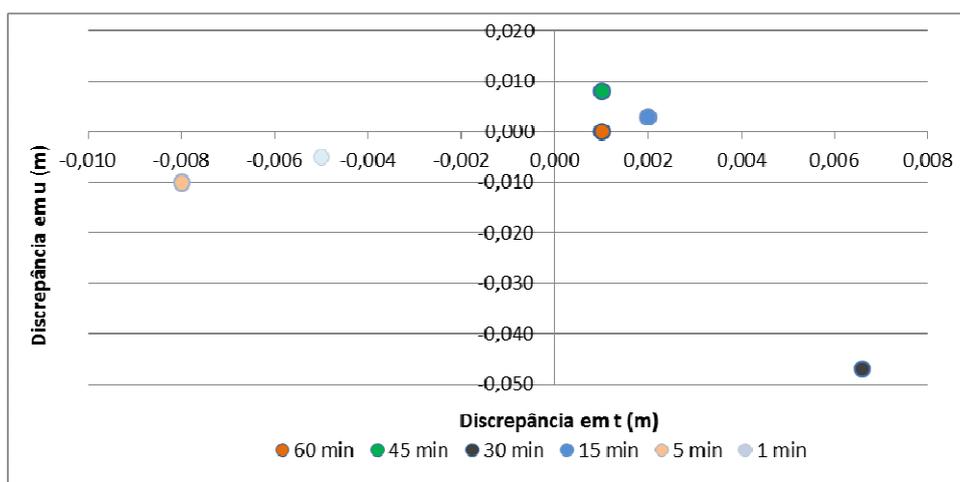


Figura 29 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 5 em diferentes períodos de rastreo

Tabela 15 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 6

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1139,692	942,740	1139,690	942,739	0,002	0,001	0,002
5	1139,692	942,740	1139,655	942,708	0,037	0,032	0,049
15	1139,692	942,740	1139,687	942,749	0,005	-0,009	0,010
30	1139,692	942,740	1139,685	942,730	0,007	0,010	0,012
45	1139,692	942,740	1139,693	942,744	-0,001	-0,004	0,004
60	1139,692	942,740	1139,690	942,738	0,002	0,002	0,003
Média *	---	---	---	---	0,009	0,005	0,013
σ *	---	---	---	---	0,014	0,015	0,018

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

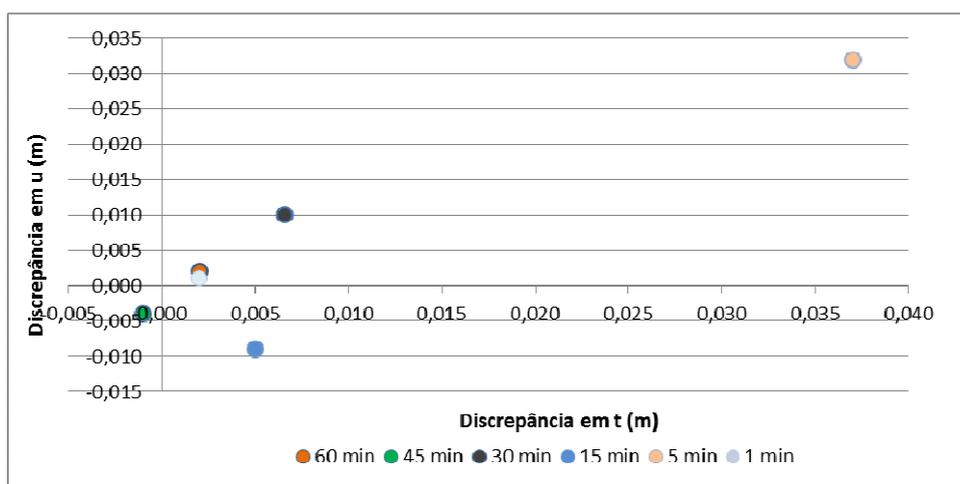


Figura 30 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 6 em diferentes períodos de rastreamento

Tabela 16 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto 7

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1141,790	938,177	1141,791	938,189	-0,001	-0,012	0,012
5	1141,790	938,177	1141,854	938,239	-0,064	-0,062	0,089
15	1141,790	938,177	1141,787	938,184	0,003	-0,007	0,008
30	1141,790	938,177	1141,789	938,183	0,001	-0,006	0,006
45	1141,790	938,177	1141,774	938,199	0,016	-0,022	0,027
60	1141,790	938,177	1141,789	938,179	0,001	-0,002	0,002
Média *	---	---	---	---	-0,007	-0,018	0,024
σ *	---	---	---	---	0,028	0,022	0,033

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

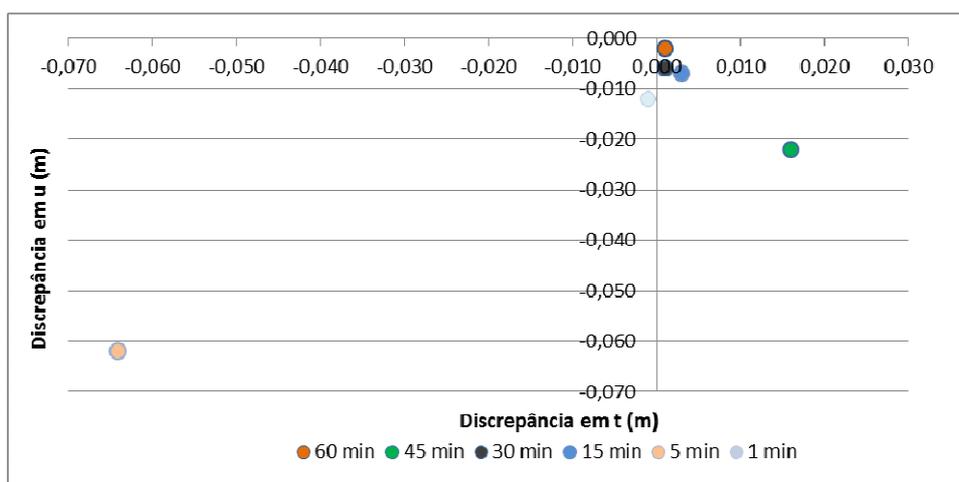


Figura 31 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 7 em diferentes períodos de rastreamento

Tabela 17 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 8

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1143,860	933,647	1143,838	933,623	0,022	0,024	0,033
5	1143,860	933,647	1143,866	933,650	-0,006	-0,003	0,007
15	1143,860	933,647	1143,841	933,617	0,019	0,030	0,036
30	1143,860	933,647	1143,858	933,649	0,002	-0,002	0,003
45	1143,860	933,647	1143,861	933,644	-0,001	0,003	0,003
60	1143,860	933,647	1143,862	933,654	-0,002	-0,007	0,007
Média *	---	---	---	---	0,006	0,008	0,015
σ *	---	---	---	---	0,012	0,016	0,015

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

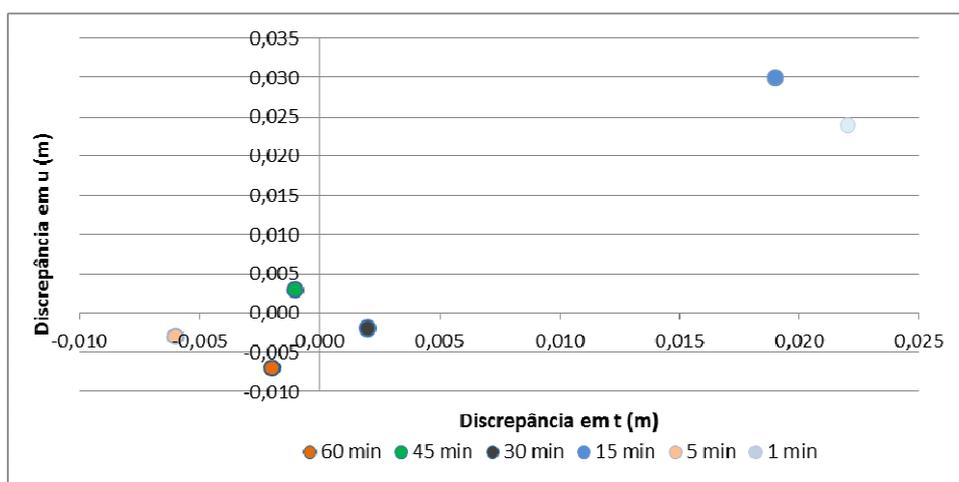


Figura 32 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 8 em diferentes períodos de rastreo

Tabela 18 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 9

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1145,946	929,102	1145,942	929,117	0,004	-0,015	0,016
5	1145,946	929,102	1145,995	929,080	-0,049	0,022	0,054
15	1145,946	929,102	1145,933	929,088	0,013	0,014	0,019
30	1145,946	929,102	1145,929	929,070	0,017	0,032	0,036
45	1145,946	929,102	1145,948	929,098	-0,002	0,004	0,004
60	1145,946	929,102	1145,946	929,105	0,000	-0,003	0,003
Média *	---	---	---	---	-0,003	0,009	0,022
σ *	---	---	---	---	0,024	0,017	0,020

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

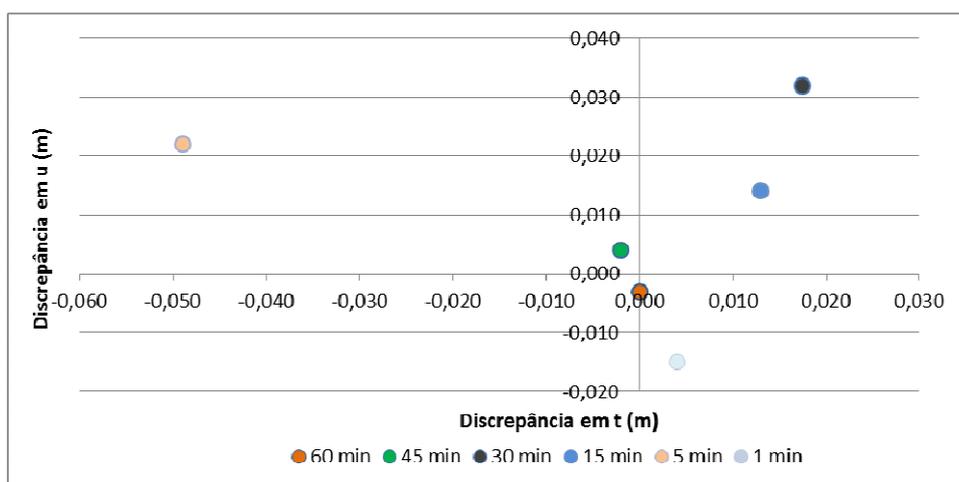


Figura 33 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 9 em diferentes períodos de rastreo

Tabela 19 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 10

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1148,032	924,553	1147,968	924,453	0,064	0,100	0,119
5	1148,032	924,553	1148,026	924,554	0,006	-0,001	0,006
15	1148,032	924,553	1148,024	924,527	0,008	0,026	0,027
30	1148,032	924,553	1148,025	924,569	0,007	-0,016	0,017
45	1148,032	924,553	1148,032	924,578	0,000	-0,025	0,025
60	1148,032	924,553	1148,023	924,556	0,009	-0,003	0,009
Média *	---	---	---	---	0,016	0,014	0,034
σ *	---	---	---	---	0,024	0,046	0,042

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

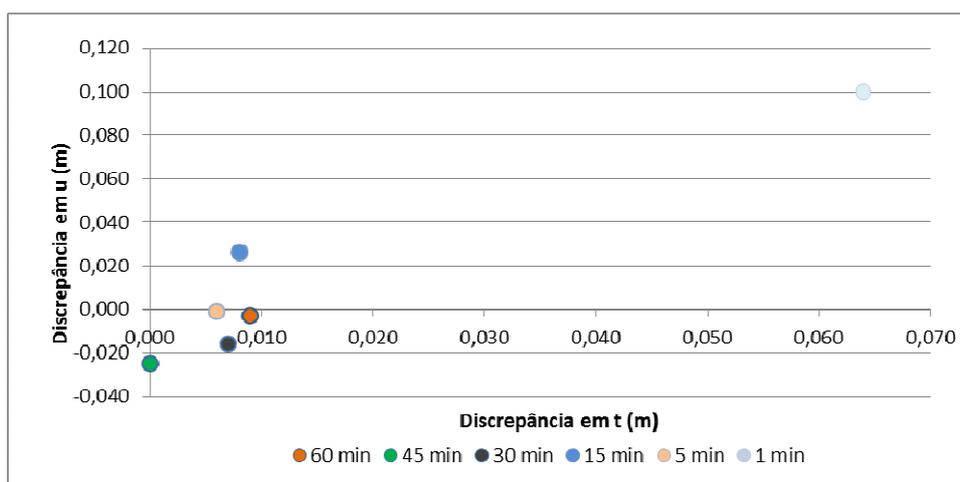


Figura 34 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 10 em diferentes períodos de rastreo

Tabela 20 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para o ponto 11

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1150,117	920,002	1150,118	920,026	-0,001	-0,024	0,024
5	1150,117	920,002	1150,123	919,989	-0,006	0,013	0,014
15	1150,117	920,002	1150,111	920,004	0,006	-0,002	0,006
30	1150,117	920,002	1150,116	920,005	0,001	-0,003	0,003
45	1150,117	920,002	1150,119	920,004	-0,002	-0,002	0,003
60	1150,117	920,002	1150,118	920,011	-0,001	-0,009	0,009
Média *	---	---	---	---	-0,001	-0,005	0,010
σ *	---	---	---	---	0,004	0,012	0,008

* as médias e desvios padrões foram calculados com os valores das discrepâncias

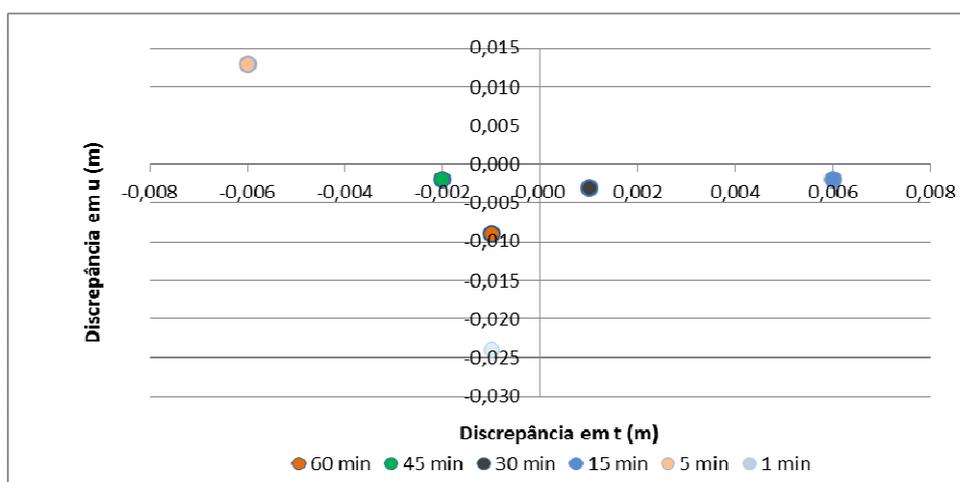


Figura 35 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 11 em diferentes períodos de rastreo

Sabe-se que a precisão horizontal do receptor GNSS portadora L1/L2 utilizado, consiste em um desvio-padrão linear de 3 mm + 0,5 ppm. Logo para os 11 pontos avaliados o erro linear admitido em um nível de confiança de 68,27% é de 6,84 mm e para um nível de confiança de 95% seria de 17,10 mm. Já para a estação total, na qual o desvio-padrão linear é de 2 mm + 2 ppm, os erros lineares admitidos e, que poderão ocorrer nos pontos sob a rede, estão apresentados na tabela 21 para um nível de confiança de 68,27% e 95%.

Tabela 21 - Apresentação das distâncias horizontais das irradiações e dos erros lineares admitidos conforme a precisão nominal do equipamento topográfico

Ponto	Distância horizontal (m)	Erro linear (mm)	
		Confiança 68,27 %	Confiança 95 %
1	34,074	2,07	5,17
2	37,693	2,07	5,17
3	41,604	2,08	5,20
4	45,720	2,09	5,22
5	50,012	2,10	5,25
6	54,408	2,11	5,27
7	58,910	2,12	5,30
8	63,486	2,13	5,32
9	68,122	2,14	5,35
10	72,803	2,15	5,37
11	77,535	2,15	5,37

Preliminarmente, comparando as discrepâncias mostradas nas tabelas de 10 a 20 com os desvios admitidos para a estação total (descritos na tabela 21) e ainda com a precisão horizontal do receptor GNSS portadora L1/L2, apresentada no parágrafo anterior é possível estabelecer a tabela 22. Essa tabela apresenta a quantidade e a percentagem das discrepâncias que atendem aos níveis de confiança de 68,27 % e de 95% para os seis tempos de rastreo empregados.

Tabela 22 – Distribuição numérica e percentagem das discrepâncias Δtu sob diferentes sessões de rastreo classificadas aos níveis de confiança 68,75% e 95%

Sessões de rastreo (min)	Nível de confiança			
	$\alpha= 68,75\%$		$\alpha= 95\%$	
	n*	%	n*	%
1	3	27,27	7	63,63
5	4	36,36	7	63,63
15	2	18,18	7	63,63
30	6	54,54	9	81,81
45	6	54,54	9	81,81
60	7	63,63	11	100,00

* quantidades de discrepâncias dentro do nível de confiança

A partir daí é possível constatar que: i) das 66 discrepâncias ($\Delta tu = 11 \times 6$) 28 delas atendem a um nível de confiança de 68,27%, 50 atendem a um nível de confiança de 95% e as 16 restantes apresentam discrepâncias superiores ao nível de confiança de 99,99%; ii) 75% desses últimos são resultados obtidos com tempo de rastreo igual ou inferior a 15 minutos; iii) nenhum ponto com tempo de rastreo igual a 60 minutos apresentou nível de confiança inferior a 95% (63,63% deles atendem ao nível de confiança de 68,27%) e iv) as discrepâncias possuem comportamento aleatório e independem da posição do ponto em relação ao eixo longitudinal da rede. Assim sendo, observou-se que a rede elétrica não influencia significativamente a exatidão das coordenadas dos pontos situados sob ela.

Para verificar se a magnitude das discrepâncias apresentadas também ocorrem fora da influência da rede, calcularam-se as discrepâncias dos marcos de apoio M02, M03 e M04, que como se sabe estão situados a uma distância de $\pm 131,22$ m da rede. Nas tabelas 23 a 25 apresentam-se as coordenadas dos marcos de apoio (t e u) e suas discrepâncias para os mesmos tempos de rastreo.

Observa-se, nas referidas tabelas, que as discrepâncias nelas apresentadas têm comportamento semelhante às obtidas nos pontos sob a rede, tanto no que se referem às suas magnitudes e a aleatoriedade. Essa constatação reforça a afirmação de que não existe influência significativa da rede de alta tensão. Assim, novamente, tem-se a concordância com os resultados obtidos nos trabalhos de Alsalman (2001, p. 60) e Silva & Olsen (2002, p. 943 e 944) em que não se verificou erros de posicionamento pelos receptores GNSS sob linhas elétricas.

Tabela 23 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto M02

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1072,734	1060,156	1072,733	1060,133	0,000	0,023	0,023
5	1072,734	1060,156	1072,780	1060,068	-0,046	0,088	0,099
15	1072,734	1060,156	1072,739	1060,146	-0,005	0,010	0,011
30	1072,734	1060,156	1072,736	1060,151	-0,003	0,005	0,005
45	1072,734	1060,156	1072,733	1060,158	0,000	-0,002	0,002
60	1072,734	1060,156	1072,736	1060,153	-0,002	0,003	0,004
Média					-0,009	0,021	0,024
σ					0,018	0,034	0,038

Tabela 24 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto M03

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1208,819	822,027	1208,820	822,030	-0,001	-0,002	0,002
5	1208,819	822,027	1208,818	822,027	0,001	0,001	0,001
15	1208,819	822,027	1208,724	822,051	0,095	-0,024	0,098
30	1208,819	822,027	1208,819	822,027	0,001	0,001	0,001
45	1208,819	822,027	1208,818	822,030	0,001	-0,002	0,003
60	1208,819	822,027	1208,818	822,021	0,001	0,006	0,006
Média					0,016	-0,004	0,019
σ					0,039	0,010	0,039

Tabela 25 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para o ponto M04

Sessão (min)	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1118,168	777,277	1118,168	777,264	0,000	0,014	0,014
5	1118,168	777,277	1118,169	777,269	-0,001	0,008	0,008
15	1118,168	777,277	1118,166	777,283	0,002	-0,005	0,006
30	1118,168	777,277	1118,169	777,280	-0,001	-0,002	0,002
45	1118,168	777,277	1118,165	777,279	0,003	-0,001	0,003
60	1118,168	777,277	1118,168	777,277	0,000	0,000	0,000
Média					0,001	0,002	0,006
σ					0,002	0,007	0,005

4.4. Tratamento estatístico dos resultados nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS portadora L1/L2

Para obter uma avaliação adimensional referente ao grau de associação entre as variáveis envolvidas, foi empregado o coeficiente de correlação de Pearson (r) para as coordenadas t e u entre as diferentes sessões de rastreamento. Nessa análise o r apresentou valor +1 para as coordenadas t e u para todas as sessões de rastreamento (1 min, 5 min, 15 min, 30 min, 45 min e 60 min) em todos os pontos. Isso significa que há uma perfeita correlação linear positiva entre as amostras.

Outra avaliação adimensional realizada refere-se ao grau de exatidão entre as variáveis envolvidas. Ela está relacionada aos valores estimados e observados através do índice de concordância (c) para as coordenadas t e u , entre as diferentes sessões de rastreamento. Neste cálculo o c apresentou valor +1 em todos os períodos de rastreamento para as coordenadas t e u . Isto significa que há uma mínima amplitude dos erros entre os dados propostos e os observados.

Para análise estatística de tendência que auxilia na verificação de ocorrência de erros sistemáticos nos resultados obtidos, foi aplicado o Teste t de Student. A fonte dos dados para a análise são a média e o desvio-padrão das discrepâncias

das coordenadas t e u , para cada uma das 6 sessões de rastreamento nos 11 pontos avaliados.

Tabela 26 - Média das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para os 11 pontos

Sessão de rastreamento (min)	Discrepâncias (m)	
	Δt	Δu
1	0,009	-0,001
5	-0,007	0,002
15	0,005	0,009
30	0,006	-0,005
45	0,002	-0,006
60	0,002	-0,004

Tabela 27 - Desvio-padrão das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreamento para os 11 pontos

Sessão de rastreamento (min)	Discrepâncias (m)	
	Δt	Δu
1	0,020	0,040
5	0,028	0,027
15	0,007	0,024
30	0,005	0,019
45	0,005	0,011
60	0,004	0,003

Com os dados das tabelas 26 e 27 realizou-se o Teste t de Student ao nível de significância ($\alpha/2$) com $\alpha= 10\%$ e com 11 amostras e 1 grau de liberdade. Caso o $|t_{\text{calculado}}|$ seja menor ou igual que t_{tabelado} , aceita-se a hipótese H_0 , ou seja, não há presença de tendência a erros sistemáticos. As tabelas 28 e 29 apresentam os resultados das análises estatísticas:

Tabela 28 – Resultado do Teste t de Student para as coordenadas topográficas t e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para os 11 pontos, ao nível de 90% de probabilidade

Sessões de rastreo (min)	t calculado	t tabelado	Rejeição/aceitação da hipótese H_0
1	1,494	1,812	Aceita
5	0,788	1,812	Aceita
15	2,204	1,812	Rejeita
30	3,780	1,812	Rejeita
45	1,364	1,812	Aceita
60	1,923	1,812	Rejeita

Tabela 29 – Resultado do Teste t de Student para as coordenadas topográficas u e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS portadora L1/L2 em diferentes sessões de rastreo para os 11 pontos, ao nível de 90% de probabilidade

Sessões de rastreo (min)	t calculado	t tabelado	Rejeição/aceitação da hipótese H_0
1	0,061	1,812	Aceita
5	0,236	1,812	Aceita
15	1,232	1,812	Aceita
30	0,805	1,812	Aceita
45	1,934	1,812	Rejeita
60	3,627	1,812	Rejeita

Como o que realmente interessa é saber se a resultante possui erro sistemático (tu) é possível concluir que só podem ser aceitas como isentas de tendência ao erro sistemático as observações feitas com um minuto e com cinco minutos de tempo de rastreo.

Como era de se esperar, a presença de tendências nos resultados é inerente ao sistema GNSS. Além disso, é possível inferir dos resultados dos testes que, quanto menor o tempo de rastreo, menor é o número de amostras e maior é a dispersão dos valores em torno da coordenada do ponto tomada como verdadeira. Assim, as discrepâncias provenientes dos erros aleatórios são maiores do que as produzidas pelos erros sistemáticos, o que acarreta uma “camuflagem” dos mesmos.

Já, quando do emprego de um tempo maior de rastreamento, tem-se erros aleatórios pequenos o que permite a constatação de tendências produzidas pelos erros sistemáticos.

Assim, analisando os resultados estatísticos obtidos, descritos anteriormente, verifica-se que não ocorrem erros sistemáticos significativos, superiores aos inerentes ao sistema GNSS, devido ao multicaminhamento dos sinais GNSS e a influência eletromagnética sob redes elétricas de alta tensão (69 kV).

4.5. Cálculo dos erros de posicionamento nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS código C/A

Para as coordenadas mensuradas com o receptor GNSS código C/A, os dados do levantamento topográfico e geodésico estão apresentados na tabela 30 e na figura 36. Também foram calculadas as discrepâncias nas coordenadas, as médias aritméticas e os desvios-padrão.

Baseando-se na precisão horizontal do receptor, que é estabelecida pelo DoD em 15 metros, a um nível de confiança de 95%, quando do emprego de método absoluto a partir do código C/A, verificou-se que todas as discrepâncias calculadas ficaram abaixo da precisão nominal admitida pelo equipamento. Esses resultados demonstram, também neste caso, a não existência de influência significativa da rede de alta tensão. Além disso, à comparação das observações geodésicas com as observações topográficas, revelou que as discrepâncias apresentadas mostram a presença característica de erros sistemáticos que são inerentes ao sistema quando se opera em código C/A.

Tabela 30 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao STL do receptor GNSS código C/A

Ponto	Levantamento Topográfico		Levantamento geodésico		Discrepâncias		
	t (m)	u (m)	t (m)	u (m)	Δt (m)	Δu (m)	Δtu (m)
1	1129,274	965,458	1131,220	961,491	-1,946	3,967	4,419
2	1131,353	960,897	1133,235	956,872	-1,882	4,025	4,443
3	1133,444	956,373	1135,922	952,253	-2,478	4,120	4,808
4	1135,525	951,831	1137,938	947,634	-2,413	4,197	4,841
5	1137,612	947,279	1139,953	943,015	-2,341	4,264	4,864
6	1139,692	942,740	1141,297	938,396	-1,604	4,344	4,631
7	1141,790	938,177	1143,312	933,008	-1,522	5,169	5,388
8	1143,860	933,647	1145,999	929,159	-2,139	4,489	4,972
9	1145,946	929,102	1148,687	925,310	-2,740	3,792	4,679
10	1148,032	924,553	1150,702	919,921	-2,670	4,632	5,346
11	1150,117	920,002	1152,046	916,072	-1,929	3,930	4,377
Média	---	---	---	---	-2,151	4,266	4,797
σ	---	---	---	---	0,411	0,389	0,343

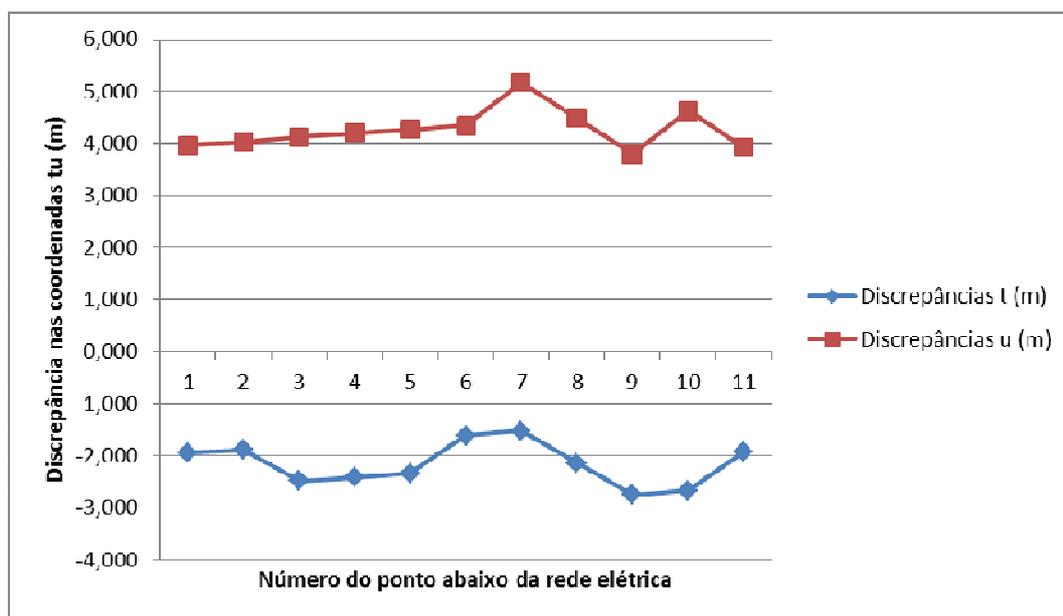


Figura 36 - Discrepância entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas, a partir do receptor GNSS código C/A

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com a metodologia empregada e os resultados obtidos, as principais conclusões são:

- i) A metodologia empregada permite a verificação da influência do efeito corona, gerado em redes elétricas de alta tensão, na exatidão das coordenadas planimétricas de pontos situados sobre elas, quando obtidas tanto com receptor GNSS de código C/A como com receptor GNSS portadora L1/L2
- ii) Quando do emprego da metodologia e, para os equipamentos usados, não se detecta influência significativa na exatidão das coordenadas desses pontos devido ao efeito corona ou de qualquer efeito eletromagnético gerados em redes elétricas de alta tensão de 69 kV, quando se considera as características do equipamento e a sua precisão nominal fornecidas pelo fabricante.
- iii) O aumento do tempo da sessão de rastreamento para o receptor GNSS portadora L1/L2, neste caso, não mostra um comportamento coerente com o sugerido e esperado de melhoria da precisão do posicionamento planimétrico, o que recomenda sempre uma análise do RMS das observações.

Em função dos resultados obtidos, se recomenda:

- i) Repetir o experimento com receptores GNSS portadora L1, com modelos de outros fabricantes e no modo RTK ;
- ii) Realizar o experimento sob redes elétricas com tensões superiores a 69 kV e nas proximidades de subestações;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSALMAN, A. S. A.; **Effects of electric power lines on the accuracy of GPS positioning**. Survey Review, 2001.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258p.

ÂNGULO FILHO, R.. **Avaliação da exatidão de posicionamento planimétrico de um receptor GPS operando sob diferentes condições de cobertura vegetal**. 2001. 60p. Tese – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994. 5p.

COSTA NETO, PEDRO LUIZ DE OLIVEIRA. **Estatística**. 3ª edição, São Paulo: Editora Blücher, 2002, 266 p.

DALFORNO, G.; SAMPAIO, M.; AGUIRRE, A.; HILLEBRAND, F. L. **Levantamento planialtimétrico no plano topográfico local: estudo comparativo dos resultados obtidos a partir de métodos geodésicos e topográficos**. GAEA, São Leopoldo: Ed.UNISINOS, 2009.

Department of Transportation of State New Jersey, **Survey Manual: Chapter 4 – GPS Surveys**, Disponível em: <<http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/survey/Chapter4.shtm>>, State of New Jersey, 2002-2012. Acesso em: 07 de junho de 2012.

ELGERD, OLLE INGEMAR. **Electric energy systems theory: an introduction**. New York: Mcgraw-Hill, 1975, 564 p.

GALO, M; DAL POZ, A. P; FERREIRA, F.M. **Uso de feições no controle de qualidade em cartografia**. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre, RS, 2001, p 7-12.

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. DE. **Geodésia celeste**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. 389 p.

GPS Questions and Answers. Earth Observation Magazine. Outubro de 1995. 4(10): 55. Disponível em: <http://www.eomonline.com/Common/Archives/1995oct/95oct_gps.html>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.

HOFMANN-WELLENHOF, B. **Global positioning system: theory and practice.** New York: Springer-Verlag Wien, 2001, 382 p.

HUERTA, E.; MANGIATERRA, A.; NOGUERA, G. **GPS: posicionamiento satelital.** 1 ed., Rosário: UNR Editora – Universidad Nacional de Rosario, 2005.

HUERTAS, J. I.; BARRAZA, R., ECHEVERRY J. M. **Wireless Data Transmission from Inside Electromagnetic Fields.** Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 44 (2), Fevereiro de 2010, p. 88 – 97. International Microwave Power Institute. Toluca, México. Disponível em: <[http://www.jmpee.org/jmpee_site/Vol_44\(2\)/JMPEE44-2-88Huertas.pdf](http://www.jmpee.org/jmpee_site/Vol_44(2)/JMPEE44-2-88Huertas.pdf)>. Acesso em: 02 de março de 2012.

HYDRO, M. **DC Lines and Electronic Devices.** Bipole III Transmission Project: A Major Reliability Improvement Initiative. 2010. Disponível em: <http://www.hydro.mb.ca/projects/bipoleIII/dc_lines_electronic_devices.pdf>. Acesso em: 05 de dezembro de 2011.

INDULKAR, C. S. **Sensitivity Analysis of Corona and Radio Noise in EHV Transmission Lines.** India: s. n., 2004, Vol. 84.

LEE, I. S.; GE, L. **The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions.** Earth Planets Space, Vol. 58, 515–522, 2006. Disponível em: <<http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lee&ge2006.pdf>>. Acesso em: 01 de março de 2012.

LEICK, A. **GPS Satellite surveying.** 2 ed. New York: J. Wiley, 1995.

MCCORMAC, J. **Topografia.** 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2007, 391 p.

MONICO, JOÃO FRANCISCO GALERA. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações.** 2. ed., São Paulo: Ed. UNESP, 2008.

RAPP, R. H. **Combination of satellite altimetric and terrestrial gravity data. Theory of satellite geodesy and gravity field determinations.** Berlin: Springer – Verlag, 1989, p. 261-284.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora Ed. do Autor, 2000, 220 p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy** 2 ed. New York: Walter de Gruyter, 2003, 589 p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy.** Berlin: de Gruyter, 1993.

SILVA, J. M.; OLSEN, R. G. **Use of Global Positioning System (GPS) Receivers Under Power-Line Conductors.** IEEE Transactions on Power Delivery. Nº 4. October 2002. V. 17 P. 938 – 944. Disponível em: < <http://www.mendeley.com/research/global-positioning-system-gps-receivers-under-powerline-conductors/> >. Acesso em 20 de dezembro de 2011.

SKILLING, HUGH HILDRETH. **Fundamentals of electric waves.** 2 ed., London: John Wiley, 1948, 245 p.

SMITH, J. R. **Introduction to geodesy: the history and concepts of modern geodesy.** New York: John Wiley & Sons, 1997, 224 p.

SOARES, SALOMÃO; BERRÊDO, ROBERTO COELHO DE; ATAÍDE, AGNALDO MORAIS; FERREIRA, IGOR LACERDA. **Avaliação de mapas urbanos produzidos a partir de imagens orbitais de alta resolução.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, 2007, INPE, p. 679-685.

SOUSA, CARLOS R. M. DE. **GPS: Uma análise do sistema e de potenciais fontes de interferência.** 2005. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

TORGE, W. **Geodesy.** 3 ed., Berlin: Walter de Gruyter, 2001, 416 p.

TSUI, J. B. Y. **Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach,** 2 ed., New Jersey: Wiley-Interscience, 2005, 352 p.

VELDUIZEN, E. M. V.; RUTGERS, W. R. E. **Corona discharges: fundamentals and diagnostics.** s. n., 2000.

VERONEZ, MAURÍCIO ROBERTO; SÁ, LUCILENE A. C. MARQUES DE; SILVA, IRINEU DA. **O ajustamento de poligonais topográficas pelo método dos mínimos quadrados – resumo**. XVIII Congresso de Cartografia, Rio de Janeiro, RJ, 1997.

WAN, AZIZ; IBRAHIM, FATAH. **Assessing the Performance of MyRTKnet: Observations beneath High Voltage Power Lines**. Department of Geomatic Engineering, Faculty of Geoinformation Science & Engineering, University Technology Malaysia, Malaysia, 2010. Disponível em: <http://mapasia.org/2010/proceeding/pdf/PN-109_d.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2011.

WELLS, D. et al. **Guide to GPS Positioning**. Fredericton: Canadian GPS Associates, 1986.

WILLMONT, C. J.: On the validation of models. **Physical Geography**. V. 2, N. 2, p. 184 – 194, 1981.

ZAS, LUIS ROBERTO TELECHEA. **Comparação de procedimentos para integração de levantamentos topográficos e levantamentos com GPS**. 2009. 80p. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.