

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

**USO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL NA
CARACTERIZAÇÃO PLANIALTIMÉTRICA PARA PROJETOS DE
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP

Junho - 2003

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

**USO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL NA
CARACTERIZAÇÃO PLANIALTIMÉTRICA PARA PROJETOS DE
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP

Junho - 2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R696u Rodrigues, Vilmar Antonio, 1960-
 Uso do sistema de posicionamento global na caracterização planialométrica para projetos de irrigação e drenagem / Vilmar Antonio Rodrigues. -- Botucatu, [s.n.], 2003. xvii, 95 f. il.; tabs.

 Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas.
 Orientador: Lincoln Gehring Cardoso.
 Inclui bibliografia.

 1. Sistema de Posicionamento Global 2. Satélites artificiais em agrimensura 3. Agrimensura 4. Levantamentos topográficos I. Cardoso, Lincoln Gehring II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas III. Título.

Palavras-chave: GPS

A Deus, pela graça recebida de poder alcançar tão almejada realização.

Aos meus pais, Valtair (in memoriam) e Ida, razão de vida, carinho e sábios ensinamentos no decorrer de minha existência.

Aos meus irmãos

Valtair, Vander e Virlei, pela amizade sincera.

À minha esposa Letícia e a nossa filha Thaís, pelo amor, compreensão, dedicação e estímulo para a conclusão deste trabalho,

dedico.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu orientador *Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso* pela incansável dedicação, orientação e sugestões na elaboração deste trabalho e prontidão em atender minhas solicitações durante meus estudos, pela amizade adquirida durante estes anos de convivência,

MINHAS GRATIDÃO.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP/Campus de Botucatu, por conceder-me a oportunidade de realizar o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

A *Prof. Dra. Sheila Zambelo de Pinho*, Departamento de Estatística – IB/Botucatu (SP) pela orientação na análise estatística dos dados.

Ao *Prof. Dr. Herman Jacobus Cornelis Voorwald*, assessor chefe da APLO, pelo apoio e incentivo.

Aos amigos do APLO/GOE pelo apoio, compreensão e incentivo.

Ao amigo *Wilson Aparecido Zadra* pela ajuda incansável nos trabalhos de campo.

Ao amigo *Elias de Carvalho Silveira* pela ajuda na diagramação.

Agradeço ainda, a todos que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho.

SUMARIO

LISTA DE FIGURA.....	VII
LISTA DE QUADRO.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO	4
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
4.1. Topografia: História e Evolução	5
4.1.1. Topometria	6
4.1.1.1. Planimetria.....	7
4.1.2. Goniometria.....	7
4.1.2.1 Taqueometria.....	7
4.2. Geodésia	8
4.2.1. Geodésia Superior.....	8
4.2.2. Geodésia Elementar.....	8
4.2.3. Geóide ou Superfície de Referência.....	9
4.2.4. Datun	10
4.2.5. Elipsóide	13
4.2.5.1. Coordenadas Geodésicas ou Elipsóidicas.....	14
4.3. Levantamento Topográfico	17
4.3.1. Ângulos.....	18

4.3.1.1. Ângulo Horizontal.....	18
4.3.1.2. Ângulo Vertical.....	18
4.3.1.3. Ângulo Zenital.....	18
4.3.1.4. Ângulo Nadiral.....	18
4.3.2. Distância.....	19
4.3.2.1. Distância Inclinada e Distância Horizontal.....	19
4.3.2.2. Distância Esférica.....	19
4.3.2.3. Distância Plana.....	20
4.4. Instrumentos de Medições das Operações Topográficas	21
4.4.1. Teodolito	21
4.4.2. Distanciômetro	23
4.4.3. Estação Total	26
4.4.3.1. Princípios de Funcionamento.....	26
4.4.3.2. Sensor Eletrônico de Inclinação.....	29
4.4.4. Sistema de Posicionamento Global – GPS	30
4.4.4.1. História e Desenvolvimento do GPS.....	30
4.4.4.2. Princípio Básico do GPS.....	31
4.4.4.3. Aplicações do GPS.....	32
4.4.4.4. Constelação de Satélites.....	33
4.4.4.5. Sinais dos Satélites.....	35
4.4.4.6. Segmentos do Sistema GPS.....	41
4.4.4.7. Métodos de Levantamento.....	42
4.4.4.7.1. Método Estático.....	42
4.4.4.7.2. Método Cinemático.....	42
4.4.4.7.3. Método Cinemático “Stop-and-Go”(Semi-cinemático).....	43
4.4.4.8. Principais Fontes de Erros.....	43
4.4.4.9. GPS e Levantamentos Topográficos.....	48
4.4.4.10. GPS e a Altitude.....	49
5. OBJETIVOS	51

6. MATERIAL E MÉTODOS	52
6.1. Material	52
6.1.1. Estação Total.....	52
6.1.2. Equipamentos GPS.....	52
6.1.3. Marco.....	52
6.2. Métodos.....	53
6.2.1. Levantamento dos Pontos e Construção das Poligonais	53
6.2.2. Levantamento Utilizando Receptores GPS	59
6.2.2.1. GPS Trimble® modelo 4600 LS.....	59
6.2.2.2. GPS Trimble® modelo PRO XR.....	59
6.2.2.3. GPS Garmin® modelo 12 XL.....	60
6.2.3. Levantamento utilizando Estação Total	62
6.2.4. Determinação das Coordenadas	63
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
7.1. Levantamentos de Campo e Comparação Estatística para a Unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP.....	64
7.2. Levantamentos de Campo e Comparação Estatística para a Unidade de Jaboticabal/ UNESP.....	75
8. CONCLUSÃO	90
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Hipótese do Plano Topográfico de Projeção. As verticais verdadeiras dos pontos A, B e C são substituídas pelas verticais V_1 , V_2 e V_3 , perpendiculares ao plano que passa por HH_1 , e consideradas paralelas entre si, dentro da área a representar (Comastri, 1986). ..	6
2. Superfície Geoidal	9
3. Conceito de Vertical, normal e alturas	10
4. Coordenadas Geográficas	14
5. Coordenadas Geodésicas ou Elipsoídicas	15
6. Sistema Terrestre Convencional	16
7. Zona UTM do Brasil.	17
8. Direção do Zênite e Nadir.	18
9. Distância inclinada para obter a distancia horizontal.	19
10. Representação esquemática de um teodolito, com os elementos essenciais.	22
11. Determinação de distâncias usando MED por caminho duplo. Método da diferença de fase.	24
12. Princípio da técnica do contador de pulso (<i>Timed-pulse</i>) para medidor de distâncias (Schofield, 1993).	25
13. Esquema de um medidor digital de fase	25
14. Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase.	27
15. Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase (Nikon [®]).....	27
16. Sistema de leitura angular absoluto.	28
17. Sistema de leitura angular incremental usando interpolação matemática.	28
18. Detalhe do sensor de inclinação que permite a horizontalização automática (Kennie et al. 1993).	29
19. Configuração completa dos satélites (Gomes et al., 2001)	31
20. Princípio Básico do GPS (Moraes et al , 1998).	32
21. Configuração do sistema GPS (posição válida para o dia 17/02/98).	34
22. Espectro eletromagnético.	36
23. Modulação bifásica da onda portadora	38

24. Formato dos sinais de dados	40
25. Representação esquemática de um segmento do código PRN, gerado no satélite e no receptor	41
26. Lateração Plana	43
27. Corpo sólido gerado pelos Satélites e o receptor	44
28. Receptor (P) Representado pela intersecção das frentes de onda geradas pelos satélites GPS	45
29. Representação do VDOP com grande deformação vertical	45
30. Representação do HDOP com deformação horizontal	46
31. PDOP caso ideal	46
32. Situação desfavorável quanto à geometria dos satélites	47
33. Situação favorável quanto à geometria dos satélites	48
34. Marco em concreto.	53
35. Marco implantado nas poligonais.	54
36. Poligonal obtida com o equipamento Estação Total Nikon® DTM 300 para São Jose do Rio Preto (SP).....	55
37. Poligonal obtida com o equipamento Estação Total Nikon® DTM 300 para Jaboticabal (SP).	55
38. Vértice Geodésico da Rede GPS do Estado de São Paulo.	61
39. Representação da medida da altura do instrumento usando trena e pino graduado.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Hipótese do Plano Topográfico de Projeção. As verticais verdadeiras dos pontos A, B e C são substituídas pelas verticais V_1 , V_2 e V_3 , perpendiculares ao plano que passa por HH_1 , e consideradas paralelas entre si, dentro da área a representar (Comastri, 1986). ..	6
2. Superfície Geoidal	9
3. Conceito de Vertical, normal e alturas	10
4. Coordenadas Geográficas	14
5. Coordenadas Geodésicas ou Elipsoídicas	15
6. Sistema Terrestre Convencional	16
7. Zona UTM do Brasil.	17
8. Direção do Zênite e Nadir.	18
9. Distância inclinada para obter a distancia horizontal.	19
10. Representação esquemática de um teodolito, com os elementos essenciais.	22
11. Determinação de distâncias usando MED por caminho duplo. Método da diferença de fase.	24
12. Princípio da técnica do contador de pulso (<i>Timed-pulse</i>) para medidor de distâncias (Schofield, 1993).	25
13. Esquema de um medidor digital de fase	25
14. Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase.	27
15. Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase (Nikon [®]).....	27
16. Sistema de leitura angular absoluto.	28
17. Sistema de leitura angular incremental usando interpolação matemática.	28
18. Detalhe do sensor de inclinação que permite a horizontalização automática (Kennie et al. 1993).	29
19. Configuração completa dos satélites (Gomes et al., 2001)	31
20. Princípio Básico do GPS (Moraes et al , 1998).	32
21. Configuração do sistema GPS (posição válida para o dia 17/02/98).	34
22. Espectro eletromagnético.	36
23. Modulação bifásica da onda portadora	38

24. Formato dos sinais de dados	40
25. Representação esquemática de um segmento do código PRN, gerado no satélite e no receptor	41
26. Lateração Plana	43
27. Corpo sólido gerado pelos Satélites e o receptor	44
28. Receptor (P) Representado pela intersecção das frentes de onda geradas pelos satélites GPS	45
29. Representação do VDOP com grande deformação vertical	45
30. Representação do HDOP com deformação horizontal	46
31. PDOP caso ideal	46
32. Situação desfavorável quanto à geometria dos satélites	47
33. Situação favorável quanto à geometria dos satélites	48
34. Marco em concreto.	53
35. Marco implantado nas poligonais.	54
36. Poligonal obtida com o equipamento Estação Total Nikon® DTM 300 para São Jose do Rio Preto (SP).....	55
37. Poligonal obtida com o equipamento Estação Total Nikon® DTM 300 para Jaboticabal (SP).	55
38. Vértice Geodésico da Rede GPS do Estado de São Paulo.	61
39. Representação da medida da altura do instrumento usando trena e pino graduado.	63

LISTA DE QUADRO

Quadro	Página
1. Classificação de teodolitos	22
2. Classificação dos medidores eletrônicos (MED)	23
3. Classificação das Estações Totais.	26
4. Componentes dos sinais dos satélites	37
5. Principais características e diferenças entre os códigos	40
6. Vantagens e desvantagens do sistema GPS em relação aos métodos convencionais de levantamentos topográficos	49
7. Rede de referência cadastral municipal – Poligonais.	56
8. Erros de fechamento da poligonal realizado com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300 para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).	64
9. Comparativo das coordenadas para São Jose do Rio Preto (SP).	65
10. Valores dos ? entre Estação Total e GPSs de São Jose do Rio Preto/UNESP(SP).	65
11. Valores de áreas (m ²) obtidos com os diferentes equipamentos de GPS e o equipamento de Estação Total, para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).....	66
12. Comparativo dos azimutes para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).	66
13. Comparativo das distâncias para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).	67
14. Comparativo das altitudes relativas para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).	67
15. Comparativo dos ? altimétrico relativo, para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).	67
16. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste <i>t</i> (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).	68
17. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste <i>t</i> (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).	69

18. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativa Z entre o equipamento GPS Trimble[®] geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 69
19. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble[®] topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 70
20. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble[®] topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 71
21. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativa Z entre o equipamento GPS Trimble[®] topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 71
22. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Garmin[®] de navegação modelo 12 XS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 72
23. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Garmin[®] de navegação modelo 12 XS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 73
24. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Garmin[®] de navegação modelo 12 XS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). 73

25. Comparativo dos valores de t , das coordenadas X, Y e Z, obtidas através dos equipamentos de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e GPS Garmin® de navegação 12 XS em relação à Estação Total Nikon® modelo DTM 300, para a unidade de São Jose do Rio Preto.	74
26. Erros de fechamento das poligonais realizado com a Estação Total Nikon® DTM 300 para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).	75
27. Comparativo das coordenadas para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).	76
28. Valores dos σ entre Estação Total e GPSs de Jaboticabal/UNESP(SP).	77
29. Valores de áreas (m^2) obtidos com os diferentes equipamentos de GPS e o equipamento de Estação Total, para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP(SP).	78
30. Comparativo dos azimutes para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).	79
31. Comparativo das distâncias para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).	80
32. Comparativo das altitudes relativa para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).	81
33. Comparativo dos valores de σ altimétricos relativos para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).	82
34. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). .	83
35. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).	83
36. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).	84
37. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).	85

38. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). 85
39. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). 86
40. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). 87
41. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). 87
42. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). 88
43. Comparativo dos valores de t , das coordenadas X, Y e Z, obtidas através dos equipamentos de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e GPS Garmin® de navegação 12 XS em comparação com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300, para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). 89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C/A	Coarse or Clear/Aquisition-code
Código P	Código preciso ou protegido
Código Y	Código P encriptado, também denominado P(Y)
CIO	Convencional International Origin
CTP	Pólo Terrestre Convencional
CTS	Sistema Terrestre Convencional
CDMA	Code Division Multiple Access
DATUM	Sistema de Referência
DGH	DATUM-Geodésico Horizontal
EPUSP/PTR	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, do Departamento de Petrologia
FAPESP	Fundação de Auxílio a Pesquisa do Estado de São Paulo
GPS	Global Positioning System
HOW	Hand Over Word
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITRF90	International Terrestrial Reference Frame 1990
JPO	Joint Program Office
L1 e L2	Frequência da portadora
LED	Diodo Infra-Vermelho
MED	Medidor Eletrônico de Distância
NAVSTAR	NAVigation System using Time And Ranging
NSWC	Naval Surface Weapon Center
NBR 13.133	Norma Brasileira 13.133
P	Precision or Protect-mode
PPS	Precise Positioning Service
PDOP	Position Dilution of Precision
PRN	Pseudo-Random Noise – Código Pseudo-randômico
SAD-69	South American DATUM 1969

SF	Superfície Física
SPS	Standard Positioning Service
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Sinal A/S	Anti-spoofing - antifraude
Sinal S/A	Selective Availability – Disponibilidade seletiva
TLM	Telemetry Word
TSC	Trimble System Controller
UTM	Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator
VLBI	Very Large Baseline Interferometry
WGS	World Geodetic System
WGS-72	World Geodetic System de 1972
WGS-84	World Geodetic System de 1984

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Erro médio angular da rede de apoio
a	Semi-eixo maior do elipsóide
A_G	Azimute geodésico
b	Coefficiente de tolerância para o erro de medição angular
d	Coefficiente de tolerância para o erro de fechamento linear
e	Coefficiente de tolerância para o erro transversal
e_r	Erro médio Máximo aceitável em coordenadas
e_{rD}	Erro médio relativo máximo aceitavel
e_{AZ}	Erro médio Máximo aceitável em azimute
H_p	Altitude do ponto P
H_Q	Altitude do ponto Q
H	Altura ortométrica
h	Altura geométrica
i	Ângulo de desvio da vertical
L_m	Extensão da poligonal
N	Número de estações da poligonal
N	Número de vértices
N	Ondulação geoidal
n	normal
n	vertical
P	periodo
\vec{r}^i	Posição do i -ésimo satélite
R_O	Raio médio da esfera terrestre
\vec{R}_u	Posição do usuário
s	Distância horizontal
s'	Distância inclinada

S_P	Distancia esférica ao nível de P
S_Q	Distancia esférica ao nível de Q
S_O	Distancia esférica ao nível do mar
t	tempo
T_a	Tolerância angular
T_p	Tolerância linear após a compensação angular
v	vertical
X, Y	coordenadas
a	ângulo vertical
x	Componente meridiana
b	Ângulo de altura da direção
$\Delta x, \Delta y$	Coordenadas relativas ou projeção dos lados
Δa	Diferenças entre o ângulo observados
j, l	Diferenças de fase
j	fase
I_G	elipsóidica
f_G	Latitude geodésica ou elipsóidica
l	Comprimento de onda eletromagnética
l_o	Comprimento de onda do sinal no vácuo
l_o	Longitude do meridiano central
f	latitude
l	longitude
\vec{p}^i	Posição do usuário em relação ao i -ésimo satélite
f	Ângulo de fase
f	Latitude do ponto referente ao elipsóide
f_0	Latitude provisória
y	ângulo entre arco de eixo inclinado e vertical

$\frac{\partial f_m}{\partial x_1}$	Derivada da função em relação às variáveis
f_G, I_G	Coordenadas geodésicas
f_A	ângulo formado
I_A	Ângulo diedro

1 RESUMO

Os levantamentos planialtimétricos nas áreas de irrigação e drenagem ocupam posição fundamental, visto que todo projeto necessita de levantamento topográfico com exatidão compatível com as especificações estabelecidas pela NBR 13.333 de 1994. Nas últimas décadas, a área da mensuração sofreu várias modificações importantes. O avanço mais importante, entretanto, ocorreu com o aparecimento do sistema de medições por satélites – GPS, que revolucionou completamente a área de levantamentos topográficos e geodésicos.

O objetivo deste trabalho foi comparar a poligonal implantada duas unidades da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), através de três diferentes sistemas GPS, usando como testemunha a estação total e verificar se as distorções encontradas estão de acordo com as tolerâncias da NBR 13.133.

Na análise estatística, valores de t satisfatórios foram obtidos para todos os equipamentos de GPS ensaiados para as coordenadas X e Y, à exceção para a altitude relativa Z obtida através do equipamento de GPS Garmin[®] de navegação 12 XS. Do ponto de vista topográfico mostraram-se adequados para levantamentos topográficos os valores das

coordenadas X, Y e Z para o equipamento de GPS Trimble[®] geodésico 4600 LS e os valores das coordenadas X e Y do equipamento GPS Trimble[®] topográfico modelo PRO XR; entretanto os valores das coordenadas X, Y e Z obtidos para o equipamento de GPS Garmin[®] de navegação 12 XS mostraram-se inaceitáveis para este fim.

A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que o equipamento de GPS Trimble[®] geodésico 4600 LS apresentou performance de precisão aceitável comparado ao equipamento de Estação Total DTM 300, podendo ser utilizado em planimetria e altimetria das áreas permitindo assim a confecção de projetos de Irrigação, drenagem e de engenharia; o equipamento de GPS Trimble[®] topográfico modelo PRO XR apresentou apenas valores de coordenadas X e Y aceitáveis, comparados ao equipamento de Estação Total DTM 300, podendo ser utilizado na planimetria das áreas e na altimetria, para obter antiprojetos; o GPS Garmin[®] de navegação 12 XS apresentou valores inaceitáveis tanto para as coordenadas X e Y como para os valores de altitude relativa Z, comparados ao equipamento de Estação Total DTM 300, podendo ser utilizado apenas para elaboração de croqui de áreas.

2 SUMMARY

The risings plain altimetrics in the irrigation areas and drainage occupy fundamental position, because every project needs topographical rising with compatible accuracy with the established specifications for NBR 13.333 1994. In the last decades, the area of the to measure suffered several important modifications. The most important progress, however, it happened with the emergence of the system of measurements for satellites - GPS, that revolutionized the area of topographical and geodesic risings completely.

The objective of this work was to compare the implanted polygonal two units of the From São Paulo " State University Júlio of Mesquita Filho " (UNESP), through three different systems GPS, using as witness the total station and to verify the found distortions is in agreement with the tolerances of NBR 13.133.

In the statistical analysis, values of satisfactory t were obtained for all the equipments of GPS rehearsed for the coordinates X and Y, to the exception for the relative altitude Z obtained through the equipment of navigation GPS Garmin[®] 12 XS. Of the topographical point of view they were shown appropriate for topographical risings the values of the coordinates X, Y and Z for the equipment of GPS geodesic Trimble[®] 4600 LS and the values of the coordinates X and Y of the equipment GPS Trimble[®] topographical model FOR XR; however the values of the coordinates X, Y and Z obtained for the equipment of navigation GPS Garmin[®] 12 XS they were shown unacceptable for this end.

The analysis of the obtained results allowed to end that the equipment of GPS geodesic Trimble[®] 4600 LS presented performance of acceptable precision compared to the equipment of Total Station DTM 300, could be used in planimetric and altimetric of the areas allowing like this the making of projects of Irrigation, drainage and of engineering; the equipment of GPS Trimble[®] topographical model FOR XR just presented values of coordinated X and acceptable Y, compared to the equipment of Total Station DTM 300, could be used in the planimetric of the areas and in the altimetric, to obtain in the face of projects; navigation GPS Garmin[®] 12 XS presented unacceptable values so much for the coordinates X and Y as for the values of relative altitude Z, compared to the equipment of Total Station DTM 300, could just be used for elaboration of outline of areas.

3 INTRODUÇÃO

A necessidade de levantamentos planialtimétricos topográficos ou geodésicos, quer seja nas áreas de irrigação e drenagem, execução de barragens, sistemas de abastecimento de água e esgoto sanitário ou área civil, é fundamental tendo em vista que todo projeto necessita de uma planta topográfica.

Nas últimas décadas, a área da mensuração (topografia, geodésia, etc.) sofreu várias modificações importantes. Na topografia, os teodolitos mecânicos foram substituídos pelos teodolitos eletrônicos, surgiram os medidores eletrônicos de distância (distanciômetros), os quais recentemente foram incorporados aos teodolitos eletrônicos formando as Estações Totais (*Total Station*); os níveis mecânicos estão sendo substituídos pelos níveis digitais e níveis a "lazer". O avanço mais importante, entretanto, ocorreu com o aparecimento do sistema de medições por satélites – GPS, que revolucionou completamente a área de levantamentos. Paralelamente ao desenvolvimento de novos instrumentos, o aparecimento de programas aplicativos de topografia e geodésia, do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e da Modelagem Digital de Terreno, vem estabelecendo uma nova conduta na coleta, no tratamento dos dados e na apresentação dos resultados.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Topografia: História e Evolução

Topografia (do grego, *topos* = lugar; *graphein* = descrever) (Borges, 1977).

A história da topografia teve início com os egípcios que dividiam as glebas em triângulos e avaliavam a sua área, determinadas por meios de balizas e níveis d'água. No século XVI começam a aparecer os primeiros instrumentos de medidas, tal como o grafômetro - utilizado para medir ângulos no terreno e -, mais tarde, os níveis de bolha de ar, lunetas, etc.; no século XVIII começam a aparecer mapas com curvas de nível e, no século XIX surgiram então os primeiros aparelhos de grande precisão (Santiago, 1969).

Várias definições são citadas para topografia na literatura. Kissam (1978) define como “a arte de elaborar longas e precisas medições com um máximo de rigor e um mínimo dispêndio de tempo e esforço”; segundo Moffitt e Bouchard (1975), “é o processo de determinação da posição, na superfície da terra, das características naturais e artificiais de um determinado local e da configuração do terreno”; Tejero (1978), define como “o estudo dos métodos necessários para chegar a representar um terreno com todos os seus detalhes naturais

ou criados pela mão do homem, bem como o conhecimento e manejo dos instrumentos necessários para tal fim”.

Segundo Comastri (1999) a topografia consiste no conhecimento dos instrumentos e métodos que se destina a efetuar a representação do terreno sobre uma superfície plana denominada de plano topográfico. O plano topográfico é um plano horizontal tangente ao esferóide terrestre, num ponto que esteja situado dentro da área a ser levantada e, no qual se supõem projetados todos os acidentes estudados (Figura 1). A hipótese do plano topográfico exige certa restrição no que se refere à extensão da área a ser levantada (não deverá exceder a 25 Km), pois a suposição da forma da terra como um plano gera erros os quais poderão se tornar incompatíveis com os dados reais do objeto de estudo.

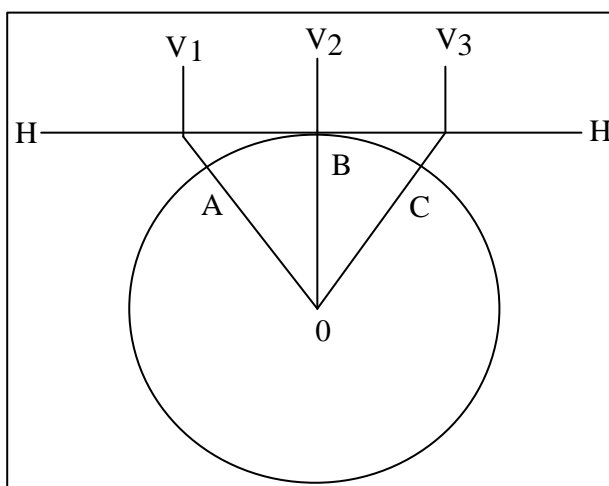


Figura 1. Hipótese do Plano Topográfico de Projeção. As verticais verdadeiras dos pontos A, B e C são substituídas pelas verticais V_1 , V_2 e V_3 , perpendiculares ao plano que passa por HH_1 , e consideradas paralelas entre si, dentro da área a representar (Comastri, 1999).

4.1.1. Topometria

Segundo Comastri, (1986) a topometria tem por objetivo o estudo e aplicação dos processos de medidas baseados na geometria aplicada, onde os elementos geométricos

(ângulos e distâncias) são obtidos por instrumentos topográficos tais como teodolitos, estações totais, níveis, etc. A topometria divide-se em planimetria e altimetria.

4.1.1.1. Planimetria

Segundo Borges, (1977) consiste em obter os ângulos e as distâncias horizontais para a determinação de projeções dos pontos do terreno para representação no plano topográfico. A planimetria atua no plano horizontal (plano topográfico) e não leva em consideração o relevo.

4.1.1.2 Altimetria

As medidas são efetuadas num plano vertical, onde se obtêm os ângulos horizontais e verticais, as distâncias horizontais e as diferenças de níveis; usa como representação a vista lateral, ou perfil, ou corte, ou elevação, sendo seus detalhes representados sobre um plano vertical (Borges, 1977).

Ainda segundo autor os trabalhos em altimetria aliados a planimetria resultam na plantas planialtimétricas, obtidas através de duas outras ciências, a goniologia - parte da topografia que trata dos ângulos - e, a taqueometria, que trata da medida indireta da distância horizontal e diferença de nível.

4.1.2. Goniometria

É a parte da topografia que trata dos ângulos (Cintra, 1993).

4.1.2.1 Taqueometria

Segundo Cintra (1993) os instrumentos de medida usados na taqueometria são denominados taqueômetros, dos quais podemos citar: o *trânsito*, nos quais a leitura dos ângulos vertical e horizontal é obtida através de limbos externos auxiliados por uma lupa e o

prumo se apresenta como um cordão; os *teodolitos*, nos quais a leitura dos ângulos é efetuada através de um sistema de prismas ou ainda, os teodolitos eletrônicos em que os ângulos são lidos em um visor de cristal líquido; e o prumo, podendo se apresentar como um cordão ou obtido através de sistema de primas (sistema ótico).

4.2 Geodésia

A geodésia consiste no estudo da forma, das dimensões e campo gravitacional da Terra. A geodésia, em seus trabalhos, leva em consideração a forma da terra, enquanto a topografia tem sua atuação restrita a pequenos trechos da superfície terrestre, considerando-se este trecho como sendo plano - Plano Topográfico.

Costuma-se ainda, distinguir a topografia da geodésia em função da extensão do levantamento: até 25 ou 30 quilômetros refere-se ao campo da topografia e, acima deste limite refere-se ao campo da geodésia, no qual se faz necessário considerar a curvatura da terra (Cintra, 1993).

Tendo em vista que a o fator curvatura da terra é considerado, a geodésia é dividida em geodésia superior e geodésia elementar.

4.2.1. Geodésia Superior

A geodésia superior estuda a forma e dimensões da terra, deslocamento dos continentes e monitoras falha geológica, utilizando-se de satélites, o que lhe permite a obtenção de medidas de alta precisão.

4.2.2. Geodésia Elementar

A geodésia elementar ou geodésia aplicada procura determinar com precisão a posição de pontos sobre a superfície terrestre, levando em consideração a sua forma, fornecendo para a topografia uma rede de pontos para apoiar seus levantamentos topográficos. Os vértices da rede geodésica podem ser de 1ª, 2ª e 3ª ordem (em função da precisão) e estão amarrados num ponto chamado de "Datun".

4.2.3. Geóide ou Superfície de Referência

Geóide ou superfície de referência é a forma da terra correspondente a superfície definida pelo nível médio dos mares prolongado através dos continentes, ou seja, a superfície equipotencial que coincide com o nível médio não perturbado dos mares (Figura 2).

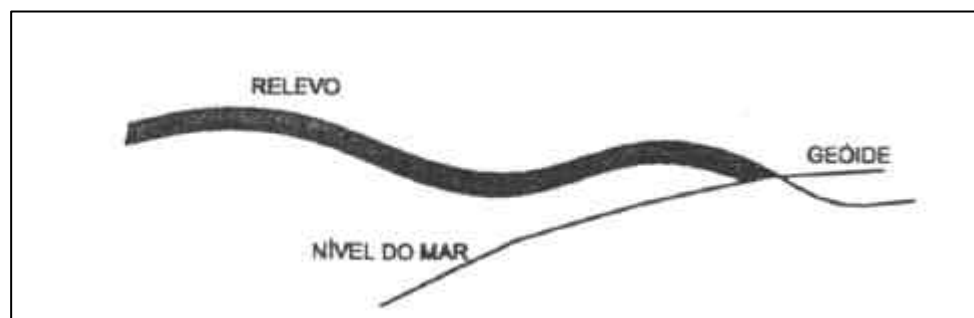


Figura 2. Superfície Geoidal.

Existem três superfícies que rotineiramente envolvem o geodesta ou quem necessite de posicionamento. A primeira delas é a “superfície física” (SF), limitante do relevo topográfico, e a segunda é chamada “superfície elipsoidal”, limitante de um elipsóide de revolução - figura matemática gerada pela rotação de uma elipse entorno do eixo menor; e finalmente, a “superfície geoidal”, conceitualmente mais complicada e que limita um corpo com uma dada distribuição de massa chamado Geóide.

Considere-se um ponto P sobre o Geóide. A reta que passa por P , perpendicular ao mesmo, define a direção de uma linha de força chamada vertical (v). A reta que passa por P , perpendicular ao elipsóide, define a direção de uma linha de força chamada normal (n). O ângulo que a vertical forma com o normal é chamado “deflexão da vertical” ou “ângulo de desvio da vertical” (i). Normalmente considera-se as componentes ângulo segundo dois planos perpendiculares: a componente meridiana (x) (plano da direção norte-sul) e a componente 1° vertical (h) (plano de direção leste-oeste). A separação entre a superfície física e a superfície geoidal tomada ao longo da vertical é chamada “altura ortométrica”, H . A altura ortométrica, H , é obtida de modo relativamente simples através da operação de nivelamento associado á gravimétrica. A separação entre as superfícies geoidal e elipsoidal ao

longo da normal é a “altura” ou “ondulação geoidal”, N (Figura 3). Seu cálculo foi objeto tradicionalmente da geodésia física e hoje pode ser feito também a partir da observação de satélites artificiais (Blitzkow *et al.*, 1996).

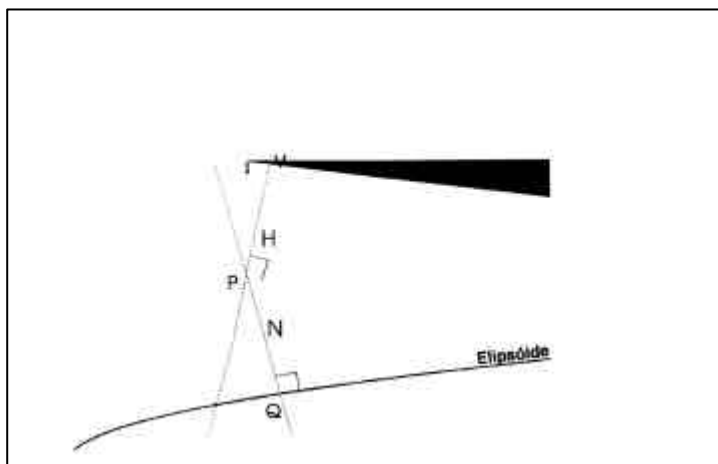


Figura 3. Conceito de vertical, normal e alturas.

4.2.4 Datum

Segundo Blitzkow. (1991) é o ponto de partida de uma rede geodésica. No Brasil o Datum está localizado em Chuá (próximo a Uberaba) no Estado de Minas Gerais.

Escolhida a superfície de referência para as coordenadas geodésicas tem-se o que é denominado “Datum Geodésico Horizontal” (DGH). Para que um sistema geodésico fique caracterizado é necessário fixar e orientar o elipsóide no espaço. A fixação é realizada mediante a escolha de um ponto origem e a atribuição, de alguma forma, de coordenadas geodésicas, Φ_G , I_G ao mesmo, bem como, de um valor para a altura geoidal N . A orientação é definida como azimute de uma direção inicial. Esta caracterização de um DGH conduz ao conceito denominado sistema geodésico. O conjunto de marcos assim estabelecidos leva ao conceito de sistema geodésico materializado. O que se deseja é uma perfeita coerência entre o sistema definido e o materializado; entretanto, os erros inerentes aos processos de medição não permitem geralmente uma completa identificação entre os mesmos.

Excetuando alguns sistemas locais usados no passado em caráter emergencial, o Brasil adotou durante muitos anos o Datum “Córrego Alegre”. Os elementos característicos deste DGH são:

$$\Phi_G = \Phi_A = 19^\circ 50' 15,14''\text{S}$$

$$I_G = I_A = 48^\circ 57' 42,75''\text{W}$$

$$A_G = 128^\circ 21' 48,96''$$

$$N = O$$

sendo, dotado como elipsóide o de Hayford cujos parâmetros são:

$$a = 6.378.388 \text{ m}$$

$$f = 1:297,00$$

e A_G o azimute geodésico da direção Córrego Alegre-Chapada das Areias.

A partir de 1979 a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através de seu Departamento de Geodésia decidiu por uma mudança. Adotou o sistema conhecido como SAD-69 (*South American Datum*, 1969), cuja origem é o vértice Chuá.

As características deste DGH são:

$$\Phi_G = 19^\circ 45' 41,6527''\text{S}$$

$$I_G = 48^\circ 06' 04,0639''\text{W}$$

$$A_G = 271^\circ 30' 04,05''\text{S}$$

$$N = O$$

sendo $x = 0,31''$ e $h = -3,52''$, tendo como elipsóide aquele do Sistema de Referência 1967 cujos parâmetros são:

$$a = 6.378.160 \text{ m}$$

$$f = 1:298,25$$

e sendo A_G o azimute da direção Chuá-Uberaba.

Isto tem implicado na existência de cartas referidas ao antigo sistema e cartas referidas ao novo, exigindo a devida atenção do usuário.

Até hoje não foi possível adotar um único DGH que fosse mundialmente aceito, o que seria desejável. Isto implicaria evidentemente em mudar toda a cartografia de cada País, o que seria certamente oneroso. Entretanto, em alguns casos específicos, não há como fugir de num referencial comum. As informações e elementos transmitidos pelos satélites para o posicionamento não podem atender a cada País especificamente. Neste aspecto, vem se evoluindo para um referencial que constitua uma perfeita materialização do Sistema Terrestre Convencional. Nesta tentativa surgiram, entre outros o WGS-72 (*World Geodetic System 1972*), o NSWC (*Naval Surface Weapon Center*) com algumas variantes. É importante mencionar que o sistema terrestre com mais pormenores é o chamado WGS-84 (*World Geodetic System 1984*), adotado como referencial nos satélites GPS. Estes sistemas constituem mais do que um simples referencial, estabelecem valores para uma série de constantes, tais como: velocidade angular da Terra, velocidade da luz, constante universal da gravitação, etc..

As principais constantes a salientar no sistema WGS-84 são:

$$a = 6.378.137 \text{ m} \pm 2\text{m}$$

$$f = 1:298,257223563$$

$$c = 299792458 \text{ m.s}^{-1} \text{ (velocidade da luz)}$$

$$J_2 = 0,108263 \times 10^{-2}$$

e o fato de que o referencial cartesiano vinculado ao mesmo “coincide” com o Terrestre Convencional.

Em função da diversidade e do aperfeiçoamento de referenciais há uma constante necessidade de transformações para se poder fazer comparações de coordenadas.

É importante salientar que a materialização de um sistema cartesiano geocêntrico tem se beneficiado nos últimos anos das observações interferométricas levadas a efeito nas estações VLBI (*Very Large Baseline Interferometry*), bem como das observações *laser* tanto aos satélites artificiais quanto á lua. Em função da alta precisão das referidas observações hoje se admite pequenas correções ao WGS-84 para compatibilizá-lo com um referencial geocêntrico devidamente orientado, o chamado ITRF90 (*International Terrestrial Reference Frame*, 1990). São eles:

$$TX = -0,060 \text{ m} \quad a_1 = -0,01830''$$

$$TY = 0,517 \text{ m} \quad a_2 = 0,0003''$$

$$TZ = 0,223 \text{ m} \quad a_3 = 0,0070''$$

$$K = 0,011 \text{ ppm}$$

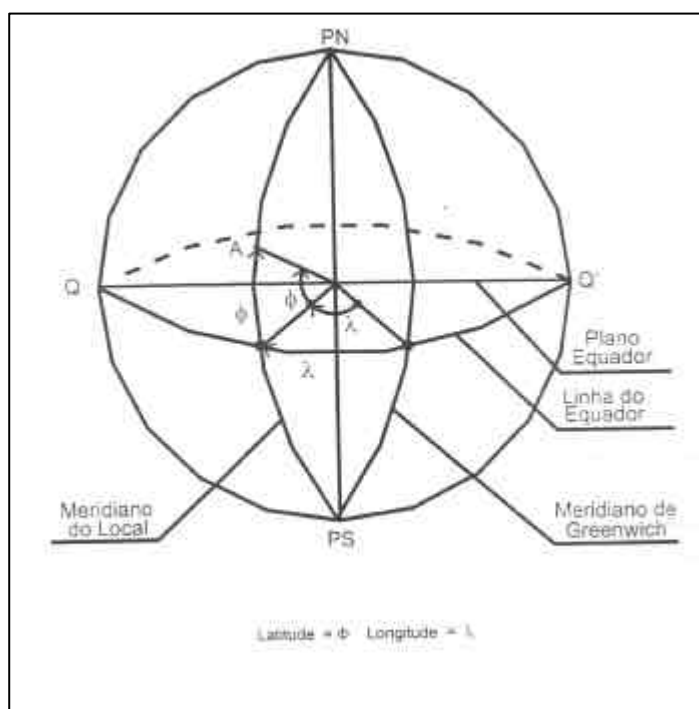
Estas correções, compostas de três translações, três rotações e uma escala, aproximam o WGS-84 do sistema Terrestre Convencional (Blitzkow. 1995).

4.2.5 Elipsóide

É uma Figura matemática, gerada pela rotação de uma semi-elipse em torno de seu eixo menor, que imita a forma da terra. É o sólido imaginário que mais se aproxima do geóide. O elipsóide é conhecido da matemática, onde seus elementos são perfeitamente dedutíveis.

4.2.5.1 Coordenadas Geodésicas ou Elipsóidicas

Em se tratando de posicionamento é extraordinariamente importante o conceito de coordenada. Bastante familiar são as coordenadas geográficas: latitude e longitude. Denomina-se latitude astronômica f_A ao ângulo formado pela vertical e sua projeção sobre o plano do equador. A latitude é medida de 0° a 90° com origem no equador, positiva no hemisfério norte e negativo no hemisfério sul, por convenção. A longitude astronômica l_A é o ângulo diedro formado pelo meridiano astronômico médio de Greenwich e pelo meridiano astronômico do ponto. É contada positiva por leste de 0° a 360° com origem em Greenwich (Figura 4).



Figuras 4. Coordenadas Geográficas.

Define-se latitude geodésica ou elipsóidica Φ_G como o ângulo que a normal forma com sua projeção sobre o plano do equador. O diedro formado pelos meridianos geodésicos de Greenwich e do ponto mede a longitude geodésica ou elipsóidica l_G . Para definir sem ambigüidade a posição de um ponto P sobre a superfície da Terra necessita-se da distância entre o elipsóide e o ponto ao longo da normal, a altura geométrica (h) (Figura 5).

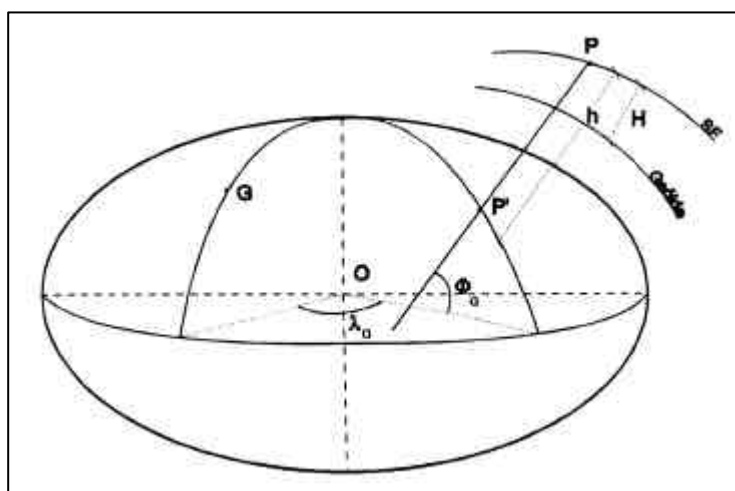


Figura 5. Coordenadas geodésicas ou elipsóidicas.

As coordenadas astronômicas são referidas à direção da vertical, enquanto as coordenadas geodésicas ou elipsóidicas são referidas à direção da normal. As relações entre elas são:

$$f_A - f_G = x$$

$$(I_A - I_G) \cos f_G = h$$

Um referencial importante, em se tratando de satélites artificiais, é o denominado “Sistema Terrestre Médio”. Trata-se de um referencial cartesiano convencional cuja origem coincide com o centro de massa da Terra (Geocentro). O eixo terciário é orientado positivamente para o Pólo Terrestre Convencional (CTP) que coincide com o CIO (*Convencional International Origin*). O eixo primário é estabelecido pelo meridiano médio de Greenwich, e o secundário completando em sistema dextrógiro. Tem sido denominado igualmente de Sistema Terrestre Convencional (CTS) (Figura 6).

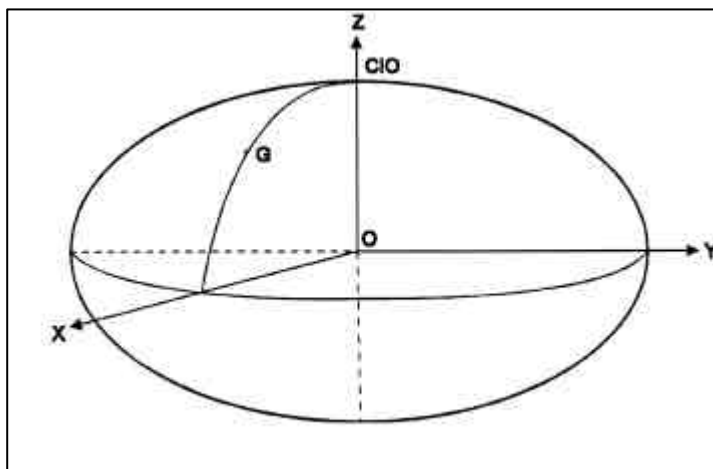


Figura 6. Sistema Terrestre Convencional.

O posicionamento e a cartografia se valem sempre de coordenadas geodésicas ou elipsóidicas referidas a um elipsóide de revolução. Este fica definido através de dois parâmetros, por exemplo, os dois semi-eixos maior “a” e menor “b”. Tem sido usado, escolher o semi-eixo maior e o achatamento, este representado por “f” e definido como:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

4.2.5.2 Universal Transverse de Mercator – UTM

É um método prático para o cálculo das transformações de coordenadas planas em geográfica, geodésicas e vice-versa, para transporte de coordenadas planas sobre o elipsóide segundo os lados e ângulos elipsóidicos, para cálculo da convergência meridiana e dos azimutes e lados planos e elipsóidicos. Incorre-se em erros confundir a sistema UTM, que é método prático de cálculos geodésicos, com um sistema de projeções. É comum ouvir-se a expressão “Coordenadas UTM”, expressão esta incorreta, pois que não existem coordenadas UTM, mas sim “coordenadas plano retangulares”, calculadas segundo um sistema que, por acaso, pode ser o UTM (Ramos, 1999) (Figura 7).

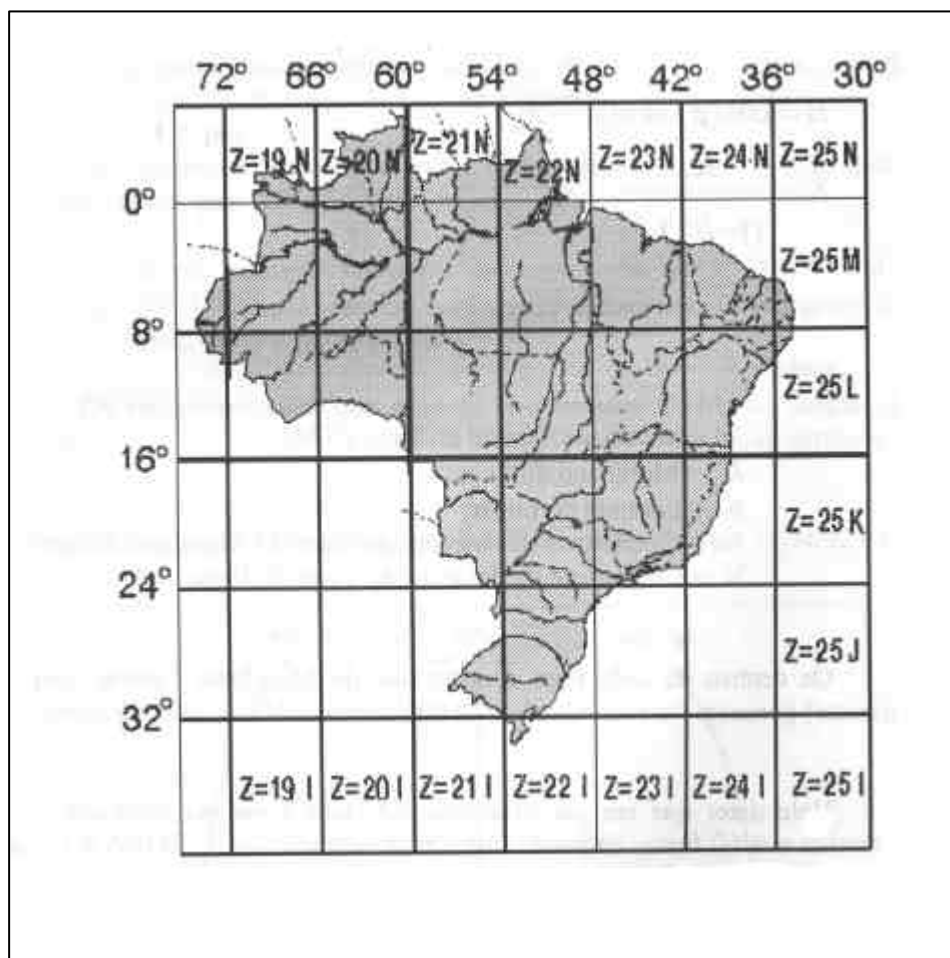


Figura 7. Zona UTM do Brasil.

A projeção UTM está associada, também, ao Datum Horizontal, assim deve-se, toda vez que a especificação de um ponto for na projeção UTM, dizer ao qual Datum estas coordenadas se referem. Isto evitará problemas futuros, quando outras pessoas, de posse de memoriais descritivos de áreas ou propriedades rurais, se depararem com tais coordenadas. Se o sistema não for completamente especificado, poder-se-á cometer erros de transformação de coordenadas de maneira incorreta (Beraldo e Soarea., 1995).

4.3 Levantamento Topográfico

Levantamento topográfico é o conjunto de operações necessárias para se obter os elementos geométricos (ângulos horizontal e vertical, distâncias horizontal e vertical e

diferença de nível) visando representar no plano topográfico um trecho da superfície terrestre. Os levantamentos topográficos obedecem a normas técnicas NBR 13.133 da ABNT.

Os instrumentos utilizados para as medições, tanto para fins de topografia quanto para a cartografia (Geodésia), baseiam-se na medida dos ângulos e distâncias.

4.3.1. Ângulos

É o trecho do plano compreendido entre duas semi-retas que têm uma origem comum (vértice), na topografia se divide em ângulo horizontal, ângulo vertical, ângulo zenital e ângulo nadiral.

4.3.1.1 Ângulo Horizontal

É o ângulo medido no plano horizontal (plano topográfico).

4.3.1.2 Ângulo Vertical

É o ângulo medido no plano vertical (plano perpendicular ao plano topográfico).

4.3.1.3 Ângulo Zenital

É o ângulo vertical que essa direção faz com a direção da vertical no ponto, considerando a partir do Norte (direção do zênite) (Figura 8).

4.3.1.4 Ângulo Nadiral

É o ângulo vertical que essa direção faz com a direção da vertical no ponto, considerando-a a partir do Sul (direção do nadir) (Figura 8).

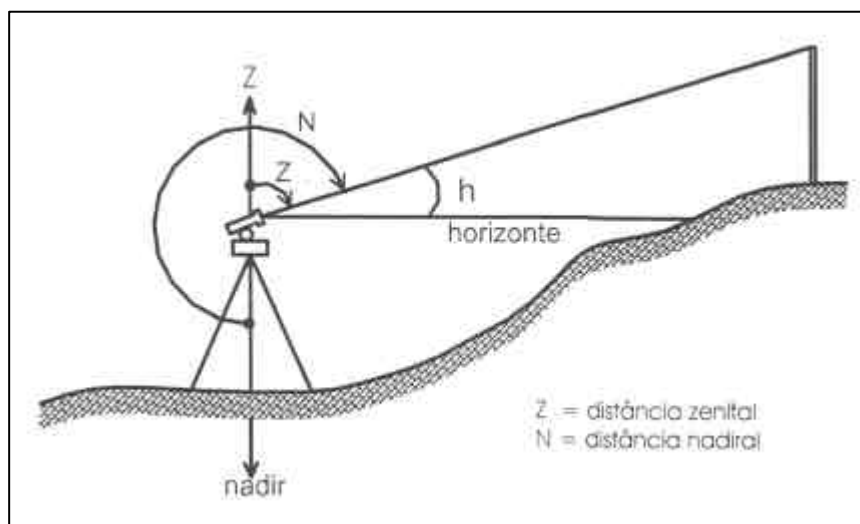


Figura 8. Direção do zênite e nadir.

4.3.2 Distância

É a extensão retilínea do espaço entre dois pontos ou vértice. Na topografia se divide em distância inclinada, horizontal, esférica e plana.

4.3.2.1 Distância Inclinada e Distância Horizontal

Sejam dois pontos P e Q sobre o terreno, conforme indicado na (Figura 9).

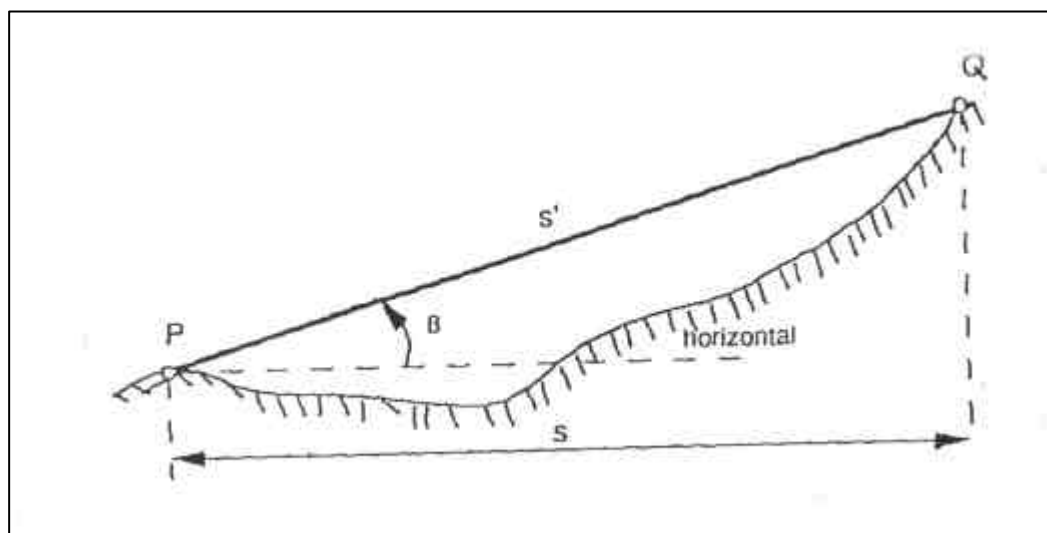


Figura 9. Distância inclinada para obter a distância horizontal.

onde, s' = distância inclinada entre P e Q; s = distância horizontal entre P e Q; e β = ângulo de altura da direção PQ.

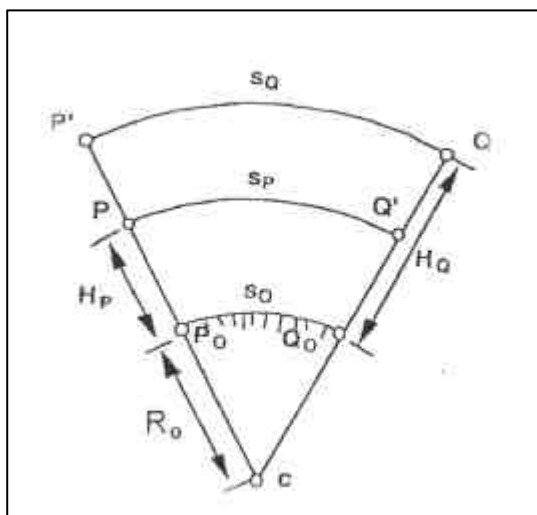
Sabe-se que,

$$s = s' \cdot \cos \beta$$

Essa relação entre as distâncias inclinada e horizontal é válida somente para pontos suficientemente próximos em que se possa desconsiderar a curvatura da terra.

4.3.2.2 Distância Esférica

Considerando-se a curvatura da terra e adotando-se a esfera como a superfície de referência, tem-se a seguinte situação:



onde, R_o = raio médio da esfera terrestre; H_p = altitude do ponto P; H_q = altitude do ponto Q; S_p = distância esférica ao nível de P; S_q = distância esférica ao nível de Q; e S_o = distância esférica ao nível do mar ($H=0$).

Neste caso as superfícies são esferas concêntricas e permitem obter as seguintes relações:

$$\frac{S_o}{R_o} = \frac{S_p}{R_o + H_p} = \frac{S_q}{R_o + H_q}$$

Para um ponto P de altitude H, tem-se que:

$$S_H = \frac{R_o + H}{R_o} \cdot S_o = \left(1 + \frac{H}{R_o}\right) S_o, \quad \text{ou} \quad \text{então,} \quad S_o = \frac{S_H}{1 + \frac{H}{R_o}}$$

Para os cálculos práticos pode-se operar com valores em ppm, adotando-se na altitude média para a região de cálculo. Tem-se assim, conforme Silva, (1996) que a redução ao nível do mar pode ser dada por:

$$Red = -\frac{H}{R_o + H} \cdot 10^6 \text{ ppm}$$

Silva, 1996.

4.3.2.3 Distância Plana

Na mensuração, os cálculos relativos à determinação de coordenadas de pontos, podem ser realizados segundo um plano de projeção, a partir do qual define-se o sistema de coordenadas XY. Neste caso, opera-se com distâncias planas, deformadas, que

variam evidentemente de acordo com o tipo de relação de projeção adotada. Existe uma infinidade de sistemas de projeções que foram desenvolvidos ao longo dos anos e, cada país usa aquela que mais adapta às suas condições. No Brasil é adotado o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM).

A projeção UTM, originada a partir da projeção conforme de Gauss, tem como sua principal vantagem o fato de que ela permite representar grandes áreas da superfície terrestre, sobre um plano, em um sistema de coordenadas retangulares com poucas deformações (Maia, 1999).

4.4 Instrumentos de Medições das Operações Topográficas

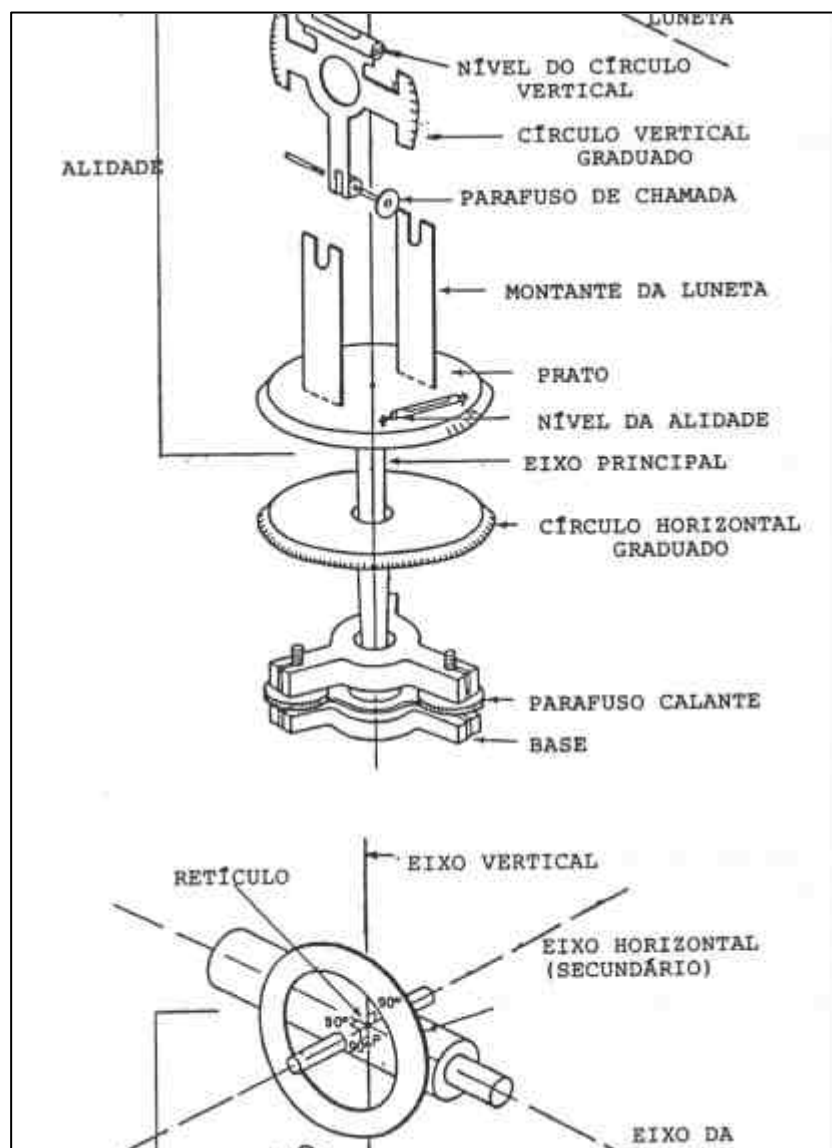
4.4.1 Teodolito

Instrumento que se destina fundamentalmente à medida de ângulos verticais e horizontais (Figura10). Atualmente, os teodolitos eletrônicos permitem ao usuário escolher o tipo de ângulo vertical a ser usado durante as medições, e se a direção positiva do ângulo horizontal é para a direita, ou para a esquerda. A precisão dos ângulos medidos varia entre 0.5", 1", 1.5", 3", 5", 10", 20", embora a leitura mínima seja quase sempre de 1". O teodolito sofreu avanços tecnológicos passando de teodolito prismático para teodolitos eletrônicos informáticos.

Conforme o NBR 13133 (1994), os teodolitos são classificados segundo o desvio padrão de uma direção observada em duas posições da luneta, conforme Quadro 1. A classificação de teodolitos conforme DIN 18723, é normalmente definida pelos fabricantes. Em caso contrário, deve ser efetuada por entidades oficiais e ou universidades, em bases apropriadas para classificação de teodolitos. Com base nesta norma a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Petrologia (EPUSP/PTR) – implantou, com o auxílio da Fundação de Auxílio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), uma rede de calibração de teodolitos.

Quadro 1. Classificação de teodolitos

Classes de teodolitos	Desvio-padrão precisão angular
1 – precisão baixa	$= \pm 30''$
2 – precisão média	$= \pm 07''$
3 – precisão alta	$= \pm 02''$

**Figura 10.** Representação esquemática de um teodolito, com os elementos essenciais.

Teodolito prismático

A leitura dos ângulos é efetuada através do auxílio de prismas posicionados sobre o círculo graduado.

Teodolito eletrônico

A leitura dos ângulos é feita diretamente em um visor de cristal líquido. Os teodolitos eletrônicos podem ser:

Teodolito eletrônico informático

Armazena os dados em uma caderneta eletrônica a qual permite a transmissão dos dados para um computador ou diretamente para uma estação gráfica (ploter).

Estação Total

É formado pela união do teodolito com o medidor eletrônico – MED, sendo o estágio mais avançado dos equipamentos topográficos.

4.4.2 Distanciômetros

Os distanciômetros eletrônicos ou medidores eletrônicos de distância (MED) surgiram na década de 60. São classificados em três classes conforme a sua precisão, determinada a partir do desvio padrão (Quadro 2).

Quadro 2. Classificação dos Medidores Eletrônicos (MED).

Classes do EDM	Desvio Padrão
1 – Precisão baixa	$\pm (10 \text{ mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$
2 – Precisão média	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$
3 – Precisão alta	$\pm (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$

*ppm – parte por milhão; D – distância.

A teoria dos fenômenos eletromagnéticos, estabelecida por Maxwell em 1865, mostra que qualquer perturbação no campo eletromagnético se propaga no espaço como a velocidade da luz no vácuo.

Mais tarde, experiências realizadas por Hertz, comprovaram que as ondas hertzianas, de origem eletromagnética, têm as mesmas propriedades luminosas, estabelecendo-se desta forma uma identidade entre os fenômenos luminosos e eletromagnéticos (Pacileo, 1990).

Embasados na teoria eletromagnética, surgiram os MED², instrumentos que permitem medir distâncias utilizando como unidade básica de medida a metade do comprimento de uma onda utilizada como portadora.

O princípio de funcionamento de um distanciômetro eletrônico é baseado na emissão e recepção de uma onda eletromagnética, a partir de um distanciômetro colocado no ponto inicial, e um prisma colocado no ponto final, conforme mostra a Figura 11.

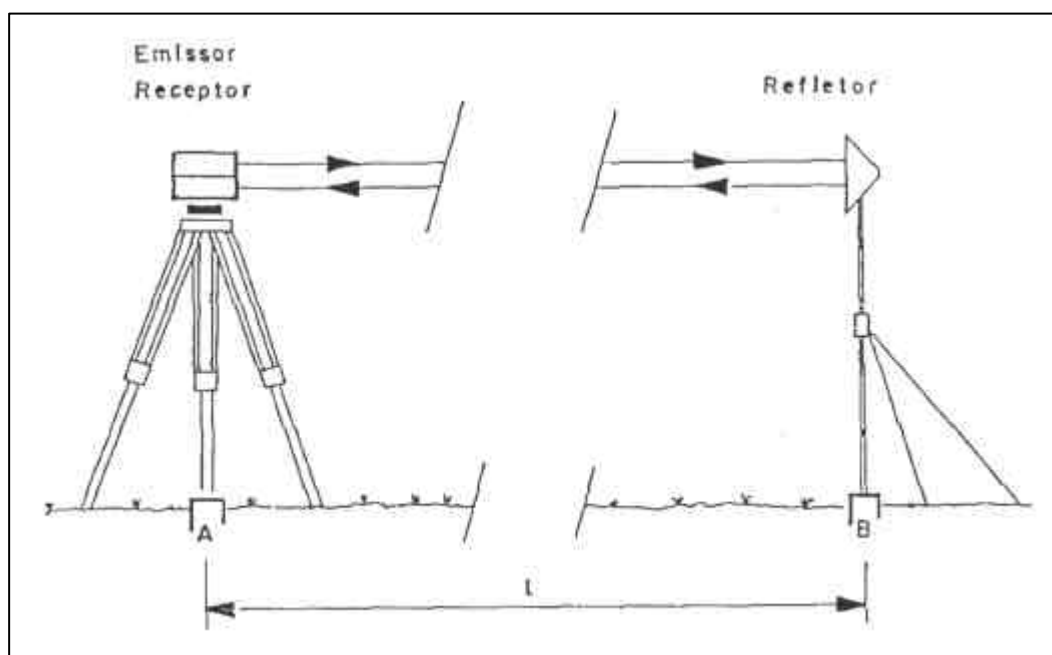


Figura 11. Determinação de distâncias usando MED por caminho duplo. Método da diferença de fase.

Na maioria dos instrumentos as distâncias são determinadas a partir da diferença de fase entre o sinal emitido, no início do percurso, e o sinal recebido a partir do refletor, colocado na outra extremidade da distância a ser medida. Basicamente, o instrumento mede a quantidade $f \cdot L$, que representa quanto o sinal recebido está fora da fase em relação ao sinal emitido, conforme mostrado na Figura 12.

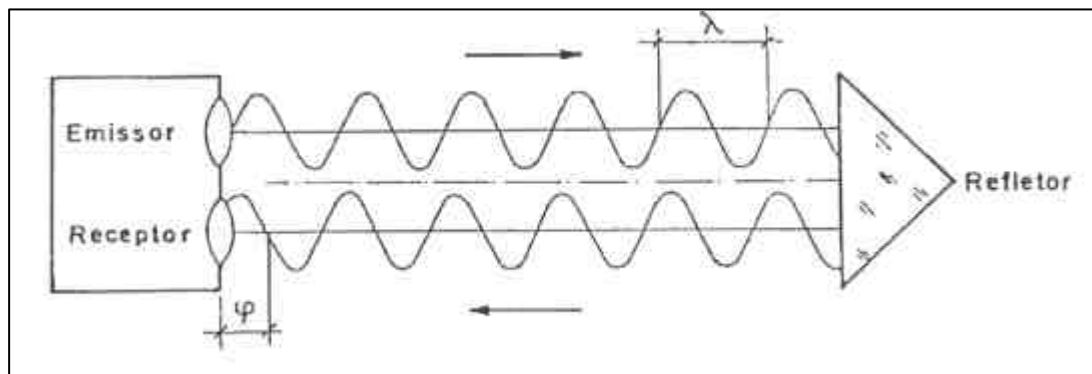


Figura 12. Princípio da técnica do contador de pulso (*Timed-pulse*) para medição de distâncias (Schofield, 1993).

A distância é calculada através da emissão de várias ondas de comprimentos diferentes e do cálculo das diferenças de fase ϕ . A primeira onda permite calcular a fração decimal da distância. As demais ondas permitem calcular a quantidade de ondas inteiras emitidas e, dessa forma, calcular a fração inteira da distância Figura 13 (Silva, 1996).

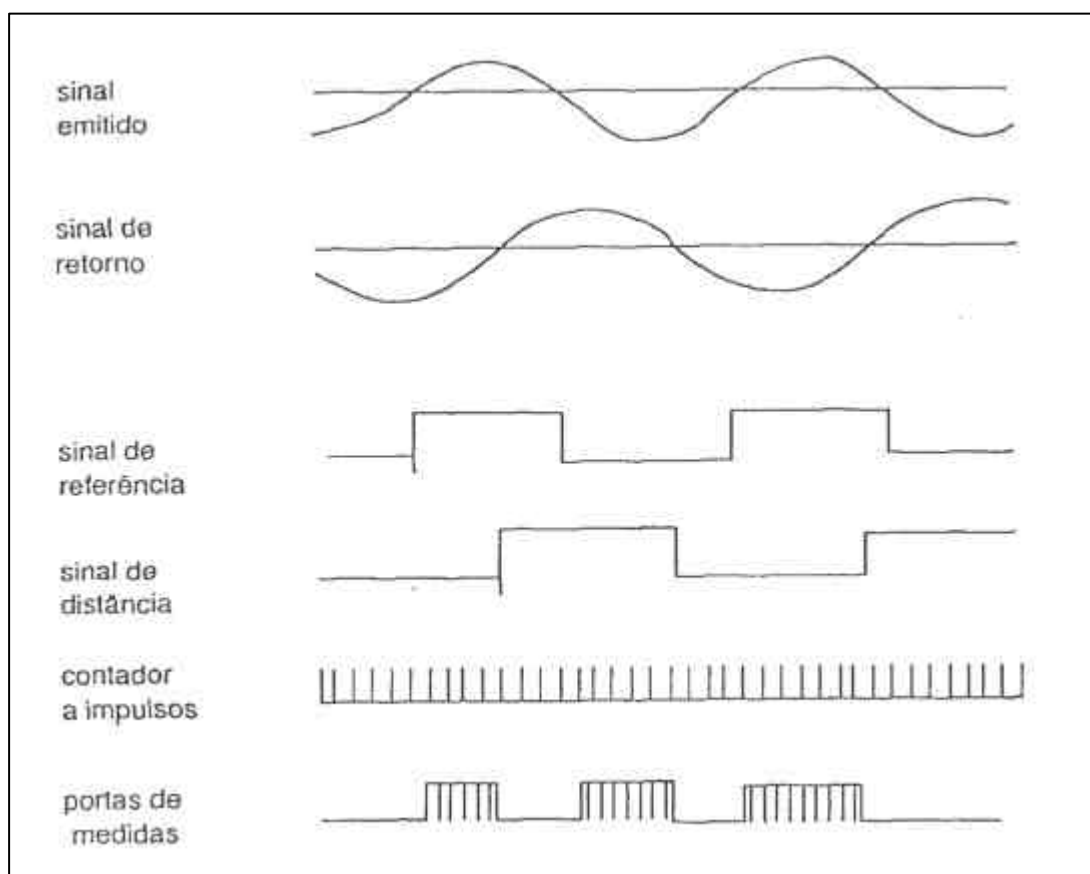


Figura 13. Esquema de um medidor digital de fase.

4.4.3 Estação Total

A Estação Total surgiu na década de 90 como resultado da união dos teodolitos eletrônicos informáticos integrados a um distanciômetro eletrônico (MED). Ramos (1999) descreve estação total como um teodolito eletrônico, equipado com um sistema de medições que utiliza ondas de luz, normalmente infravermelho, e os princípios da física para o cálculo das distâncias em função do tempo decorrido entre a emissão do raio de luz, seu reflexo num prisma e seu retorno ao equipamento emissor. São assim chamadas de Estação Total devido ao fato de que eliminam a intervenção do operador no sentido de anotações dos valores medidos e a execução física da medição, já que utilizam programas coletores e transformadores de dados.

Conforme a NBR 13.133 da ABNT as estações totais são classificadas em função da precisão - desvio padrão - das medidas angulares e lineares (Quadro 3).

Quadro 3. Classificação das Estações Totais.

Classe de Estações totais	Desvio padrão Precisão angular	Desvio padrão Precisão linear
1 – Precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5 \text{ mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$
2 – Precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$
3 – Precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$

*ppm – parte por milhão; D – distância.

4.4.3.1 Princípios de Funcionamento

Segundo Cintra (1995) a microeletrônica nos teodolitos concentra-se no sistema de leitura dos círculos graduados e no sistema sensor eletrônico que compensa automaticamente a inclinação do equipamento, dessa forma o equipamento se leva ao horizontal.

A medição eletrônica de ângulos nos componentes físicos de um sistema se divide em um círculo de cristal com claras e escuras (transparentes e opacas) codificadas

através de um processo de fotolitografia e fotodiodos detectores da luz que atravessa esse círculo graduado.

Os dois princípios de codificação e medição, basicamente são o absoluto que fornece um valor angular para cada posição do círculo, e o incremental que fornece o valor com relação a uma origem, isto é quanto se girou o teodolito a partir de uma posição inicial (Figuras 14 e 15) (Kahmen et al, 1988).

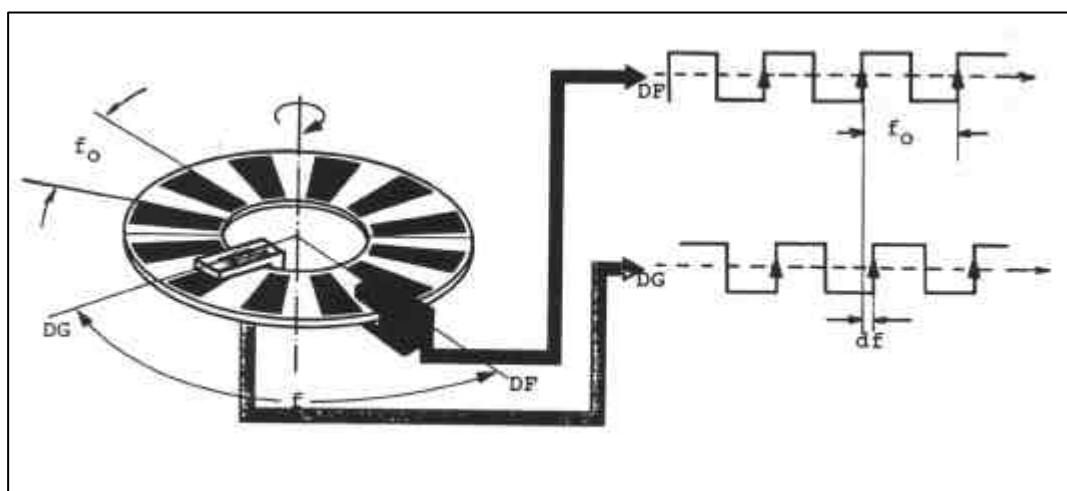


Figura 14. Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase.

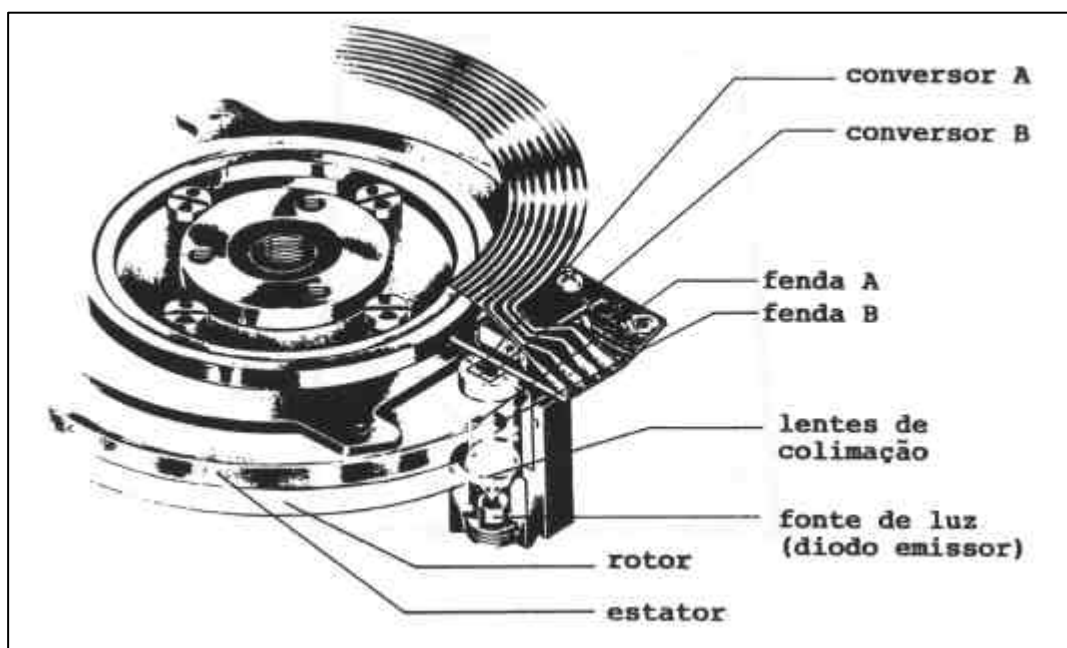


Figura 15. Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase (Nikon®).

Num segundo modelo podemos pensar em trilhas opacas dispostas concentricamente a não mais direção radial (Figura 16) (Cooper, M.A.R.1987).

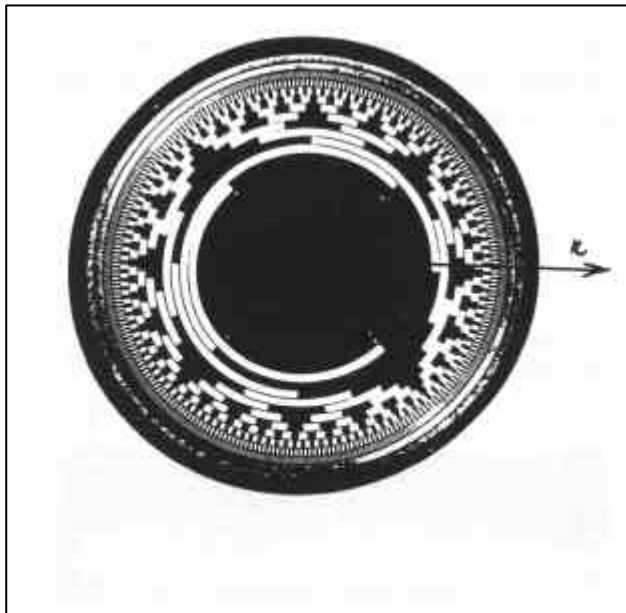


Figura 16. Sistema de leitura angular absoluto.

Num terceiro modelo é baseado numa exploração eletrônica incremental, resolve a medição grosseira, dinamicamente, dentro da faixa de 30 "e a medição fina, estaticamente, com uma precisão de 0,3" (Kahmen, 1988) (Figura 17).

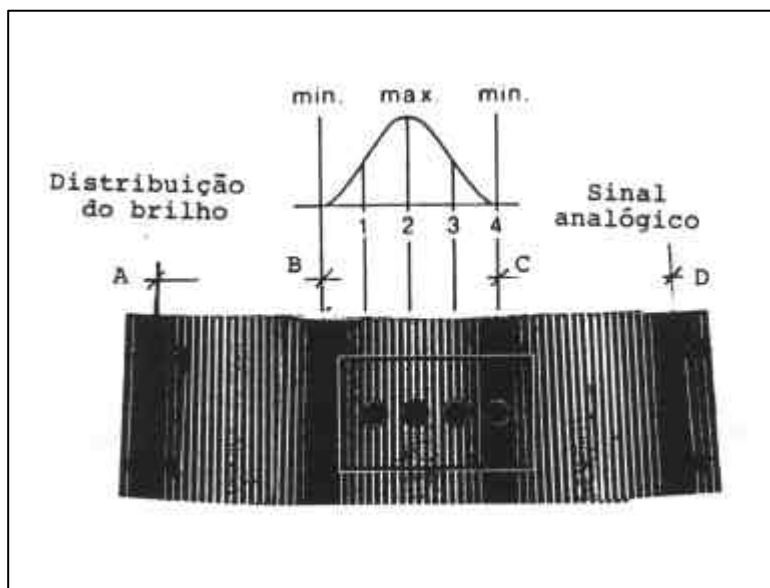


Figura 17. Sistema de leitura angular incremental usando interpolação matemática.

4.4.3.2 Sensor Eletrônico de Inclinação

O sensor eletrônico de inclinação, além de facilitar a tarefa do operador e aumentar a precisão, permite corrigir diretamente uma visada simples de ângulos verticais, sem ter que conjugar pares de leituras nas posições direta e inversa, segundo Kennie et al (1993). Esse dispositivo foi incorporado pelos teodolitos eletrônicos, destinados a horizontalização automática dos mesmos, compensando as inclinações residuais do eixo vertical.

Segundo Cintra (1995) o sistema representado na Figura 18 é baseado na reflexão de uma luz sobre uma superfície líquida, que permanece sempre horizontal e por isso pode ser usada como referencial. Uma luz gerada em A é refletida na superfície líquida B, e após através de alguns componentes óticos atinge um fotodiodo C. O valor da corrente induzida neste, permite determinar a posição da luz com relação ao ponto zero Z em um quadrante e qual o deslocamento com relação a esse ponto central, ou seja, a inclinação do teodolito na direção do eixo de colimação e na sua perpendicular.

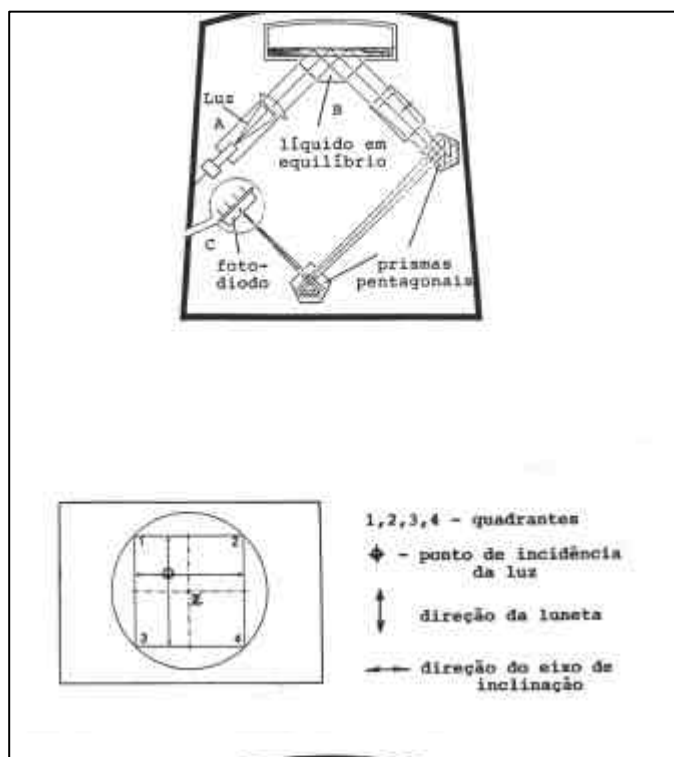


Figura 18. Detalhe do sensor de inclinação que permite a horizontalização automática. Adaptada de Kennie et al. (1993).

4.4.4 Sistema de Posicionamento Global - GPS

4.4.4.1 História e Desenvolvimento do GPS

Desenvolvido pelo departamento de defesa dos EUA (DoD) em 1973, com o objetivos de suprir as necessidades militares e disponibilizado posteriormente para uso na comunidade civil, o GPS é considerado um dos maiores avanços tecnológicos do fim do século XX, tendo revolucionado as técnicas de engenharia de mapeamento, transporte, navegação, cartografia, agrimensura, agronomia e um número crescente de atividades.

Baseado em satélites artificiais NAVSTAR-GPS (*Navigation System using Time and Ranging e Global Positioning System*) o sistema GPS consiste em um sistema de navegação e de posicionamento de alta precisão e rapidez, que permite aos usuários determinar posições expressas em latitude, longitude e altitude, em função das coordenadas cartesianas X, Y e Z em relação ao centro de massa da Terra. O sistema GPS aliado a um sistema de informações geográficas (SIG) e a um sistema de comunicação alcança grande velocidade e precisão na aquisição de dados conduzindo a uma revolução na arte de posicionar qualquer objeto sobre ou próximo da superfície terrestre (Segantini, 1999).

Os objetivos do GPS são: auxiliar a radionavegação com elevada precisão nos cálculos de posição, mesmo com usuários sujeitos a altas dinâmicas; propiciar navegação em tempo real; propiciar alta imunidade a interferências; proporcionar cobertura global, 24 horas por dia; e obter de forma rápida as informações transmitidas pelos satélites.

O GPS foi declarado totalmente operacional em janeiro de 1994, ocasião em que sua constelação atingiu 24 satélites em órbita. Sua constelação atual é de 28 satélites dedicados a este fim específico. Estes satélites orbitam a uma altura de aproximadamente 28.000 Km acima da superfície terrestre e transmitem continuamente sinais que possibilitam a determinação da posição de um receptor na Terra ou suas imediações (Figura 19) (Gomes et al., 2001).

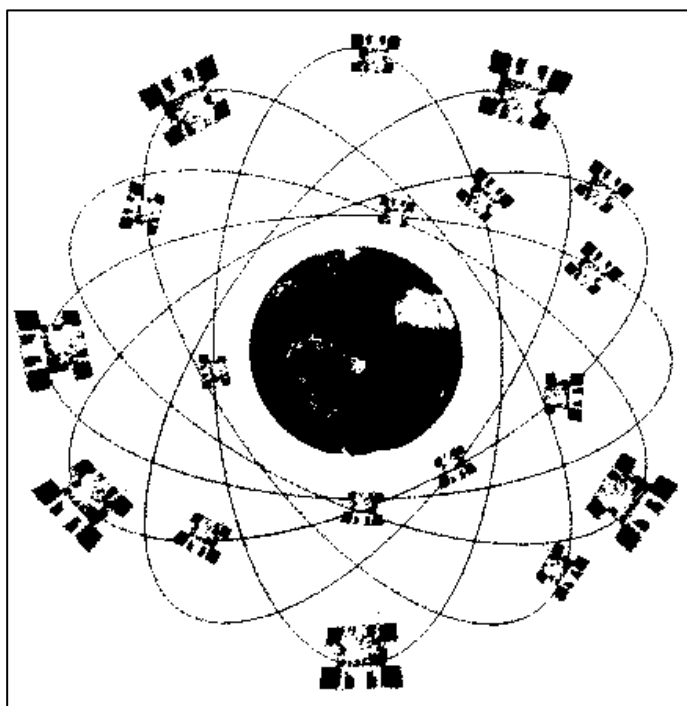


Figura 19. Configuração completa dos satélites (Gomes et al., 2001).

4.4.4.2 Princípio Básico do GPS

Para Moraes et al. (1998) o funcionamento do sistema GPS se baseia no princípio da triangularização, segundo o qual o observador conhece a posição de um conjunto de satélites em relação a um referencial e a sua posição em relação a este conjunto de satélites, e obtém a sua própria posição no sistema de referência. O sistema de referência utilizado pelo sistema GPS é o WGS (WGS-72 até 1986 e WGS-84 a partir de 1987).

A Figura 20 apresenta os parâmetros básicos utilizados pelo GPS na determinação da posição pelo usuário, definindo:

\vec{R}_u = posição do usuário;

\vec{r}^i = posição do i -ésimo satélite;

\vec{p}^i = posição do usuário em relação ao i -ésimo satélite.

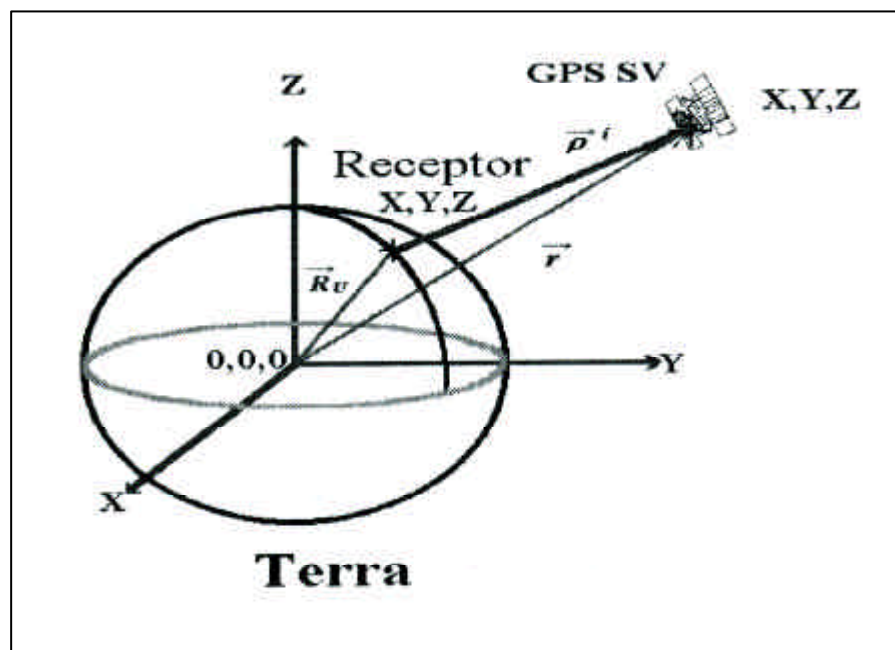


Figura 20. Princípio básico do GPS. Adaptada de Moraes et al. (1998).

Assim, admitindo $\vec{R}_u = (X_u, Y_u, Z_u)$, temos a relação:

$$(X_u - X^i)^2 + (Y_u - Y^i)^2 + (Z_u - Z^i)^2 = \bar{p}^i{}^2$$

4.4.4.3 Aplicações do GPS

O sistema GPS vem provando, ao longo dos últimos anos, que é uma técnica efetiva de posicionamento, proporcionando a obtenção de coordenadas com precisão, principalmente às coordenadas geográficas, latitude e longitude (Segantini, 1999).

O sistema GPS pode ser aplicado para gerar posicionamento em tempo-real e fornecer precisões suficientes para os mais diversos usos, utilizando-se de receptores adequados em cada uso. É um sistema economicamente competitivo na maioria dos casos. Estas características permitem vislumbrar o alto potencial desta tecnologia e as ilimitadas possibilidades de aplicações na Geodésia, na navegação e nos mais diferentes tipos de áreas, como por exemplo:

- ◆ Levantamento de controle;
- ◆ Levantamento de cadastro;
- ◆ Geodinâmica;
- ◆ Monitoramento de obras de engenharia (barragens, pontes, edifícios, etc.)
- ◆ Navegação de precisão;
- ◆ Fotogrametria;
- ◆ Sistemas de Informação Geográficas (SIG);
- ◆ Geodésia marinha e Glacial.

Outras aplicações que não eram possíveis com métodos convencionais, podem ser agora realizados com o GPS. Dentre esses tipos de aplicações, podemos citar:

- ◆ Levantamentos aéreos;
- ◆ Medidas da rotação da Terra;
- ◆ Posicionamento marinho e alta precisão;
- ◆ Medida da velocidade;
- ◆ Mapeamento gravitacional vetorial através de um veículo em movimentos;
- ◆ Aerotriangulação sem pontos de controle terrestre;
- ◆ Levantamento e locação de pontos geométricos de projetos de vias;
- ◆ Levantamentos topográficos;
- ◆ Controle de deslocamento de obras civis, etc.

4.4.4.4 Constelação de Satélites

Depois de serem estudados vários esquemas, definiu-se uma constelação de 21 satélites (mais 3 de reservas) alocados em órbitas elípticas (semi-eixo maior igual a 26.600 km) com período de 11h 57' 58,3" (tempo sideral), a uma altitude média aproximada de 20.200 km (10.898 milhas náuticas), acima da superfície terrestre, com uma órbita de inclinação igual a 55° em relação ao Equador. Esta configuração garante a cobertura projetada para o sistema. Os satélites completam duas revoluções orbitais enquanto a Terra realiza apenas uma rotação (um dia sideral), resultando assim que cada satélite recobre a mesma faixa de terreno uma vez por dia, com sua posição defasada de 4 minutos.

Os satélites do sistema GPS poderiam ter sido implantados na forma de satélites geostacionários com altitude aproximada de 36000 km. Esta opção foi levada em consideração durante a etapa de definição do sistema. A desvantagem desta configuração é que o posicionamento de pontos próximo aos pólos estaria prejudicado, uma vez que satélites geostacionários estão sempre alocados próximos a linha do Equador.

Cada satélite está equipado com relógios atômicos, de modo a transmitir, com precisão, pulsos binários de tempo e efemérides, definidas suas órbitas. O termo relógio atômico não quer dizer que os relógios trabalham usando energia atômica, tendo sido utilizado apenas porque os relógios utilizam tipos especiais de átomos em seus osciladores.

O sistema é composto de modo a possuir quatro satélites em cada um dos seis planos orbitais (denominados de A, B, C, D, E e F), conforme se ilustra na Figura 21. Os satélites não são igualmente espaçados dentro do plano orbital, mas são distribuídos para garantir a máxima cobertura terrestre. Nesta Figura, a separação da ascensão reta, α , entre dois planos orbitais é de 60° . Este espaçamento foi planejado para maximizar a probabilidade dos receptores GPS captarem sinais de, no mínimo, quatro satélites com pequenos valores de PDOP, 24 horas por dia, e poderem assim determinar suas coordenadas tridimensionais: latitude, longitude e altura geométrica (Segantini, 1999).

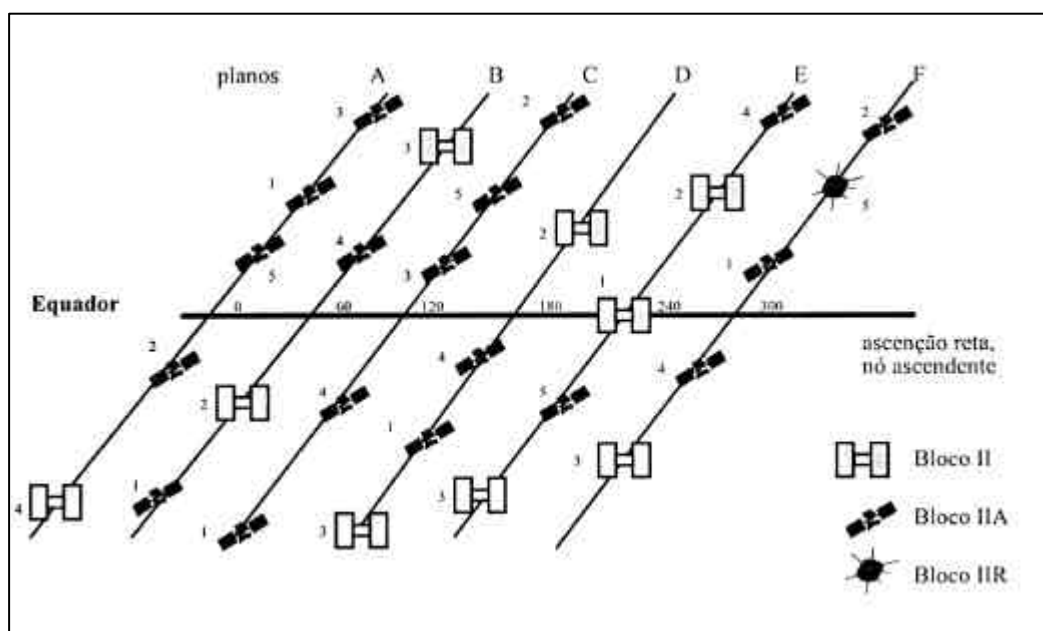


Figura 21. Configuração final do sistema GPS (posição válida para o dia 17/02/98).

Os satélites do sistema GPS são divididos em blocos atendendo a certas características físicas e de projeto:

Bloco I: satélites de desenvolvimento e pesquisa, SVN1 até SVN11;

Bloco II: satélites de produção de SVN13 até SVN21;

Bloco IIA: satélites de produção, de SVN22 até SVN40

Bloco IIR: satélites de reposição, com lançamentos programados a medida que forem necessárias reposições, de SVN41 até SVN62;

Bloco IIF: satélites de reposição, com lançamentos programados para o próximo século.

4.4.4.5 Sinais dos Satélites

Os satélites GPS são sistemas unidirecionais de emissão, isto é, os sinais são transmitidos somente pelos satélites. Os sinais se propagam das antenas dos satélites até as antenas dos receptores. Durante a propagação, os sinais estão sujeitos aos seguintes efeitos: atraso de propagação na ionosfera, atraso de propagação na troposfera, efeito do multicaminhamento, efeitos marginais de sinais, devido à posição do satélite no horizonte e, feitos de degradação: AS e SA.

Operacionalmente a geodésia por satélite está baseada na transmissão de dados dos satélites para as antenas dos receptores, através de ondas eletromagnéticas. A observação fundamental é a medida do tempo de percurso do sinal, entre a antena do satélite e a antena do receptor instalada pelo usuário.

A frequência, f , pode ser definido pela derivada da fase, j , em relação ao tempo:

$$f = \frac{dj}{dt}$$

e, inversamente, a fase é obtida pela integração da frequência entre duas épocas t_0 e t

$$j = \int_{t_0}^t f dt$$

Assumindo a frequência como sendo constante, a fase inicial $j(t_0)=0$, e considerando o intervalo de tempo t_p , que é o tempo que o sinal necessita para propagar-se através da distância p , entre o emissor e a antena receptora, pode-se escrever a seguinte equação:

$$j = f(t - t_r) = f\left(t - \frac{r}{c}\right)$$

No caso de um veículo em movimento emitir sinais, como é o caso de um satélite ou de uma antena receptora em movimento, a frequência recebida é alterada pelo efeito Doppler. Isto significa que a frequência recebida segundo Hofann, f_r , é diferente da frequência emitida, f_e , de um valor Δf , que desconsiderando-se os efeitos relativísticos, é proporcional à velocidade radial, definido como sendo $v_e = \partial r / \partial t = r$, onde r é denominada velocidade radial do emissor relativo ao receptor.

A chave da precisão do sistema GPS é o fato dos componentes dos sinais serem controlados por relógios atômicos. A frequência fundamental (banda L) de 10,23 MHz é produzida por um sistema de alta precisão. A Figura 22 apresenta a posição dos sinais GPS dentro do espectro magnético.

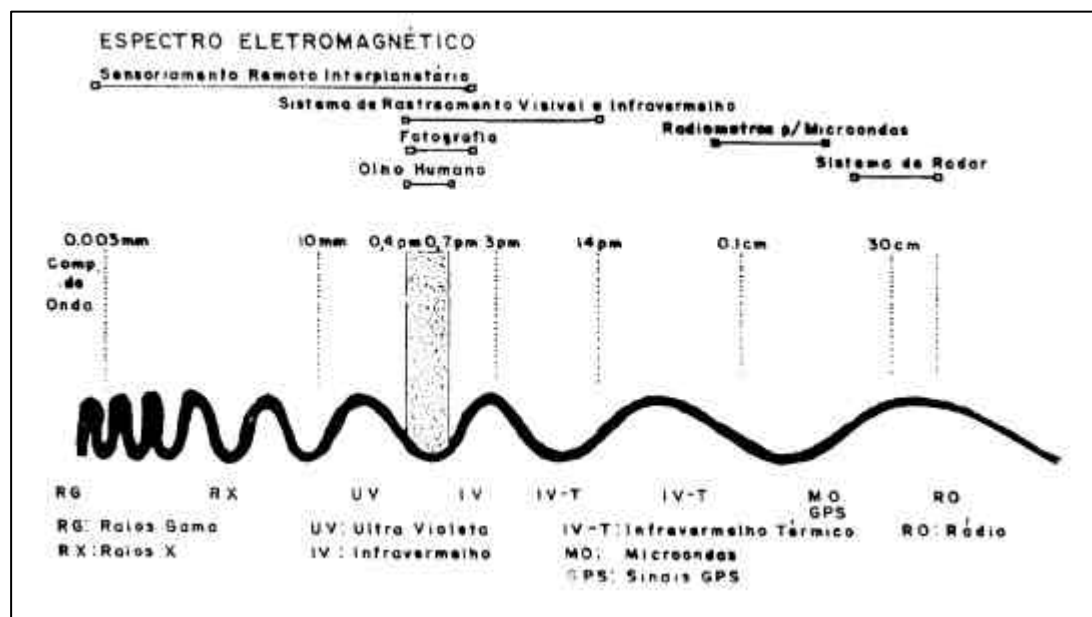


Figura 22. Espectro eletromagnético.

Todos os satélites da constelação transmitem continuamente na mesma frequência. Os componentes dos sinais dos satélites e suas frequências estão resumidos na Quadro 4.

Quadro 4. Componentes dos sinais dos satélites.

Componente	Frequência (MHz)
Frequência fundamental	$f_0 = 10,23$
Portadora L1	$154f_0 = 1575,42(\cong 19,0cm)$
Portadora L2	$120f_0 = 1227,60(\cong 24,4cm)$
Código-P	$f_0 = 10,23$
Código-C/A	$f_0 / 10 = 1,023$
Mensagem de navegação	$f_0 / 204\ 600 = 50 \times 10^{-6}$

A portadora principal, L1, é modulada por dois tipos de códigos falsamente aleatórios (*pseudorandom noise codes*), um com 1,023 MHz chamado de código-C/A, e outro com 10,23 MHz chamado de código-P.

O código-P ou militarmente classificado como código-Y, foi intencionalmente projetado para uso militar ou para usuários autorizados, visto que, o comprimento de onda é da ordem de 30 metros, proporcionando um posicionamento preciso. Este código pode ser descrito como sinais retangulares, cujas amplitudes são aleatórias, com valores variando de 0 a 1.

A pseudodistância, que é derivada da medida do tempo de percurso do sinal entre cada satélite e a antena receptora do usuário, usa dois ruídos falsamente aleatórios (PRN), que são modulados (superimpostos) em duas fases portadoras. O código consiste numa seqüência dos estados +1 ou -1, correspondendo aos valores binários 0 ou 1. A modulação bifásica (mudança de sinal) é realizada pela inversão de 180° na fase da portadora, situação em que ocorre a alteração nos estados. (Figura 23).

É importante dizer que cada satélite estabelece o seu próprio código-C/A e o código-P, o que os distingue dos demais. Os códigos têm duas importantes funções:

- Identificação do satélite. Os códigos são únicos para cada satélite e podem ser comparados com os respectivos códigos gerados pelos receptores;
- Medida da propagação do tempo. Isto é, do tempo necessário para que o sinal percorra a distância entre o satélite e a antena receptora.

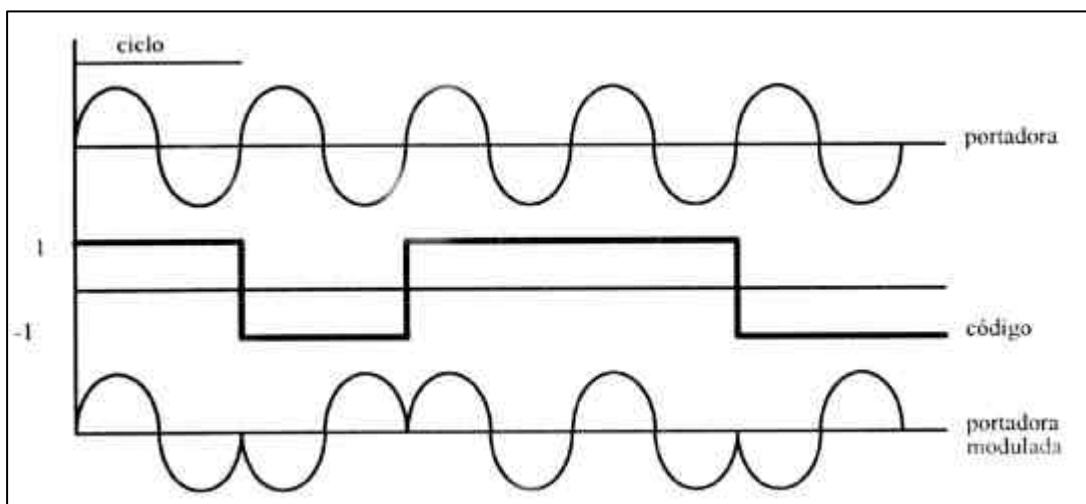


Figura 23. Modulação bifásica da onda portadora.

O primeiro código é o código-C/A (*Coarse or Clear/Acquisition-code*), também designado como *Standard Positioning Service (SPS)*, que é disponível para a comunidade civil. A frequência do código C/A repete-se a cada milissegundo, com um comprimento efetivo de onda 293,1 m e é modulada somente na portadora L1 sendo propositalmente omitida na L2, mas as estações de controle terrestre podem opcionalmente incluir a L2 na estrutura deste código. Esta omissão da portadora L2 permite ao *Joint Program Office (JPO)* controlar as informações enviadas pelos satélites e, então, melhorar a precisão para uso da comunidade civil.

A segunda portadora de sinal, L2, contém somente o código-P (ou código-Y). O código-P (*Precision or Protect-code*), também é designado como *Precise Positioning Service (PPS)*, e tem sido reservado apenas para uso das forças armadas americanas e para usuários autorizados.

O código-P é mais preciso que o código-C/A, visto que o código-P não é afetado pelo efeito AS e o acesso a este código pela portadora L2 permite correções de efeitos atmosféricos.

A frequência do código-P é extremamente grande e se repete a cada 266,4 dias (± 37 semanas), com um comprimento efetivo de onda de 29,31 metros, modulando ambas as portadoras, L1 e L2. O comprimento total do código é dividido em 37 segmentos

semanais e cada segmento é transmitido por um satélite, definido por seu número PRN. Esta técnica é denominada como *Code Division Multiple Access* (CDMA).

Estes códigos são reiniciados no começo de cada semana GPS, ou seja, a meia-noite (0h UT) de Sábado para Domingo. Devido ao fato de existir um número de satélites em órbita, inferior a 37, alguns segmentos do código-P não usados. No entanto estão disponíveis e são transmitidos pelas estações de controle terrestre.

Ambas as portadoras L1 e L2 são moduladas pelo código-P. O código-C/A é posicionado na portadora L1, em quadratura de fase em relação ao código-P (fase atrasada de 90°). Denominando a portadora não modulada de fase por $L_i(t) = a_i \cos(f_i t)$ e o código-P, o código-C/A e a mensagem de navegação por P(t), C(t) e D(t), respectivamente, a fase da portadora pode ser representada pelas seguintes equações:

$$L1(t) = a_1 P(t) \cos(f_1 t) + a_1 C(t) D(t) \sin(f_1 t)$$

$$L2(t) = a_2 P(t) D(t) \cos(f_2 t)$$

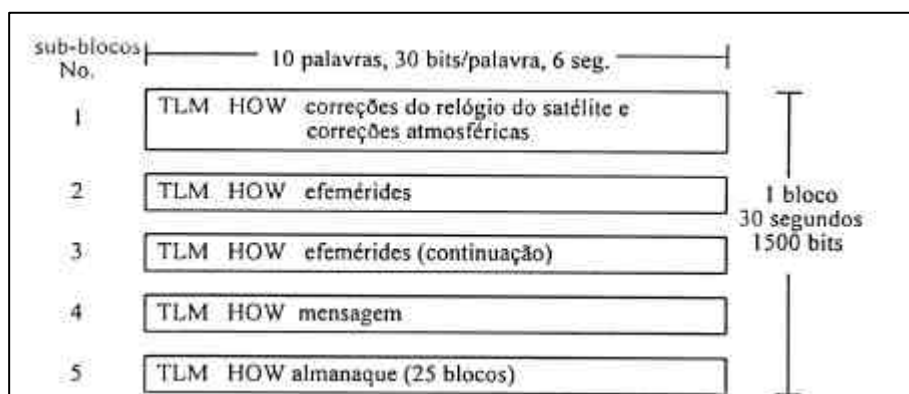
onde, a_1, a_2 : amplitude das portadoras L1 e L2 do código-P e código-C/A; $P(t)$: seqüência do código-P com valores ± 1 ; $C(t)$: código-C/A com valores ± 1 ; e $D(t)$: fluxo de dados com valores ± 1 .

O acesso direto ao código-P só é possível para receptores precisamente sincronizados com o sistema de tempo GPS. Esta é a razão porque, em geral, o código-P é conseguido com a ajuda do código-C/A através do *Hand Over Word* (HOW). O código HOW contém um parâmetro chamado de contador-Z, que está localizado no sub-bloco dos dados. O contador-Z é definido como sendo um número inteiro de intervalos de 1,5 segundo desde o início da semana GPS, e que identifica a época no qual o dado foi gravado. Langley (1990) apresenta uma excelente introdução a respeito deste assunto. As principais características e diferenças entre os códigos podem e são resumidas na Quadro 5.

Quadro 5. Principais características e diferenças entre os códigos.

	<i>Código</i>	<i>Portadora</i>
Comprimento de onda	Código-P = 29,3 m	L1 = 19,05 cm
	Código-C/A = 293 m	L2 = 24,45 cm
Ruídos observados	Código-P 0,6 – 1 m	
receptores clássicos	Código-C/A 10m	1 – 3 mm
receptores novos	Código-P 2 – 5 cm	< 0,2 mm
Efeitos de propagação	Atraso da ionosfera $-\Delta T_{ION}$	Avanço da ionosfera ΔT_{ION}
Ambigüidade	Não-ambíguo	ambíguo

A mensagem da navegação transmitida na razão de 50 bits por segundo (bps) é superposta nas duas frequências, contendo informações tais como: efemérides, correções do relógio do satélite, órbitas dos satélites, saúde dos satélites e outras correções de dados. Estas informações são utilizadas para o posicionamento e a navegação. Este sinal é formatado em 5 blocos com 6 segundos de duração, conforme apresentado na Figura 24. Cada bloco é formado por 10 palavras com 30 bits cada. A primeira palavra em cada bloco é uma palavra telemétrica (telemetry word: TLM). A segunda palavra em cada bloco é uma palavra do código HOW, que contém, entre outras informações, o número do contador-Z. Maiores informações a respeito das mensagens de navegação podem ser encontradas, por exemplo, em Seeber (1993) e Leick (1995).

**Figura 24.** Formato dos sinais de dados.

Os receptores recebem os sinais ao mesmo tempo que, independentemente, geram internamente os códigos-PRN, semelhantes aos recebidos, estando os relógios sincronizados (satélite e receptor), vide Figura 25. O código-PRN, transmitido pelo satélite, chega com um atraso de tempo ou de fase (t ou Δj), devido ao tempo de propagação dos sinais dos satélites até a estação do receptor Silva et al. (1996).

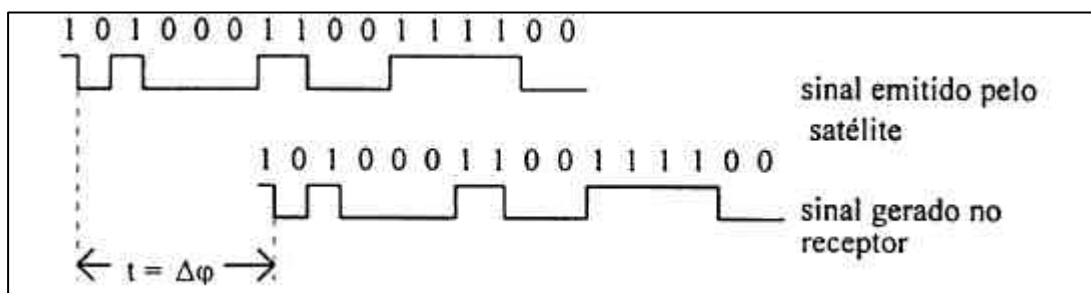


Figura 25. Representação esquemática de um segmento do código PRN, gerado no satélite e no receptor.

4.4.4.6 Segmentos do Sistema GPS

O sistema de posicionamento global consiste em três segmentos (Segantini, 1999):

- ◆ O segmento espacial, que envolve os satélites que emitem sinais;
- ◆ O segmento de controle terrestre, composto pelas estações de rastreamento;
- ◆ O segmento do usuário, envolvendo todos os tipos de receptores.

Apenas o segmento do usuário será descrito neste trabalho pelo fato do maior interesse na discriminação dos receptores utilizados para os diversos levantamentos. E este segmento consiste dos receptores GPS e a comunidade civil e militar.

Os receptores GPS localizados na superfície terrestre, converte os sinais dos satélites em posição, velocidade e tempo. Quatro satélites, no mínimo, são requeridos para calcular as posições X, Y, Z e o tempo t .

A navegação é a função primária do GPS, sendo usada por usuários de aeronaves, navios, veículos, e por quaisquer indivíduos que portem um receptor portátil. Segundo Cunha et al. (1997), atualmente os receptores GPS são utilizados nas mais variadas

áreas profissionais, como por exemplo: em todos os tipos de levantamento de áreas: pontos de controle cadastral; controles geodésicos no estabelecimento de apoio para a fotogrametria, no monitoramento do vôo e posição de tomada de foto; controles ecológicos e outros.

Segundo Ribas et al. (1998), existem três tipos de receptores GPS, o de navegação com uma precisão na horizontal da ordem 100 metros e na vertical de 150 metros; o topográfico que atinge uma precisão de 1 a 5 metros e o geodésico com precisão de 1 cm $\pm 0,3$ a 2 ppm (parte por milhão).

4.4.4.7 Métodos de Levantamento

4.4.4.7.1 Método Estático

O método de posicionamento estático consiste em posicionar um receptor em um marco geodésico, no qual são conhecidas as suas coordenadas, e um segundo receptor no ponto onde se quer determina-las. Rastreado simultaneamente as estações por um intervalo de tempo recomendado, são calculadas as coordenadas tridimensionais (latitude, longitude e altitude geométrica) para o ponto desconhecido. Esse processo é o mais empregado e o que atinge maiores precisões e é usado em levantamento de pontos de apoio á restituição (Ribas et al., 1997).

4.4.4.7.2 Método Cinemático

Segundo Segantine (1999), o levantamento cinemático puro é aquele em que, inicialmente, um dos receptores é colocado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e um segundo receptor é colocado sobre um ponto qualquer. A partir daí, as duas antenas receptoras passam a coletar dados simultaneamente por alguns minutos com o objetivo de resolver as ambigüidades. Depois, a antena que estava sobre o ponto desconhecido move-se por um percurso selecionado, sendo possível determinar com bastante precisão a trajetória feita por esta antena móvel. A grande limitação do deste método está na obrigatoriedade de se manter constante a recepção dos sinais, nas duas antenas receptoras, emitidos pelos satélites.

4.4.4.7.3 Método Cinemático “Stop-and-Go” (Semi-cinemático)

Este método é uma derivação do cinemático puro, visto que, o usuário tem a opção de registrar pontos específicos do levantamento ao longo do deslocamento da antena remota. A grande vantagem deste método em relação ao cinemático puro é o aumento de precisão no posicionamento devido ao de um certo número de épocas no ponto desejado (Segantine, 1999).

4.4.4.8 Principais Fontes de Erros

Segundo Beraldo et al. (1995), o efeito da posição relativa dos satélites, em relação ao receptor é conhecido como número DOP ou diluição da precisão. Voltando ao caso plano de acordo com o que foi apresentado no posicionamento absoluto (Figura 26).

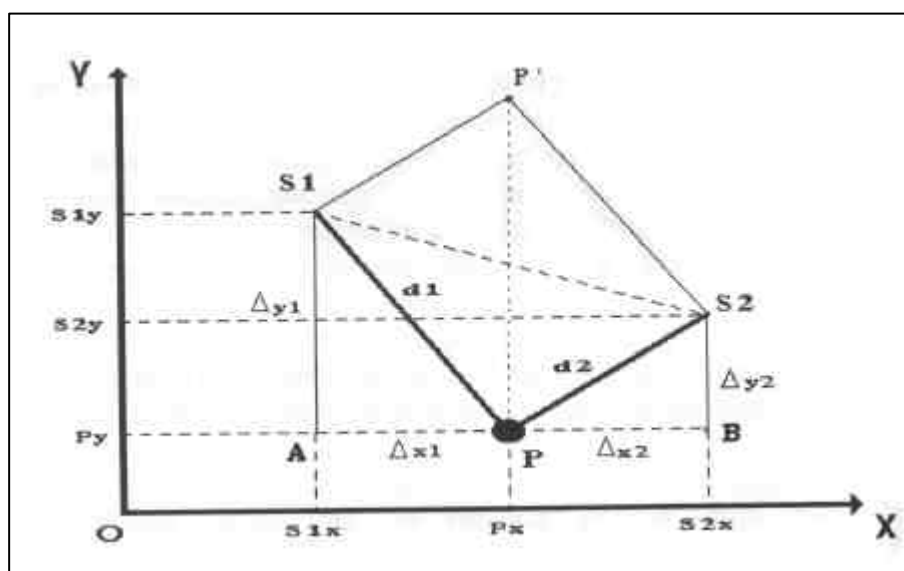


Figura 26. Lateração Plana.

Note que as coordenadas do ponto P só poderão ser calculadas pelas equações de lateração se, e somente se, os pontos S_1 , P e S_2 não forem colineares.

Extrapolando, agora, para um caso tridimensional (Figura 27):

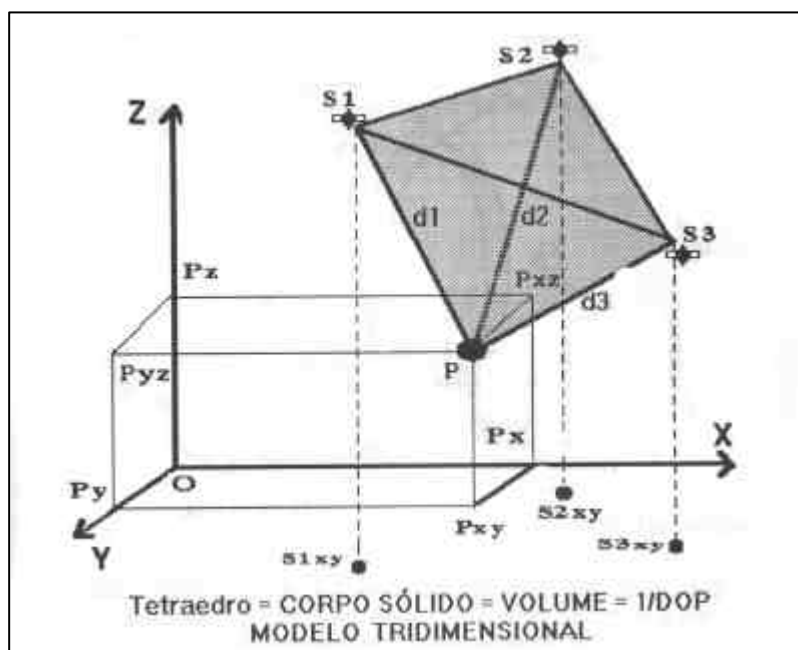


Figura 27. Corpo Sólido Gerado Pelos Satélites e o Receptor.

A Figura gerada pelos pontos S_1 , S_2 e S_3 (representando os satélites) e o ponto P (representando o rastreador) é um tetraedro, cuja base é o triângulo S_1 , S_2 e S_3 e o vértice é o ponto P .

Analogamente ao caso plano, se estes pontos forem coplanares as equações de trileração em relação ao ponto P não resolverão suas coordenadas X , Y e Z .

Suponha agora, que as distâncias PS_1 , PS_2 e PS_3 tenham um grau de incerteza representada pela espessura de uma casca esférica simbolizando o espalhamento tridimensional da frente de onda gerada por cada satélite e aqui representada pelo seu corte transversal, formando um círculo, cuja espessura representa o grau de incerteza nos cálculos das pseudo-distâncias d . A intersecção destes círculos fornecem a posição P , cujas coordenadas deseja-se conhecer.

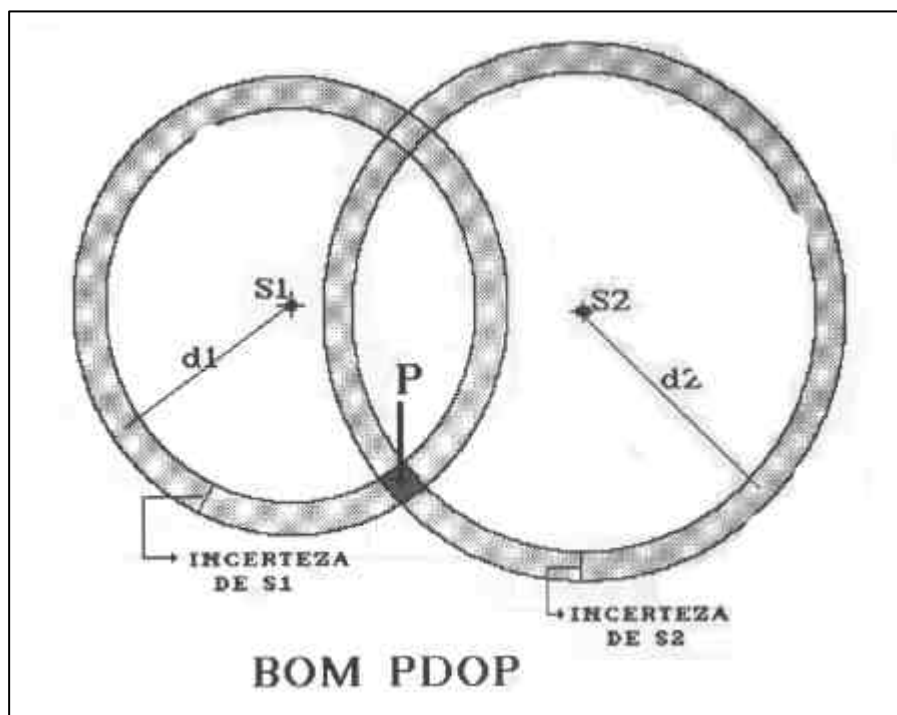


Figura 28. Receptor (P) representado pela intersecção das frentes de onda geradas pelos satélites GPS.

Pela Figura 29, a posição do ponto P é representada pela parte hachurada.

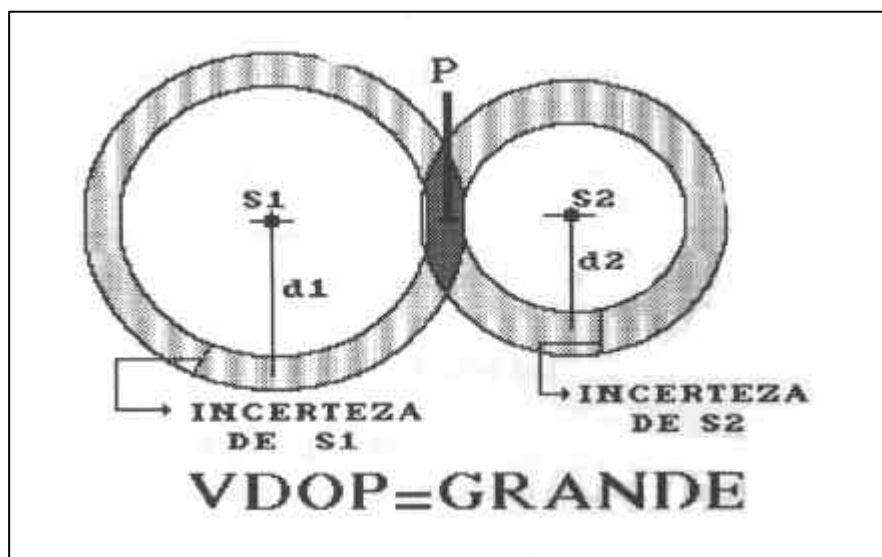


Figura 29. Representação do VDOP com Grande Deformação Vertical

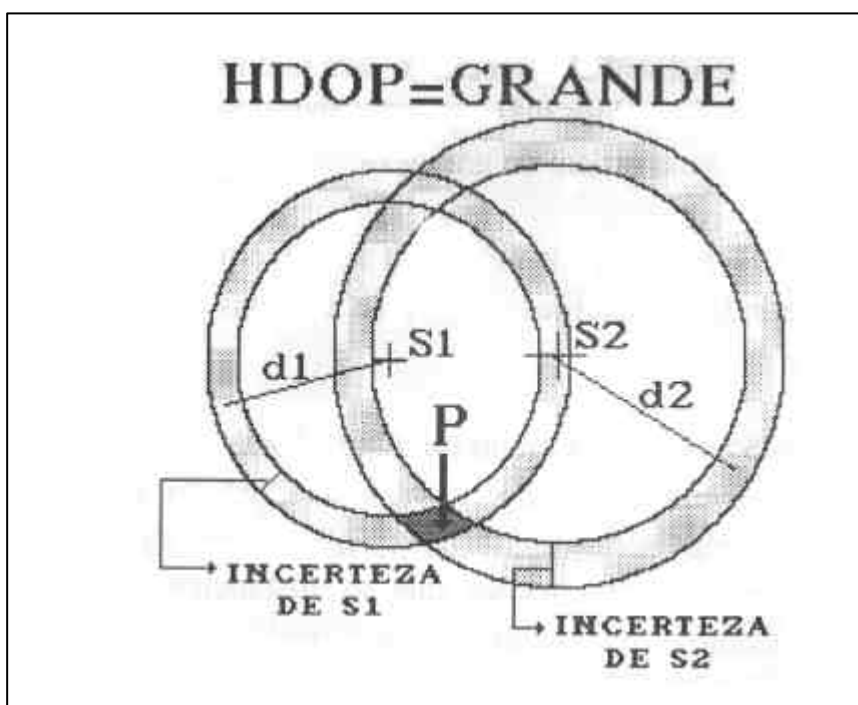


Figura 30. Representação do HDOP com Deformação Horizontal.

Nas Figuras 28, 29 e 30 pode-se perceber que o afastamento ou proximidade excessiva dos pontos S_1 e S_2 podem aumentar a parte hachurada, o que denota um aumento da incerteza do ponto P .

Para o caso plano, esta incerteza será mínima se os raios para os pontos S_1 e S_2 , partindo da área P , fizerem um ângulo de 45° com a linha horizontal em P , conforme a Figura 31.

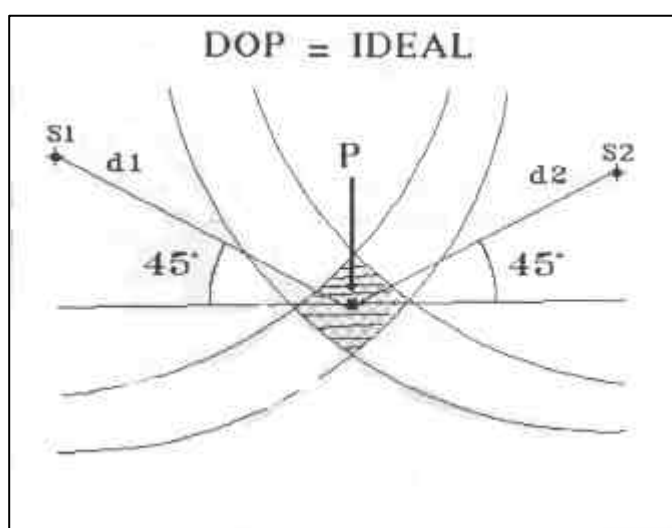


Figura 31. PDOP Caso Ideal.

No caso tridimensional esta incerteza será mínima se o volume gerado pelos pontos S_1 , S_2 e S_3 e P for máximo, considerando que as distâncias d_1 , d_2 e d_3 possuem a mesma ordem de grandeza.

Como o ponto P representa a posição a ser determinada, os pontos S_1 , S_2 e S_3 simbolizando os satélites movem-se em suas órbitas no horizonte celeste visível em P.

Se S_1 , S_2 e S_3 estiverem muito próximos, o tetraedro será alongado e sua altura será próxima a $d_1 = d_2 = d_3 = h$. Contudo se S_1 , S_2 e S_3 estiverem muito afastados (no limite do horizonte visível, por exemplo) a altura do tetraedro será bem menor que as distâncias d_1 , d_2 e d_3 ou $d = d_2 = d_3 \ll h$. Como o volume do tetraedro é dado por $V = A_b(S_1, S_2, S_3) \times h/3$ (h = altura do tetraedro), haverá um afastamento entre os satélites que garanta um volume máximo em relação a P.

Em certas ocasiões estarão visíveis mais de quatro satélites ao mesmo tempo para um determinado ponto. Cabe ao receptor, por combinação três a três em relação à sua localização, escolher quais os três satélites que serão usados para o cálculo da posição. Isto é feito escolhendo-se quais satélites produzem maior volume naquele instante.

Estes números DOP são, pois, inversamente proporcionais ao volume do corpo sólido gerado pelos satélites e o ponto a determinar. Desta forma, quanto maior o volume, menor o número DOP, conseqüentemente, melhor a precisão.

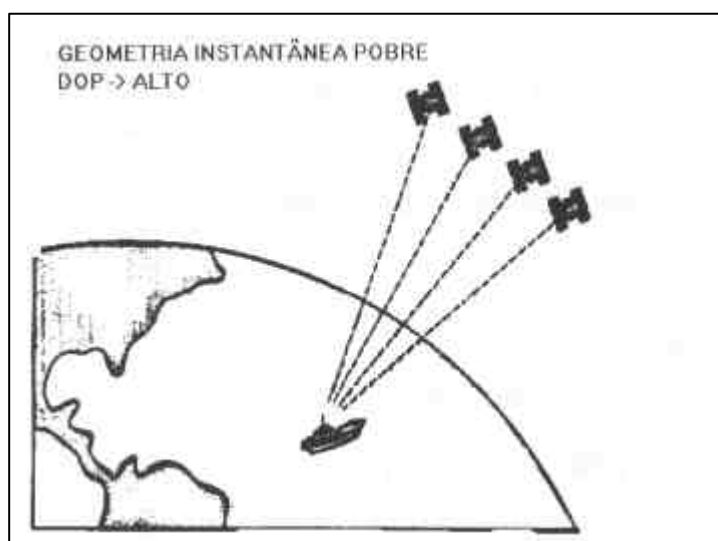


Figura 32. Situação Desfavorável Quanto à Geometria dos Satélites.

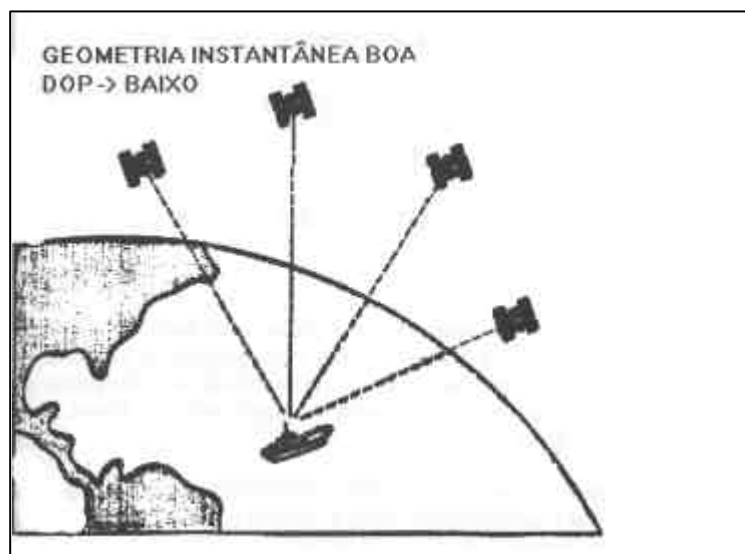


Figura 33. Situação Favorável Quanto à Geometria dos Satélites.

4.4.4.9 GPS e Levantamentos Topográficos

O levantamento topográfico com o sistema de posicionamento global – GPS é, atualmente, a alternativa mais eficaz quando consideradas as variáveis custo e produtividade. Obtendo simultaneamente dados planimétricos e altimétricos, sua comparação com os métodos de levantamento convencionais permite um ganho da ordem de 3/1 em tempo e redução substancial das equipes de campo (Gomes et al., 2001).

Vários aspectos evidenciam as vantagens do sistema GPS em relação aos métodos convencionais de levantamentos topográficos (Quadro 6), entretanto dois aspectos importantes a considerar são seu caráter tridimensional, permitindo alta precisão de medidas e, a não exigência de intervisibilidade dos pontos, fator requerido nos equipamentos convencionais como teodolito e MED, que permite ao GPS medidas em qualquer lugar da superfície terrestre (Beraldo, 1995).

Quadro 6. Vantagens e desvantagens do sistema GPS em relação aos métodos convencionais de levantamentos topográficos.

Vantagens	Desvantagens
Ligação indireta entre estações; Linhas mais longas.	Problemas com vegetação densa e alta; Vetado para túneis/minas subterrâneas.
Precisão: métodos cumprem e superam normas do IBGE e ABNT.	Área urbana alta: multicaminhamento; poucos satélites GPS.
Rapidez: automatização na coleta, processamento e exportação dos dados; linhas mais longas.	Não faz “nivelamento”; Necessita de informação geoidal.
Tridimensional: transporte simultâneo.	plani-altimétrico Custo elevado dos equipamentos e suprimentos.

A possibilidade de gerar a qualquer hora e independente das condições meteorológicas, em qualquer lugar da superfície terrestre, tem popularizado cada vez mais essa técnica de levantamento. A sua utilização, entretanto, deve ser acompanhada dos cuidados e conhecimentos básicos inerentes ao levantamento topográfico, bem como de microinformática.

O planejamento é fundamental para se reduzir o tempo efetivo de levantamento e eliminar redundâncias e preocupações desnecessárias durante as medições. Informações como infra-estrutura cartográfica da região, pontos de apoio geodésico, referências de nível, estações de referência ativas do GPS (RBMC, RIBaC), imagens de satélite etc, devem ser consideradas (Gomes et al., 2001).

4.4.4.10 GPS e a Altitude

Segundo (Blitzkw et al.,1998), ha uma expectativa de usar o sistema GPS para determinar a altitude ortométrica, evitando assim a onerosa operação do nivelamento geométrico. Ao nível de precisão que normalmente se requer a altimetria, isto não pode ser feito com o código C/A. Seria possível usar o código P e com certeza a fase de batimento da portadora.

Através das observações GPS no método diferencial, obtém-se as coordenadas cartesianas X, Y, Z de um ponto desconhecido em função das diferenças de coordenadas fornecidas pelo GPS e das coordenadas supostamente conhecidas do ponto de partida. A relação entre as coordenadas cartesianas e as geodésicas é

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \phi \operatorname{sen} \lambda \\ Z &= [N(1 - e^2) + h] \operatorname{sen} \phi \end{aligned}$$

a partir das quais o termo geodésico (ϕ , λ , h) é obtido em função de (X, Y, Z). A longitude é derivada diretamente enquanto a latitude e a altura geométrica são calculadas por um processo iterativo. A grandeza altimétrica que compõe o termo geodésico é a altura geométrica h . Esta se relaciona com a altura ortométrica H de maneira aproximada, através da altura geoidal N :

$$h = N + H$$

A aproximação é devida ao fato das três grandezas não serem co-lineares. Assim, a determinação de H utilizando o GPS implica no conhecimento da altura geoidal.

Contribuem atualmente para a determinação das alturas geoidais os modelos do geopotencial, os levantamentos gravimétricos e as observações sobre os satélites artificiais quando conduzidas sobre a rede de nivelamento. No primeiro caso é obtida a componente de longo comprimento de onda da altura geoidal. No segundo, as anomalias da gravidade são utilizadas na integral modificada de Stokes para obter a componente de curto comprimento de onda de altura geoidal. Finalmente, observações aos satélites artificiais, sobre a rede de nivelamento, permitem o uso da fórmula acima para determinar N , desde que H seja conhecido.

5 OBJETIVOS

Em irrigação e drenagem há necessidade de rigorosa consideração da planialtimetria sob pena de se elaborar projetos não condizentes com o relevo local. Admitindo-se que a tecnologia do sistema GPS ainda deixa a desejar enquanto mensuração da altimetria é conveniente conhecer a distorção entre as coordenadas, altimetria e área, em relação ao sistema convencional estação total, relativo às tolerâncias indicadas pela NBR 13.133 (ABNT).

6 MATERIAL E MÉTODO

6.1 Material

6.1.1 Estação Total

Estação Total Nikon[®] modelo DTM 300 com precisão de $\pm(5+3 \text{ ppm} \times D)$ mm.

6.1.2 Equipamentos GPS

GPS Geodésico Trimble[®] modelo 4600 LS, 8 canais, portadora L1, código C/A e software Survey *versão* 2.30; coletor Trimble[®] System Controller (TSC1) com firmware Survey Controller *versão* 6.5.

GPS Pathfinder Trimble[®] modelo PRO XR, portadora L1 e código C/A e software TRS, arquivos em formato SSF; coletor Trimble Datalogger Controller (TDC1) com firmware Survey Controller *versão* 2.7.

GPS de navegação Garmin[®] modelo 12 XL, com 12 canais de navegação.

6.1.3 Marco

Marco de concreto em formato circular com 30 cm de altura e 10,16 cm de diâmetro, contendo barra de ferro central de 10 cm de altura (Figura 34).

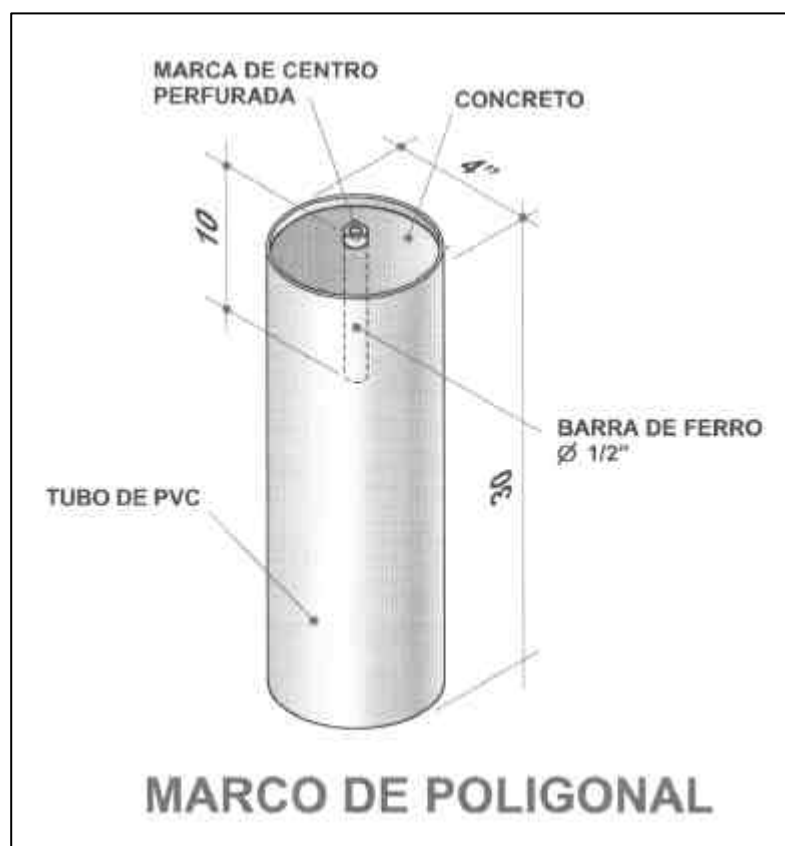


Figura 34. Marco em concreto.

6.2 Métodos

6.2.1 Levantamento dos Pontos e Construção das Poligonais

As áreas envolvidas no ensaio pertencem a Universidade Estadual Paulista – UNESP (Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Campus de São José do Rio Preto - SP e Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal - SP).

A demarcação dos pontos foi feita através da instalação de marcos de concreto -de forma aleatória – circundados por calçada de raio de 0,25 cm (Figura 35).



Figura 35. Marco implantado nas poligonais

Os polígonos foram traçados utilizando Estação Total Nikon[®] modelo DTM 300 e três diferentes equipamentos de GPS, a citar: GPS Geodésico Trimble[®] modelo 4600 LS, GPS Pathfinder Trimble[®] modelo PRO XR e GPS de navegação Garmin[®] modelo 12 XL.

As Figuras 36 e 37 representam as poligonais obtidas para as áreas ensaiadas nos Campus de São José do Rio Preto e Jaboticabal, respectivamente.

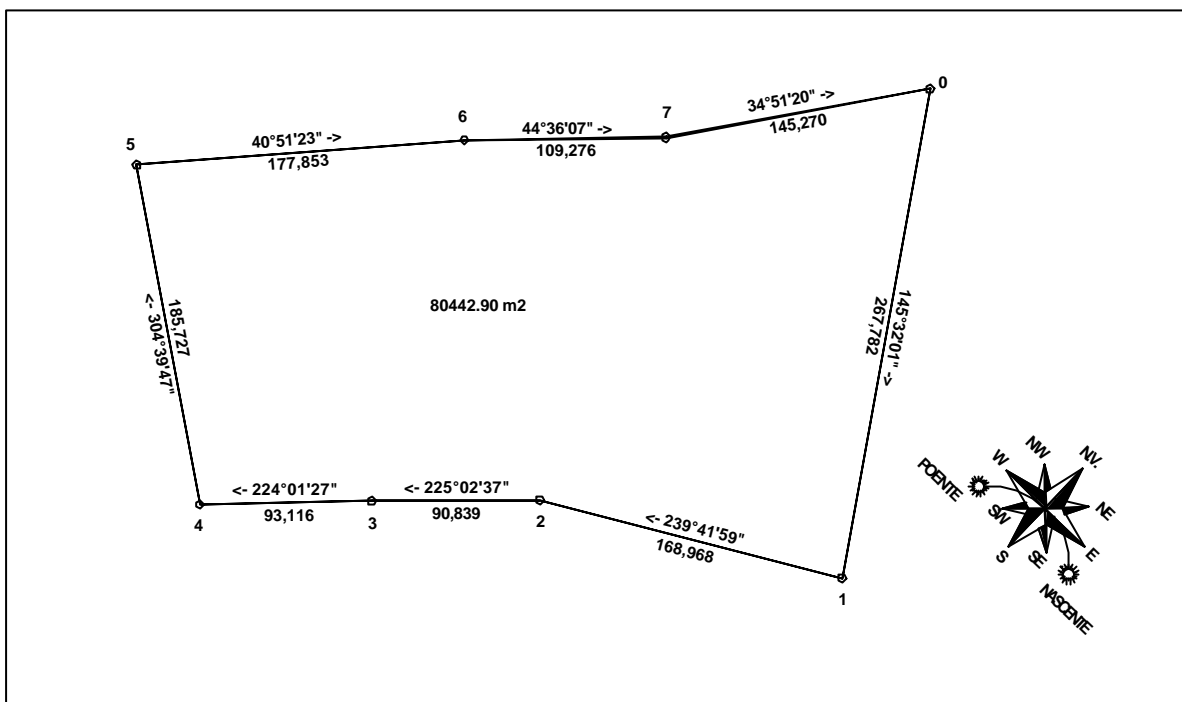


Figura 36. Poligonal obtida com o equipamento Estação Total Nikon[®] DTM 300 para São Jose do Rio Preto (SP).

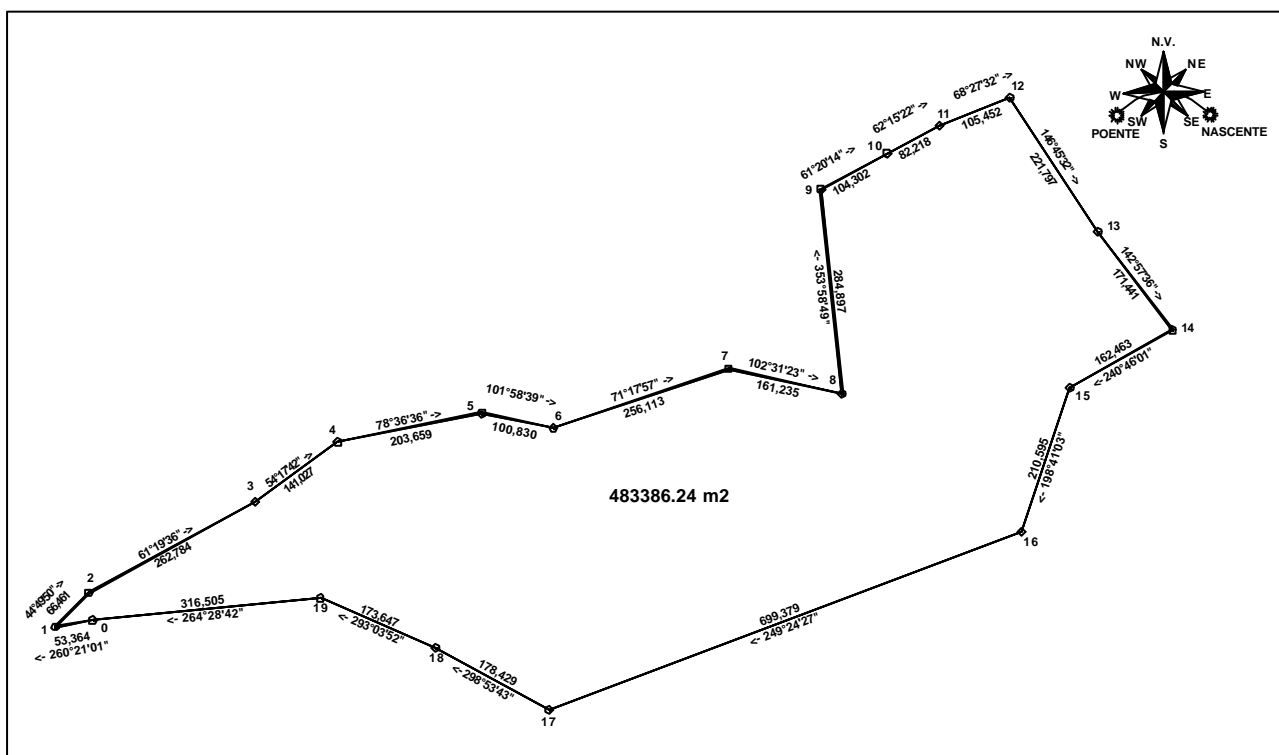


Figura 37. Poligonal obtida com o equipamento Estação Total Nikon[®] DTM 300 para Jaboticabal (SP).

As poligonais descritas obedecem à classe I PRC, segundo critérios da norma NBR 13.133 para levantamentos topográficos (Quadro 7).

Quadro 7. Rede de referência cadastral municipal – Poligonais

Classe	Metodologia		Desenvolvimento					
	Angular	Linear	Extensão máxima (L)	Lado mínima (d_{\min})	Lado médio (d_{med})	Número máximo de vértices (N)	Nivelamento geométrico dos pontos	Materiação
I PRC	Método das direções com centragem forçada, três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal vertical	Leituras recíprocas (vante e ré) com distanciômetro eletrônico Classe 2.	03 km (P)	100 m (P)	=200 m (P)	16 (P)	12 mm \sqrt{K} (I N para principal)	Marcos ou pinos
	Teodolito classe 3.		01 km (S)	50 km (S)	=100 m (S)	11 (S)	16 mm \sqrt{K} (I N para secundária)	

As tolerâncias de fechamento para a classe I PRC são:

- a) Tipo 1 – poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto.

$$\text{Angular: } T_a \leq a + b\sqrt{N}$$

$$\text{Linear após a compensação angular: } T_p \leq c + d\sqrt{L(\text{km})}$$

$$\text{Erro relativo linear após a compensação angular: } e_e \leq \frac{T_p}{L}$$

- b) Tipo 2 – poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo.

$$\text{Angular: } T_a \leq a + b\sqrt{N}$$

$$\text{Linear após a compensação angular: } T_p \leq c + d\sqrt{L(km)}$$

$$\text{Erro relativo linear após a compensação angular: } e_r \leq \frac{T_p}{L}$$

- c) Tipo 3 – Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo.

$$\text{Angular: } T_a \leq a + b\sqrt{N}$$

$$\text{Transversal antes da compensação angular: } T_t \leq c + eL(km)\sqrt{N-1}$$

$$\text{Longitudinal antes da compensação angular: } T_L \leq c + f\sqrt{L(km)}$$

$$\text{Erro relativo linear após a compensação angular: } e_r \leq \frac{T_p}{L}$$

onde:

a = erro médio angular da rede de apoio multiplicado por $\sqrt{2}$ (duas direções)

b = coeficiente de tolerância para o erro de medição angular

c = erro médio de posição dos pontos de apoio de ordem superior multiplicado por $\sqrt{2}$ (duas direções)

d = coeficiente de tolerância para o erro de fechamento linear em m/km

e = coeficiente de tolerância para o erro transversal acarretado pelo erro angular em m/km

f = coeficiente de tolerância para o erro longitudinal acarretado pelo erro da medição linear.

O item descrito anteriormente vale para compensação e ajustamento. Para ajustamento ainda tem-se o valor máximo aceitáveis a seguir:

- a) para erro médio relativo entre quaisquer duas estações poligonais

$$e_{rD} \leq \frac{T_p}{D_{med} \sqrt{N-1}} = \frac{T_p (N-1)}{L_m \sqrt{N-1}}$$

$$D_{med} = \frac{L_m}{N-1}$$

onde:

e_{rD} = erro médio relativo máximo aceitável entre duas estações poligonais após o ajustamento

T_p = tolerância do erro de fechamento linear após a compensação angular

L_m = extensão da poligonal em m

N = número de estações da poligonal

b) para erro médio em azimute

$$e_{AZ} \leq \pm \frac{Ta}{\sqrt{N}}$$

onde:

e_{AZ} = erro médio máximo aceitável em azimute, após ajustamento

Ta = tolerância do fechamento angular

c) para erro médio em coordenadas (de posição)

$$e_v \leq \pm e_{rD} \cdot D_{med}$$

onde:

e_v = erro médio máximo aceitável em coordenadas (de posição), após ajustamento

e_{rD} = erro médio relativo máximo aceitável entre quaisquer duas estações poligonais

d) para erro relativo em coordenadas (de posição)

$$e_{rD} \leq \pm \sqrt{\frac{cx^2 + cy^2}{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$$

e) erro relativo em azimute

$$e_{AZ} \leq \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta a^2}{N-1}}$$

f) erro médio de coordenadas (de posição)

$$e_v = \pm \sqrt{\frac{\sum (cx^2 + cy^2)}{N - 2}}$$

onde:

Δx e Δy = coordenadas relativas ou projeções dos lados;

cx e cy = correções aplicadas na compensação respectivamente para coordenadas relativas Δx e Δy ;

Δa = diferença entre o ângulo observado e o cálculo após o ajustamento;

N = número de vértices poligonais, incluindo os de chegada e partida.

6.2.2 Levantamento Utilizando Receptores GPS

6.2.2.1 GPS Trimble[®] modelo 4600 LS

O levantamento dos pontos para construção da poligonal foi executado segundo o método estático. Uma das antenas ocupou um marco de coordenada conhecida, vértice geodésico da rede GPS, conforme mostra a Figura 4.5. Outra antena – onde é feita a inicialização para resolução da ambigüidade – partiu de um ponto da poligonal obtida pela Estação Total e, após vinte minutos, iniciou-se o levantamento dos demais pontos.

Os dados foram coletados usando coletor *Trimble System Controller* (TSC1), processados e os resultados foram plotados e comparados com as coordenadas, altitudes relativa, distâncias e azimutes encontrados com a Estação Total.

6.2.2.2 GPS Pathfinder Trimble[®] modelo PRO XR

O levantamento dos pontos para construção da poligonal foi executado seguindo método pós-processado. Os dados do receptor fixo - com base nas cidades de São Paulo e Quatá (SP) - foram capturados, via internet, em bloco a cada 1 hora pela empresa

fornecedora do equipamento, utilizando o software TRS em arquivos sob formato SSF. O receptor móvel – onde é feita a inicialização do levantamento - coletou dados a uma taxa de 5 segundos. Neste tipo de levantamento não pode haver perda de sinal para um tempo de trabalho de no mínimo de vinte minutos.

Os dados foram coletados usando coletor *Trimble Datalogger Controller* (TDC1), processados e os resultados foram plotados e comparados com as coordenadas, altitudes relativas, distâncias e azimutes encontrados com a Estação Total.

6.2.2.3 GPS Garmin[®] modelo 12 XL

Para o equipamento de GPS de navegação GARMIN 12 XL, o levantamento foi executado no método em tempo real, os dados anotados em uma caderneta de campo (latitude e longitude), processado e os resultados foram plotados e comparados com as distâncias e azimutes encontrados com a Estação Total.

Todos os resultados obtidos através dos equipamentos de GPS foram projetados nas coordenadas do sistema WGS-84, seguindo as normas de conversão foram também transformada na superfícies de referência (UTM e Geodésicas geográficas SAD69-Brasil).

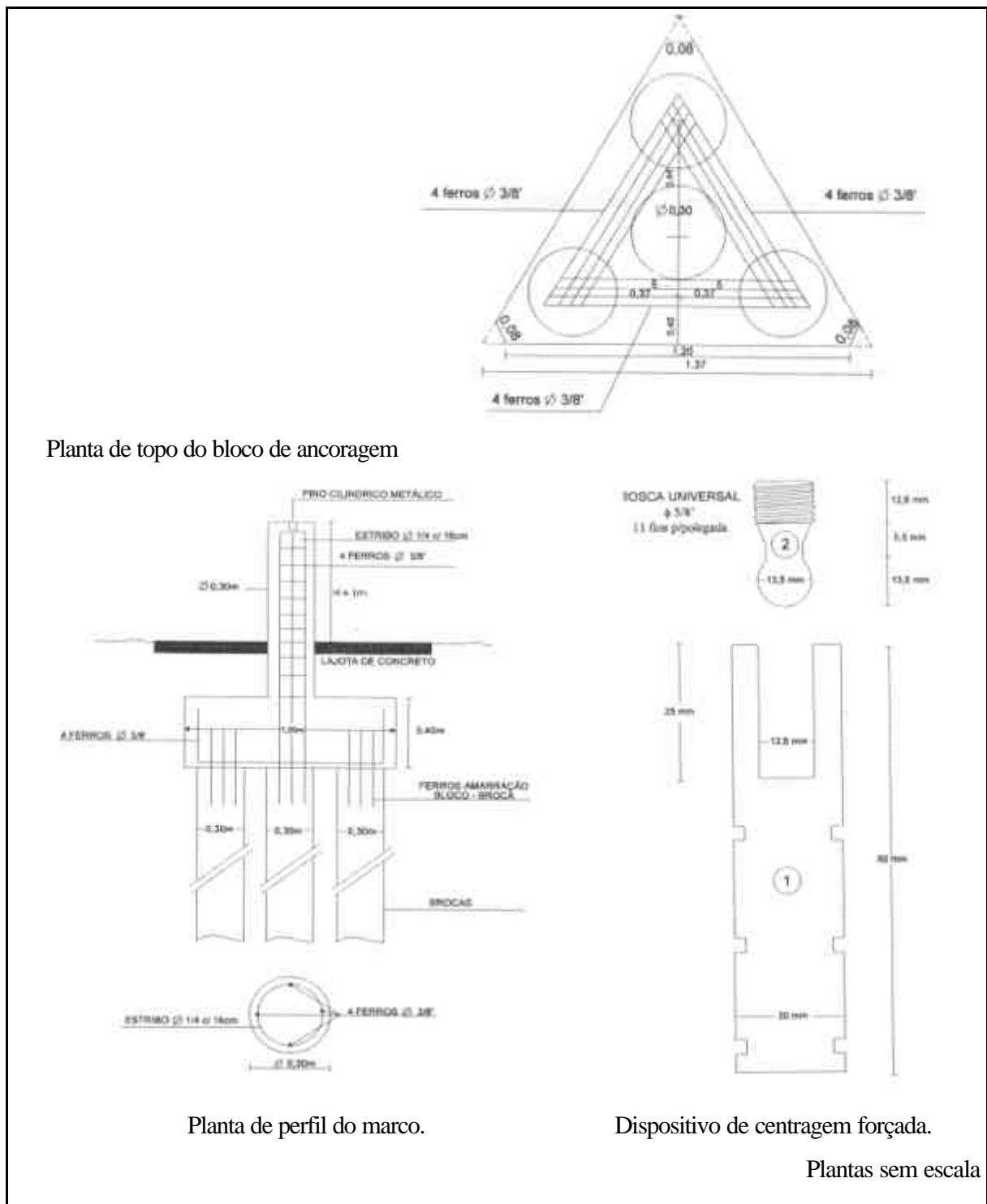


Figura 38. Vértice Geodésico da Rede GPS do Estado de São Paulo.

6.2.3 Levantamento Utilizando Estação Total

Para o método convencional usando a Estação Total o levantamento da poligonal, é seguindo visadas à ré e a vante dos alinhamentos da poligonal, descrita pelos pontos utilizados no levantamento por GPS, apenas no contorno do polígono, com a determinação dos azimutes, distancias, área e altimetria, foi realizado segundo normas da NBR 13133 (1994).

A necessidade da obtenção dos ângulos se faz devido o cálculo das coordenadas dos pontos, no sistema de referência local, para que se possa executar posterior transformação de sistema, no caso o sistema de coordenada Universal Transverso de Mercator (UTM) adotado no Brasil.

As Estações Totais, compensam os erros de eixo, excentricidade e graduação e os seus ângulos já são uma média de leituras, e ainda o comprimento dos lados da poligonal deve ser na medida do possível, constante, evitando a existência simultânea de lados muito longos e muitos curtos. As distâncias inclinadas, obtidas por medidores eletrônicos de distâncias, devem ser reduzidas no plano horizontal levando em conta o ângulo de inclinação ou zenital lido. Quando a distância for suficientemente pequena não é necessário corrigir o ângulo de inclinação ou zenital da refericidade da Terra. As distancias horizontais (pequenas) ou distâncias esféricas devem levar em conta o nível de referência altimétrica do sistema de projeção topográfica para a redução ao nível do mar, sendo que esta redução é dada por:

$$\Delta D = -\frac{h_m}{H + R_m} \cdot D$$

Neste levantamento as distâncias foram obtidas com a Estação Total DTM 300, sem a correção ppm, e a altitude dos pontos da poligonal foram obtidas por nivelamento trigonométrico, a partir de um marco oficial de altitude conhecida que faz parte do levantamento. Para aumentar a precisão do nivelamento trigonométrico usou-se dado obtido a partir de trena.

Segundo Maia (1999) o erro de fechamento da poligonal é dado pelo somatório das diferenças de nível entre os centros ótico dos instrumentos. Para a verificação e comparação da medida da altura do instrumento foi também realizados a leitura da mesma com o auxílio da trena medindo-se do ponto instalado até a marca lateral do equipamento e

com um pino de ferro graduado que se encaixa no centro do parafuso de pressão de base do teodolito no tripé apoiado-se no fundo do teodolito servindo-se como marca de medida da trena até o piquete. A medida da altura do instrumento neste caso é realizada com trena medindo-se da ponta do parafuso até o piquete somando-se ao valor a quantidade graduada do pino de ferro que reflete a altura do centro ótico do teodolito até a ponta deste mesmo pino, no caso 350 mm.

A Figura 39 representa o processo de leitura da altura do instrumento utilizado. Em um teste inicial a diferença entre a trena e o pino ficou entre 1 e 2 mm e, a diferença entre o pino e a altura do instrumento calculada pela diferença de nível trigonométrica foi menor do que 1 mm.

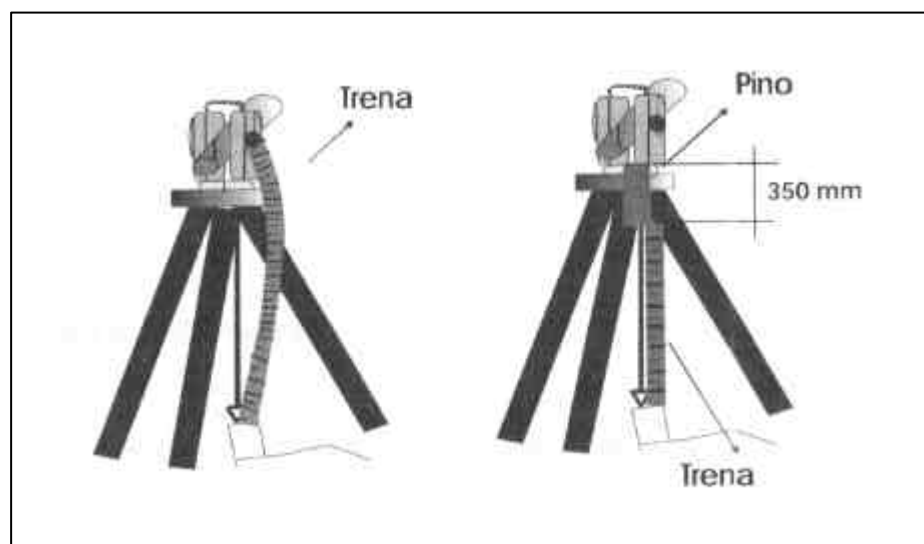


Figura 39. Representação da medida da altura do instrumento usando trena e pino graduado.

6.2.4 Determinação das Coordenadas

As coordenadas foram obtidas a partir das coordenadas conhecidas dos pontos inicial de cada poligonal, ajustadas e corrigidas. Após a obtenção das coordenadas corrigidas estas foram transformadas para o sistema cartesiano geodésico e o sistema UTM de projeção para comparação com as coordenadas obtidas por GPS, fazendo também análise das distâncias, azimutes, áreas e altitudes.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Levantamentos de Campo e Comparação Estatística para a Unidade de São José do Rio Preto/UNESP.

O Quadro 8 mostra o quadro de erros de fechamento da poligonal realizado com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300 para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP). Os erros obtidos para o levantamento topográfico através de equipamento de Estação Total para a unidade de São José do Rio Preto (SP) estão em conformidade com os limites de tolerâncias recomendados pela NBR 13.133 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Segundo estas normas o erro máximo admitido nesta poligonal de fechamento angular é de $0^{\circ} 00' 54''$, e o erro relativo seria de 1:2000 a 1:5000.

Quadro 8. Erros de fechamento da poligonal realizado com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300 para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	Valores
Erro Angular	$0^{\circ} 00' 30''$
Erro Linear	- 0,0909 m
Este (X)	- 0,0048 m
Norte (Y)	0,0908 m
Erro Relativo	1:53637
Erro Altimétrico relativo	0,003 m

Os Quadros apresentam os quadros comparativos das áreas, azimutes, distâncias, altitudes, coordenadas e Δx , Δy e Δz , respectivamente, obtidos com os equipamentos de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e GPS Trimble® de navegação 12 XL em comparação com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300, para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

Quadro 9. Valores das Coordenadas da poligonal do Campus de São Jose do Rio Preto

Pontos	Estação Total		GPS 4600 LS		GPS PRO XR		GPS NAV. 12 XL	
	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y
0	670.791,218	7.701.079,987	670.791,190	7.701.080,010	670.793,179	7.701.082,198	670.792,950	7.701.081,328
1	670.942,762	7.700.859,212	670.942,762	7.700.859,212	670.942,762	7.700.859,212	670.942,762	7.700.859,212
2	670.796,876	7.700.773,962	670.796,810	7.700.773,890	670.799,875	7.700.776,876	670.795,777	7.700.790,364
3	670.732,594	7.700.709,778	670.732,650	7.700.709,850	670.730,341	7.700.712,682	670.731,524	7.700.728,893
4	670.667,882	7.700.642,823	670.667,960	7.700.643,090	670.665,585	7.700.647,173	670.664,386	7.700.668,067
5	670.515,119	7.700.748,455	670.515,210	7.700.748,470	670.514,773	7.700.752,310	670.517,848	7.700.763,047
6	670.631,464	7.700.882,974	670.631,560	7.700.883,070	670.631,099	7.700.886,626	670.637,678	7.700.886,078
7	670.708,195	7.700.960,779	670.708,220	7.700.960,840	670.708,677	7.700.964,253	670.708,005	7.700.976,089

Quadro 10. Valores dos Δ entre Estação Total e GPSs de São Jose do Rio Preto/UNESP(SP)

Pontos	GPS 4600 LS		GPS PRO XR		GPS NAV. 12 XL	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
0	0,0280	-0,0230	-1,9610	-2,2110	-1,7320	-1,3410
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0660	0,0720	-2,9990	-2,9140	1,0990	-16,4020
3	-0,0560	-0,0720	2,2530	-2,9040	1,0700	-19,1150
4	-0,0780	-0,2670	2,2970	-4,3500	3,4960	-25,2440
5	-0,0910	-0,0150	0,3460	-3,8550	-2,7290	-14,5920
6	-0,0960	-0,0960	0,3650	-3,6520	-6,2140	-3,1040
7	-0,0250	-0,0610	-0,4820	-3,4740	0,1900	-15,3100

Quadro 11. Valores de áreas (m^2) obtidos com os diferentes equipamentos de GPS e o equipamento de Estação Total, para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP(SP).

<i>Equipamento</i>	<i>Área (m^2)</i>	<i>Erro Absoluto</i>	<i>Erro relativo (%)</i>
<i>Estação Total Nikon⁰ DTM 300 (m^2)</i>	80.442,900	-	-
<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS (m^2)</i>	80.405,730	37,17	0,046
<i>GPS Trimble⁰ PRO XR (m^2)</i>	80.550,630	107,73	0,134
<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL (m^2)</i>	75.238,650	5204,25	6,469

A análise dos valores de áreas obtidos com os diferentes equipamentos de GPS relativos à área obtida com o equipamento de Estação Total mostrou valores de erro absoluto e erro relativo significativamente maiores para o equipamento de GPS Garmin[®] de navegação 12 XL que os equipamentos GPS Trimble[®] geodésico 4600 LS e GPS Trimble[®] topográfico PRO XR (Quadro 11).

Com relação a azimutes e distâncias, variações destes valores podem gerar erros significativos nas coordenadas X, Y e nos valores de área. Tomando como exemplo o valor de ? do azimute para o alinhamento 1-2 (Quadro 12), ou seja, 5° 12'07" para uma distância imaginária de 1000 metros, teríamos um deslocamento que daria um acréscimo na área na ordem de 4,55 hectares.

Quadro 12. Comparativo dos azimutes para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).

<i>Ponto</i>	<i>Estação Total Nikon⁰ DTM 300</i>	<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble⁰ PRO XR</i>	<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL</i>
0-1	145□ 32' 01"	145□ 31' 53"	146□ 08' 44"	146□ 00' 05"
1-2	239□ 41' 59"	239□ 41' 24"	240□ 02' 53"	244□ 54' 06"
2-3	225□ 02' 37"	225□ 03' 13"	227□ 17' 12"	226□ 16' 03"
3-4	224□ 01' 27"	224□ 05' 52"	224□ 40' 08"	227□ 49' 26"
4-5	304□ 39' 47"	304□ 36' 04"	304□ 52' 55"	302□ 56' 59"
5-6	40□ 51' 23"	40□ 50' 26"	40□ 53' 41"	44□ 14' 42"
6-7	44□ 36' 07"	44□ 35' 17"	44□ 58' 55"	38□ 00' 04"
7-0	34□ 51' 20"	34□ 50' 49"	35□ 37' 11"	38□ 54' 33"

Quadro 13. Comparativo das distâncias para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).

<i>Ponto</i>	<i>Estação Total Nikon⁰ DTM 300</i>	<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble⁰ PRO XR</i>	<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL</i>
0-1	267,782 m	267,817 m	268,510 m	267,916 m
1-2	168,968 m	169,062 m	164,912 m	162,310 m
2-3	90,839 m	90,651 m	94,635 m	88,922 m
3-4	93,119 m	92,961 m	92,113 m	90,594 m
4-5	185,727 m	185,573 m	183,842 m	174,627 m
5-6	177,853 m	177,917 m	177,687 m	171,744 m
6-7	109,276 m	109,201 m	109,747 m	114,227 m
7-0	145,270 m	145,209 m	145,092 m	135,244 m

Quadro 14. Comparativo das altitudes relativas para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).

<i>Ponto</i>	<i>Estação Total Nikon⁰ DTM 300</i>	<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble⁰ PRO XR</i>	<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL</i>
0	527,839 m	538,165 m	523,872 m	555,226 m
1	527,890 m	528,076 m	528,076 m	528,076 m
2	532,336 m	542,544 m	547,049 m	559,224 m
3	531,535 m	541,877 m	525,661 m	563,223 m
4	528,792 m	539,203 m	528,011 m	558,222 m
5	528,050 m	538,210 m	527,4360 m	562,222 m
6	532,930 m	543,181 m	528,346 m	567,224 m
7	532,181 m	542,417 m	527,650 m	572,225 m

Quadro 15. Comparativo dos ? altimétrico relativo, para a unidade de São Jose do Rio Preto/UNESP (SP).

<i>Ponto</i>	<i>? Altimétrico relativo</i>		
	<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble⁰ PRO XR</i>	<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL</i>
0	0,035 m	0,728 m	0,134 m
1	0,094 m	4,056 m	6,658 m
2	0,188 m	3,796 m	1,917 m
3	0,158 m	1,006 m	2,525 m
4	0,154 m	1,885 m	11,100 m
5	0,064 m	0,166 m	6,109 m
6	0,075 m	0,471 m	4,951 m
7	0,061 m	0,178 m	10,026 m

Observando os valores de δ altimétrico relativo (Quadro 15) obtidos através dos equipamentos de GPS topográfico Trimble[®] PRO XR e GPS Garmin[®] de navegação 12XL, erros elevados foram observados (valores de leitura direta de altitude relativa obtidas diretamente no GPS).

Os Quadros 16, 17 e 18 mostram os valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, respectivamente, entre o equipamento GPS Trimble[®] geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, utilizando teste t ao nível de significância de 5%, para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

Quadro 16. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble[®] geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	670723,2638	670723,2953
Variância	16192,67341	16181,62319
Observações	8	8
Variância agrupada	16187,1483	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-0,000495171	
P(T \leq t) uni-caudal	0,499805949	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T \leq t) bi-caudal	0,999611897	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

Quadro 17. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	7700832,246	7700832,304
Variância	20356,33929	20345,47321
Observações	8	8
Variância agrupada	20350,90625	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-0,000809637	
P(T<=t) uni-caudal	0,499682714	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,999365427	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

Quadro 18. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativa Z entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	530,194125	539,209125
Variância	5,033870125	24,33430841
Observações	8	8
Variância agrupada	14,68408927	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-4,705136408	
P(T<=t) uni-caudal	0,000168946	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,000337892	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

A análise dos valores de σ_x , σ_y e σ_z para o equipamento GPS Trimble® geodésico 4600 LS em relação a Estação Total Nikon® DTM 300 mostrou uma variação na

primeira casa decimal (Quadro 9, 10 e 15). A comparação estatística dos valores das coordenadas X, Y e altitude relativa Z – utilizando teste t para variâncias equivalentes, ao nível de significância de 5% -, permitiu observar que as médias das coordenadas X ($t = 0,000495$), coordenadas Y ($t = 0,000809$) para o equipamento GPS Trimble® geodésico 4600 LS não apresentou diferenças significativas em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadro 16 e 17) a altitude Z ($t = 4,705136$) para o equipamento GPS Trimble® geodésico 4600 LS apresentou diferenças significativas em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadro18).

Os Quadro 19, 20 e 21 mostram os valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, respectivamente, entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, utilizando teste t ao nível de significância de 5%, para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

Quadro 19. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	670723,2638	670723,2864
Variância	16192,67341	16355,61949
Observações	8	8
Variância agrupada	16274,14645	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-0,000354707	
P(T<=t) uni-caudal	0,499860995	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,99972199	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

Quadro 20. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	7700832,246	7700835,2
Variância	20356,33929	20217,295
Observações	8	8
Variância agrupada	20286,81696	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-0,04100208	
P(T<=t) uni-caudal	0,483936621	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,967873243	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

Quadro 21. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativa Z entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	530,194125	529,51263
Variância	5,033870125	52,519663
Observações	8	8
Variância agrupada	28,77676648	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	0,254082562	
P(T<=t) uni-caudal	0,401562757	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,803125514	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

A análise dos valores de σ_x e σ_y para o equipamento GPS Trimble® topográfico PRO XR em relação a Estação Total Nikon® DTM 300 mostrou uma variação na

unidade; os valores de σ_z mostraram diferenças na primeira casa decimal (Quadro 9, 10 e 15). A comparação estatística dos valores das coordenadas X, Y e altitude relativa Z – utilizando teste t para variâncias equivalentes, ao nível de significância de 5% -, permitiu observar que as médias das coordenadas X ($t = 0,000354$), coordenadas Y ($t = 0,041002$) e altitude Z ($t = 0,254082$) para o equipamento GPS Trimble® topográfico PRO XR não apresentaram diferenças significativas em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadro 19, 20 e 21).

Os Quadros 22, 23 e 24 mostram os valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, respectivamente, entre o equipamento GPS Garmin® de navegação modelo 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, utilizando teste t ao nível de significância de 5%, para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

Quadro 22. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Garmin® de navegação modelo 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	670723,2638	670723,8663
Variância	16192,67341	15939,87493
Observações	8	8
Variância agrupada	16066,27417	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-0,009506693	
P(T<=t) uni-caudal	0,496274506	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,992549013	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

Quadro 23. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Garmin® de navegação modelo 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste *t* (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	7700832,246	7700844,135
Variância	20356,33929	18486,59821
Observações	8	8
Variância agrupada	19421,46875	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-0,170614533	
P(T<=t) uni-caudal	0,433484024	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,866968048	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

Quadro 24. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Garmin® de navegação modelo 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste *t* (nível de significância de 5%) – unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	530,194125	558,20525
Variância	5,033870125	176,6984436
Observações	8	8
Variância agrupada	90,86615688	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	-5,877051103	
P(T<=t) uni-caudal	2,01257E-05	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	4,02514E-05	
t crítico bi-caudal	2,144788596	

A análise dos valores de σ_x , σ_y e σ_z para o equipamento GPS Garmin® de navegação 12XL em relação a Estação Total Nikon® DTM 300 mostraram diferenças na primeira e segunda casa decimal (Quadro 9, 10 e 15). A comparação estatística dos valores das coordenadas X, Y e altitude Z – utilizando teste *t* para variâncias equivalentes, ao nível de

significância de 5% -, permitiu observar que as médias das coordenadas X ($t = 0,009506$), coordenadas Y ($t = 0,170614$) para o equipamento GPS Garmin® de navegação 12XL e Estação Total Nikon® DTM 300 são iguais entre si, entretanto diferenças significativas foram observadas entre as médias das coordenadas Z ($t = 5,877051$) para o equipamento GPS Garmin® de navegação 12XL em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadro 22, 23 e 24).

O Quadro 25 mostra os valores de t obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, ao nível de significância de 5%, para os equipamentos GPS em estudo e a Estação Total Nikon® DTM 300 para a unidade de São José do Rio Preto/UNESP (SP).

Quadro 25. Comparativo dos valores de t , das coordenadas X, Y e Z, obtidas através dos equipamentos de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e GPS Garmin® de navegação 12 XL em relação à Estação Total Nikon® modelo DTM 300, para a unidade de São Jose do Rio Preto.

Coordenadas	Valores de t		
	GPS Trimble® 4600 LS	GPS Trimble® PRO XR	GPS Garmin® de navegação 12XL
X	-0,000495171	-0,000354707	-0,009506693
Y	-0,000809637	-0,04100208	-0,170614533
Z	-4,705136408	0,254082562	-5,877051103

* t critico bi-caudal = 2,144788596

A análise dos valores de t , das coordenadas X, Y e Z, obtidas para os equipamentos GPS em relação à Estação Total Nikon® DTM 300, para a unidade de São Jose do Rio Preto, mostrou melhores resultados para o equipamento de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, seguido pelo equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e, finalmente, com pior performance o equipamento de GPS Garmin® de navegação 12 XL (Quadro 25).

7.2 Levantamentos de Campo e Comparação Estatística para a Unidade de Jaboticabal/UNESP.

O Quadro 26 mostra o quadro de erros de fechamento da poligonal realizado com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300 para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP). Os erros obtidos para o levantamento topográfico através de equipamento de Estação Total para a unidade de Jaboticabal (SP) estão em conformidade com os limites de tolerâncias recomendados pela NBR 13.133 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Segundo estas normas o erro máximo admitido nesta poligonal de fechamento angular é de $0^{\circ} 01'29''$, e o erro relativo seria de 1:2000 a 1:5000.

Quadro 26. Erros de fechamento das poligonais realizado com a Estação Total Nikon® DTM 300 para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).

	<i>Valores</i>
Erro Angular	$0^{\circ} 00' 25''$
Erro Linear	0,1451 m
Este (X)	- 0,0170 m
Norte (Y)	0,1441 m
Erro Relativo	1:59305
Erro Altimétrica	0,008 m

Os Quadro 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33 apresentam os quadros comparativos das áreas, azimutes, distâncias, altitudes, coordenadas x , y e z , respectivamente, obtidos com os equipamentos de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e GPS Garmin® de navegação 12 XL em comparação com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300, para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

Quadro 27. Valores das Coordenadas da poligonal do Campus de Jaboticabal/UNESP(SP)

Pontos	Estação Total		GPS 4600 LS		GPS PRO XR		GPS NAV. 12 XL	
	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y
0	779.866,795	7.648.275,597	779.866,852	7.648.275,460	779.867,154	7.648.273,703	779.870,133	7.648.264,924
1	779.814,186	7.648.266,652	779.814,201	7.648.266,508	779.814,696	7.648.267,922	779.815,170	7.648.256,629
2	779.861,042	7.648.313,786	779.861,055	7.648.313,818	779.856,325	7.648.313,678	779.865,046	7.648.305,022
3	780.091,601	7.648.439,874	780.091,727	7.648.439,959	780.091,264	7.648.441,828	780.095,131	7.648.430,360
4	780.206,119	7.648.522,179	780.206,286	7.648.522,314	780.206,313	7.648.524,125	780.209,048	7.648.511,514
5	780.405,767	7.648.562,399	780.406,019	7.648.562,566	780.407,924	7.648.564,075	780.408,767	7.648.548,111
6	780.504,402	7.648.541,474	780.504,692	7.648.541,643	780.538,228	7.648.512,956	780.506,580	7.648.531,050
7	780.746,994	7.648.623,591	780.747,376	7.648.623,826	780.748,235	7.648.623,316	780.740,924	7.648.618,862
8	780.904,393	7.648.588,630	780.904,876	7.648.588,882	780.904,291	7.648.588,135	780.901,936	7.648.585,327
9	780.874,515	7.648.871,956	780.874,969	7.648.872,332	780.875,525	7.648.870,977	780.878,664	7.648.860,161
10	780.966,036	7.648.921,985	780.966,521	7.648.922,382	780.967,024	7.648.923,355	780.968,984	7.648.910,936
11	781.038,802	7.648.960,259	781.039,319	7.648.960,663	781.040,264	7.648.961,684	781.044,671	7.648.949,651
12	781.136,889	7.648.998,978	781.137,436	7.648.999,437	781.138,640	7.649.000,239	781.143,487	7.648.991,047
13	781.258,470	7.648.813,473	781.259,130	7.648.813,871	781.259,981	7.648.814,057	781.261,531	7.648.807,434
14	781.361,741	7.648.676,626	781.362,476	7.648.676,996	781.361,677	7.648.677,504	781.356,405	7.648.669,871
15	781.219,969	7.648.597,285	781.220,668	7.648.597,579	781.221,316	7.648.597,951	781.219,455	7.648.592,197
16	781.152,505	7.648.397,789	781.153,215	7.648.398,011	781.154,516	7.648.397,584	781.153,344	7.648.387,633
17	780.497,813	7.648.151,803	780.498,202	7.648.151,770	780.519,888	7.648.162,489	780.496,228	7.648.145,992
18	780.341,598	7.648.238,022	780.341,900	7.648.237,990	780.341,501	7.648.237,912	780.336,114	7.648.231,831
19	780.181,831	7.648.306,051	780.182,025	7.648.305,980	780.182,918	7.648.305,132	781.909,310	7.648.269,494

Quadro 28. Valores dos ? entre Estação Total e GPSs de Jaboticabal/UNESP(SP)

Pontos	GPS 4600 LS		GPS PRO XR		GPS NAV. 12 XL	
	? X	? Y	? X	? Y	? X	? Y
0	-0,0570	0,1370	-0,3590	1,8940	-3,3380	10,6730
1	-0,0150	0,1440	-0,5100	-1,2700	-0,9840	10,0230
2	-0,0130	-0,0320	4,7170	0,1080	-4,0040	8,7640
3	-0,1260	-0,0850	0,3370	-1,9540	-3,5300	9,5140
4	-0,1670	-0,1350	-0,1940	-1,9460	-2,9290	10,6650
5	-0,2520	-0,1670	-2,1570	-1,6760	-3,0000	14,2880
6	-0,2900	-0,1690	-33,8266	28,5175	-2,1780	10,4240
7	-0,3820	-0,2350	-1,2410	0,2750	6,0700	4,7290
8	-0,4830	-0,2520	0,1020	0,4950	2,4570	3,3030
9	-0,4540	-0,3760	-1,0100	0,9790	-4,1490	11,7950
10	-0,4850	-0,3970	-0,9880	-1,3700	-2,9480	11,0490
11	-0,5170	-0,4040	-1,4620	-1,4250	-5,8690	10,6080
12	-0,5470	-0,4590	-1,7510	-1,2610	-6,5980	7,9310
13	-0,6600	-0,3980	-1,5110	-0,5840	-3,0610	6,0390
14	-0,7350	-0,3700	0,0640	-0,8780	5,3360	6,7550
15	-0,6990	-0,2940	-1,3470	-0,6660	0,5140	5,0880
16	-0,7100	-0,2220	-2,0110	0,2050	-0,8390	10,1560
17	-0,3890	0,0330	-22,0750	-10,6865	1,5850	5,8110
18	-0,3020	0,0320	0,0970	0,1100	5,4840	6,1910
19	-0,1940	0,0710	-1,0870	0,9190	-1.727,479	36,5570

Quadro 29. Valores de áreas (m^2) obtidos com os diferentes equipamentos de GPS e o equipamento de Estação Total, para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).

<i>Equipamento</i>	<i>Área (m^2)</i>	<i>Erro absoluto</i>	<i>Erro Relativo (%)</i>
<i>Estação Total Nikon⁰ DTM 300 (m^2)</i>	483.386,24	-	-
<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS (m^2)</i>	483.925,02	538,780	0,111
<i>GPS Trimble⁰ PRO XR (m^2)</i>	477.833,42	5552,82	1,149
<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL (m^2)</i>	493.765,62	10379,38	2,147

A análise dos valores de áreas obtidos com os diferentes equipamentos de GPS relativos à área obtida com o equipamento de Estação Total mostrou valores de erro absoluto e erro relativo significativamente maiores para o equipamento de GPS Garmin[®] de navegação 12 XL que os equipamentos GPS Trimble[®] geodésico 4600 LS e GPS Trimble[®] topográfico PRO XR (Quadro 29).

Com relação a azimutes e distâncias, variações destes valores podem gerar erros significativos nas coordenadas X, Y e nos valores de área. Tomando como exemplo o valor de ? do azimute para o alinhamento 19-0 (Quadro 30), ou seja, $9^{\circ} 35'02''$ para uma distância imaginária de 1000 metros, teríamos um deslocamento que daria um acréscimo na área na ordem de 8,44 hectares.

Quadro 30. Comparativo dos azimutes para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).

<i>Ponto</i>	<i>Estação Total Nikon⁰ DTM 300</i>	<i>GPS Trimble⁰ 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble⁰ PRO XR</i>	<i>GPS Garmin⁰ de navegação 12XL</i>
0-1	260° 21' 01"	260° 21' 02"	263° 42' 40"	261° 25' 04"
1-2	44° 49' 50"	44° 43' 21"	42° 17' 45"	45° 51' 53"
2-3	61° 19' 36"	61° 19' 42"	61° 23' 21"	61° 25' 15"
3-4	54° 17' 42"	54° 17' 17"	54° 25' 23"	54° 32' 03"
4-5	78° 36' 36"	78° 36' 21"	78° 47' 31"	79° 36' 58"
5-6	101° 58' 39"	101° 58' 19"	111° 25' 13"	99° 53' 39"
6-7	71° 17' 57"	71° 17' 30"	62° 16' 40"	69° 27' 15"
7-8	102° 31' 23"	102° 30' 34"	102° 42' 15"	101° 46' 19"
8-9	353° 58' 49"	353° 58' 37"	354° 11' 34"	355° 09' 36"
9-10	61° 20' 14"	61° 20' 07"	60° 12' 41"	60° 39' 24"
10-11	62° 15' 22"	62° 15' 44"	62° 22' 31"	62° 54' 35"
11-12	68° 27' 32"	68° 26' 13"	68° 35' 57"	67° 16' 13"
12-13	146° 45' 32"	146° 44' 35"	146° 54' 23"	147° 15' 48"
13-14	142° 57' 36"	142° 56' 45"	143° 19' 25"	145° 24' 25"
14-15	240° 46' 01"	240° 44' 59"	240° 27' 24"	240° 26' 22"
15-16	198° 41' 03"	198° 40' 30"	198° 26' 16"	197° 54' 35"
16-17	249° 24' 27"	249° 23' 50"	249° 40' 23"	249° 48' 36"
17-18	298° 53' 43"	298° 52' 56"	292° 55' 08"	298° 11' 47"
18-19	293° 03' 52"	293° 02' 19"	292° 58' 16"	-
19-0	264° 28' 42"	264° 28' 08"	264° 18' 57"	274° 03' 44"

Obs: No GPS de navegação o ponto 19 foi descartado

Quadro 31. Comparativo das distâncias para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).

<i>Ponto</i>	<i>Estação Total Nikon^Ø DTM 300</i>	<i>GPS Trimble^Ø 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble^Ø PRO XR</i>	<i>GPS Garmin^Ø de navegação 12XL</i>
0-1	53,364 m	53,407 m	52,776 m	55,585 m
1-2	66,461 m	66,585 m	61,859 m	69,495 m
2-3	262,784 m	262,909 m	267,617 m	262,009 m
3-4	141,027 m	141,089 m	141,453 m	139,868 m
4-5	203,659 m	203,749 m	205,531 m	203,044 m
5-6	100,830 m	100,867 m	139,972 m	99,290 m
6-7	256,113 m	256,222 m	237,239 m	250,263 m
7-8	161,235 m	161,330 m	159,972 m	164,471 m
8-9	284,897 m	285,023 m	284,301 m	275,818 m
9-10	104,302 m	104,340 m	105,430 m	103,614 m
10-11	82,218 m	82,250 m	82,663 m	85,014 m
11-12	105,452 m	105,501 m	105,661 m	107,137 m
12-13	221,797 m	221,910 m	222,233 m	218,284 m
13-14	171,441 m	171,508 m	170,261 m	167,107 m
14-15	162,463 m	162,532 m	161,338 m	157,444 m
15-16	210,595 m	210,659 m	211,209 m	214,982 m
16-17	699,379 m	699,769 m	676,773 m	700,137 m
17-18	178,429 m	178,505 m	193,676 m	181,672 m
18-19	173,647 m	173,732 m	172,241 m	-
19-0	316,505 m	316,647 m	317,324 m	467,155 m

Obs: No GPS de navegação o ponto 19 foi descartado.

Quadro 32. Comparativo das altitudes relativa para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).

<i>Ponto</i>	<i>Estação Total Nikon^Ø DTM 300</i>	<i>GPS Trimble^Ø 4600 LS</i>	<i>GPS Trimble^Ø PRO XR</i>	<i>GPS Garmin^Ø de navegação 12XL</i>
0	599,761 m	600,583 m	594,359 m	617,618 m
1	600,968 m	600,968 m	589,688 m	618,618 m
2	603,115 m	603,097 m	586,984 m	622,618 m
3	608,222 m	608,277 m	597,648 m	623,621 m
4	610,396 m	610,470 m	603,540 m	628,623 m
5	607,991 m	608,092 m	601,389 m	628,624 m
6	604,315 m	604,434 m	601,081 m	628,625 m
7	594,085 m	594,253 m	584,682 m	602,372 m
8	584,662 m	584,833 m	574,317 m	588,371 m
9	586,072 m	586,289 m	581,435 m	613,630 m
10	578,221 m	578,474 m	576,123 m	606,632 m
11	570,644 m	570,956 m	565,769 m	601,632 m
12	573,306 m	573,623 m	569,326 m	595,633 m
13	567,196 m	567,550 m	562,112 m	601,633 m
14	563,324 m	563,684 m	555,217 m	569,367 m
15	559,347 m	559,727 m	551,878 m	561,368 m
16	566,060 m	566,528 m	554,566 m	601,629 m
17	586,843 m	587,462 m	578,018 m	591,378 m
18	595,089 m	595,776 m	593,960 m	602,378 m
19	600,668 m	601,407 m	592,682 m	606,366 m

Quadro 33. Comparativo dos valores de Δ altimétricos relativos para a unidade de Jaboticabal/UNESP(SP).

Ponto	Δ Altimétrico relativo		
	GPS Trimble [®] 4600 LS	GPS Trimble [®] PRO XR	GPS Garmin [®] de navegação 12XL
0	0,822 m	5,402 m	17,857 m
1	0,000 m	11,28 m	17,65 m
2	0,018 m	16,131 m	19,503 m
3	0,055 m	10,574 m	15,399 m
4	0,074 m	6,856 m	18,227 m
5	0,101 m	6,602 m	20,633 m
6	0,119 m	3,234 m	24,310 m
7	0,168 m	9,403 m	8,287 m
8	0,171 m	10,345 m	3,709 m
9	0,217 m	4,637 m	27,558 m
10	0,253 m	2,098 m	28,411 m
11	0,312 m	4,875 m	30,988 m
12	0,317 m	3,980 m	22,327 m
13	0,354 m	5,084 m	34,437 m
14	0,360 m	8,107 m	6,043 m
15	0,380 m	7,469 m	2,021 m
16	0,468 m	11,494 m	35,569 m
17	0,619 m	8,825 m	4,535 m
18	0,687 m	1,129 m	7,289 m
19	0,739 m	4,986 m	5,698 m

Observando os valores de Δ altimétrico relativo obtidos a partir dos equipamentos de GPS topográfico Trimble[®] PRO XR e GPS Garmin[®] de navegação 12XL, erros muito altos foram observados (valores de leitura direta de altitude relativa obtidas diretamente no GPS).

Os Quadros 34, 35 e 36 mostram os valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, respectivamente, entre o equipamento GPS Trimble[®] geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon[®] DTM 300, utilizando teste *t* ao nível de significância de 5%, para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

Quadro 34. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	780621,5734	780621,9473
Variância	258539,7796	258773,1042
Observações	20	20
Variância agrupada	258656,4419	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	-0,002324533	
P(T<=t) uni-caudal	0,499078727	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,998157453	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

Quadro 35. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	7648553,42	7648553,599
Variância	66808,60526	66901,86842
Observações	20	20
Variância agrupada	66855,23684	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	-0,002187976	
P(T<=t) uni-caudal	0,499132848	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,998265695	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

Quadro 36. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Trimble® geodésico modelo 4600 LS e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste *t* (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	588,01425	588,32415
Variância	280,635725	278,5538108
Observações	20	20
Variância agrupada	279,5947679	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	-0,058608021	
P(T<=t) uni-caudal	0,476785724	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,953571447	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

A análise dos valores de σ_x , σ_y e σ_z para o equipamento GPS Trimble® geodésico 4600 LS em relação a Estação Total Nikon® DTM 300 mostrou uma variação na primeira casa decimal (Quadro 27, 28 e 33). A comparação estatística dos valores das coordenadas X, Y e altitude relativo Z – utilizando teste *t* para variâncias equivalentes, ao nível de significância de 5% -, permitiu observar que as médias das coordenadas X ($t = 0,0023245$), coordenadas Y ($t = 0,0021879$) e a altitude relativa Z ($t = 0,058608$) para o equipamento GPS Trimble® geodésico 4600 LS não apresentou diferenças significativas em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadro 34, 35 e 36).

Os Quadros 37, 38 e 39 mostram os valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, respectivamente, entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, utilizando teste *t* ao nível de significância de 5%, para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

Quadro 37. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	670722,989	670710,7614
Variância	16204,9396	19251,29987
Observações	8	8
Variância agrupada	17728,1197	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	14	
Stat t	0,18366732	
P(T<=t) uni-caudal	0,42845401	
t crítico uni-caudal	1,76130925	
P(T<=t) bi-caudal	0,85690802	
t crítico bi-caudal	2,1447886	

Quadro 38. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	7648553,42	7648552,931
Variância	66808,60526	66632,15789
Observações	20	20
Variância agrupada	66720,38158	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	0,005990264	
P(T<=t) uni-caudal	0,497625914	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,995251828	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

Quadro 39. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	588,01425	580,7387
Variância	280,635725	274,9843073
Observações	20	20
Variância agrupada	277,8100162	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	1,380358455	
P(T<=t) uni-caudal	0,087771478	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,175542956	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

A análise dos valores de σ_x e σ_y para o equipamento GPS Trimble® PRO XR em relação a Estação Total Nikon® DTM 300 mostrou uma variação na unidade; os valores de σ_z mostraram diferenças na primeira casa decimal (Quadro 27, 28 e 33). A comparação estatística dos valores das coordenadas X , Y e altitude relativo Z – utilizando teste t para variâncias equivalentes, ao nível de significância de 5% -, permitiu observar que as médias das coordenadas X ($t = 0,183667$), coordenadas Y ($t = 0,005990$) e altitude Z ($t = 1,3803584$) para o equipamento GPS Trimble® PRO XR não apresentaram diferenças significativas em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadro 37, 38 e 39).

Os Quadros 40, 41 e 42 mostram os valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X , Y e Z , respectivamente, entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XS e a Estação Total Nikon® DTM 300, utilizando teste t ao nível de significância de 5%, para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

Quadro 40. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas X entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	780621,5734	780709,0464
Variância	258539,7796	327176,5096
Observações	20	20
Variância agrupada	292858,1446	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	38	
Stat t	-0,511146473	
P(T<=t) uni-caudal	0,306102875	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,612205751	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

Quadro 41. Valores obtidos da comparação estatística das coordenadas Y entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	7648553,42	11090258,4
Variância	66808,60526	2,36906E+14
Observações	20	20
Variância agrupada	1,18453E+14	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	-1,000001474	
P(T<=t) uni-caudal	0,16181769	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,32363538	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

Quadro 42. Valores obtidos da comparação estatística das altitudes relativas Z entre o equipamento GPS Garmin® de navegação 12 XL e a Estação Total Nikon® DTM 300, usando teste t (nível de significância de 5%) – unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	588,01425	605,5368
Variância	280,635725	343,1806888
Observações	20	20
Variância agrupada	311,9082069	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	38	
Stat t	-3,137501245	
P(T<=t) uni-caudal	0,001643051	
t crítico uni-caudal	1,685953066	
P(T<=t) bi-caudal	0,003286102	
t crítico bi-caudal	2,024394234	

A análise dos valores de σ_x , σ_y e σ_z para o equipamento GPS Garmin® de navegação 12XL em relação a Estação Total Nikon® DTM 300 mostraram diferenças na primeira e segunda casa decimal (Quadro 27, 28 e 33). A comparação estatística dos valores das coordenadas X, Y e altitude relativo Z – utilizando teste t para variâncias equivalentes, ao nível de significância de 5% -, permitiu observar que as médias das coordenadas X ($t = 0,51114647$), coordenadas Y ($t = 1,0000014$) para o equipamento GPS Garmin® de navegação 12XS e Estação Total Nikon® DTM 300 são iguais entre si, entretanto diferenças significativas foram observadas entre as médias das coordenadas Z ($t = 3,13750124$) para o equipamento GPS Garmin® de navegação 12XL em relação a médias obtidas com a Estação Total Nikon® DTM 300 (Quadros 40, 41 e 42).

O Quadro 43 mostra os valores de t obtidos da comparação estatística das coordenadas X, Y e Z, ao nível de significância de 5%, para os equipamentos GPS em estudo e a Estação Total Nikon® DTM 300 para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

Quadro 43. Comparativo dos valores de t , das coordenadas X, Y e Z, obtidas através dos equipamentos de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e GPS Garmin® de navegação 12 XL em comparação com a Estação Total Nikon® modelo DTM 300, para a unidade de Jaboticabal/UNESP (SP).

Coordenadas	Valores de t		
	GPS Trimble® 4600 LS	GPS Trimble® PRO XR	GPS Garmin® de navegação 12XL
X	-0,002324533	0,18366732	-0,511146473
Y	-0,002187976	0,005990264	-1,000001474
Z	-0,058608021	1,380358455	-3,137501245

* t crítico bi-caudal = 2,144788596

A análise dos valores de t , das coordenadas X, Y e Z, obtidas para os equipamentos GPS em relação a Estação Total Nikon® DTM 300, para a unidade de Jaboticabal, mostrou melhores resultados para o equipamento de medição GPS Trimble® geodésico 4600 LS, seguido pelo equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR e, finalmente, com pior performance o equipamento de GPS Garmin® de navegação 12 XL (Quadro 43).

Na análise estatística, valores de t satisfatórios foram obtidos para todos os equipamentos de GPS ensaiados para as coordenadas X e Y, à exceção para a altitude relativa Z obtida através do equipamento de GPS Garmin® de navegação 12 XL.

Do ponto de vista topográfico mostraram-se adequados para levantamentos topográficos os valores das coordenadas X, Y e Z para o equipamento de GPS Trimble® geodésico 4600 LS e os valores das coordenadas X e Y do equipamento GPS Trimble® topográfico modelo PRO XR; entretanto os valores das coordenadas X, Y e Z obtidos para o equipamento de GPS Garmin® de navegação 12 XL mostraram-se inaceitáveis para este fim.

8 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos podemos concluir que:

1) O equipamento de GPS Trimble[®] geodésico 4600 LS apresentou performance de precisão aceitável comparado ao equipamento de Estação Total DTM 300, podendo ser utilizado em planimetria e altimetria das áreas, permitindo assim a confecção de projetos de Irrigação, drenagem e de engenharia.

2) O equipamento de GPS Trimble[®] topográfico modelo PRO XR apresentou valores de coordenadas X e Y aceitáveis, comparados ao equipamento de Estação Total DTM 300, podendo ser utilizado na planimetria das áreas e na altimetria, para obter antiprojetos Irrigação, drenagem e de engenharia; entretanto a associação dos dados obtidos com um nível de precisão permite correção dos valores de altimetria e assim, possibilitar a execução de projetos de Irrigação, drenagem e de engenharia com precisão adequada.

3) O GPS Garmin[®] de navegação 12 XS apresentou valores inaceitáveis tanto para as coordenadas X e Y como para os valores de altitude relativa Z, comparados ao equipamento de Estação Total DTM 300, podendo ser utilizado apenas para elaboração de croqui de áreas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLITZKOW, D. **Posicionamento por satélite – NAVSTAR/GPS.** São Paulo, 1995. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 36p

BORGES, A C. **Topografia.** Editora Edgard Blücher Ltda., 1977. 187p.

BRASIL. NBR 13.133 - **Execução de Levantamento Topográfico.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.

BERALDO, P., SOARES, S.M. **GPS – Introdução e Aplicações Práticas.** Criciúma: Editora e Livraria Luana Ltda., 1995. 150p.

BURNSIDE, C.D. **Electromagnetic Distance Measurement.** 3.ed. BSP Professional, 1991.

CINTRA, J. P. **Automação da topografia: do campo ao projeto.** São Paulo, 1993. 120p.
Tese (Livre Docência em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CINTRA, J.P. **Teodolitos Eletrônicos** Congresso Brasileiro de Cartografia, 17. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. v.8, p.410-418, 1995.

COOPER, M.A.R. **Modern Theodolites and levels.** 2.ed. London: The City University, BSP Professional Books, 1987.

COMASTRI, J.A, TULER, J.C. **Topografia: altimetria.** 3.ed. Viçosa: UFV, 1999. 200p.

CUNHA, M.J.P., SANTOS, M.C.S., ANDRADE, J.B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global para Unificação de Bases Cadastrais.** GisBrasil, 1997.

GOMES, E., PESSOA, L.M.C., SILVA JR., L.B.S. **Medindo Imóveis Rurais com GPS.** Brasília: Editora e Comunicação Ltda, 2001. 136p.

FREITAS, L.E. **Sistema de Navegação por Satélite GPS** – Funcionamento do Sistema e suas Aplicações. FATEC – SP. Disponível em: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/9947/index.htm>. Acesso em 22 de janeiro de 2003.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J. **Global Positioning System** – Theory and practice. 3.ed. 1994. New York: Springer-Verlag Wien.

IBGE. **Geodésia**. Redes Estaduais GPS. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 20 de janeiro de 2003.

KAHMEN, H., FAIG, W. **Surveying**. New York, W. de Gruyter, 1988. 578p.

KENNIE, T.J.M, PETRIE, G. **Engineering Surveying Technology**. Glasgow : Blackie, 1993. 485p.

KISSAM, P. **Surveying Practice**. The Fundamental of Surveying. 3.ed. New York: Mcgraw-Hill, 1993. 482p.

LANGLEY, R.B. **Why is GPS signal so complex**. GPS World. v.90, n.3, p. 56-59, 1990.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2.ed. New York: Wiley, 1995. p. 56-59.

MAIA, T.C.B. **Estudo e análise de poligonais segundo a NBR 13.133 e o Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos, 1999. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MESQUITA, P. F. **Curso de Topografia**. São Paulo: S.N, [197-]. 446p.

MORAES, R.V., FITZGIBBON, K.T., WALTER, F. **O Sistema GPS**. Divisão de Engenharia Aeronáutica e eletrônica. 1998, ITA, GPS Brasil.

MOFFIT, F. H., BOUCHARD, H. **Surveying**. 6.ed. New York: Harper & Row, 1975. 879p.

PACILEO NETTO, N., DOMINGUES, F.A.A. **Calibração de medidores eletrônicos de distância: construção de uma base multipilar na USP e metodologia de aferição**. São Paulo, 1990. 201p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RAMOS, D. **Geodésia na prática**. Araraquara: MDATA Informática Ltda., 1999. 231p.

RIBAS, E.B, SARAIVA, C.C.S. **Parâmetros para utilização do GPS na reambulação de mapas municipais: Viabilidade e Restrições**. 1998. GisBrasil.

SANTIAGO, A C. **Topografia**. Campinas: Boletim Técnico - SCR -. Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI. n 41, 1969.

SEEBER, G. (1993). **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin: W. de Gruyter, 1993. 531p.

SEGANTINE, P.C.L. **Estabelecimento e Ajuste de uma rede geodésica no Estado de São Paulo, com o sistema de posicionamento NAVISTAR/GPS.** São Paulo: 1995. 222p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SEGANTINI, P.C.L. **GPS - Sistema de Posicionamento Global.** São Carlos: EESC/USP, 1999. 181p.

SILVA, I., ERWES, H. **Curso de atualização em topografia e GPS.** São Carlos: EESC/USP, 1996.

SILVEIRA, L. C. **Fundamentos de Topografia.** Criciúma: Escola Brasileira de Agrimensura, Curso Técnico de Agrimensura a Distância, 2000.

SCHOFIELD, W. **Engineering surveying :theory and examination problems for students.** 4.ed. Boston : Butterworth-Heinemann, 1993. 554p.

STREIFF, G.G. . **Utilização do Sistema GPS em Levantamento e Locação de Obras de Engenharia.** São Paulo, 1999. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

TEJERO,F.D.G. **Topografía general y aplicada.** 7.ed. Madrid : Dossat, D.L. 1978. 823p.