

# RECOMENDAÇÕES PARA LEVANTAMENTOS RELATIVOS ESTÁTICOS - GPS

**RECOMENDAÇÕES PARA LEVANTAMENTOS  
RELATIVOS ESTÁTICOS – GPS**

abril de 2008

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>II</b>
<b>LISTA DE ABREVIações .....</b>	<b>III</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS .....</b>	<b>2</b>
2.1 MODERNIZAÇÃO DO GPS.....	2
2.2 GNSS .....	4
2.2.1 GLONASS.....	4
2.2.2 GALILEO.....	5
2.2.3 COMPASS.....	5
<b>3 TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO .....</b>	<b>6</b>
3.1 POSICIONAMENTO POR PONTO .....	6
3.1.1 <i>Posicionamento por ponto a partir do código C/A</i> .....	7
3.1.2 <i>Posicionamento por ponto preciso</i> .....	8
3.2 POSICIONAMENTO RELATIVO .....	8
3.2.1 <i>Posicionamento relativo estático</i> .....	9
3.2.2 <i>Posicionamento relativo estático-rápido</i> .....	10
3.2.3 <i>Posicionamento relativo semicinemático (stop and go)</i> .....	10
3.2.4 <i>Posicionamento relativo cinemático</i> .....	10
3.3 RESUMO DAS TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO.....	10
3.4 TEMPO DE OBSERVAÇÃO E PRECISÃO .....	11
<b>4 PLANEJAMENTO PARA OS LEVANTAMENTOS.....</b>	<b>13</b>
4.1 SELEÇÃO DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DOS MARCOS .....	13
4.2 SELEÇÃO E PREPARAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS .....	14
4.3 ESCOLHA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA .....	15
4.4 OBSERVAÇÕES DE CAMPO .....	15
4.4.1 <i>Estacionamento da antena</i> .....	15
4.4.2 <i>Duração da sessão de observação</i> .....	15
4.4.3 <i>Anotações de campo</i> .....	15
<b>5 PROCESSAMENTO DAS OBSERVAÇÕES E INTEGRAÇÃO AO REFERENCIAL GEODÉSICO.....</b>	<b>16</b>
5.1 ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA .....	16
5.2 EFEMÉRIDES .....	16
5.3 FORMATO DAS OBSERVAÇÕES.....	17
5.4 ERROS NAS OBSERVÁVEIS GPS .....	17
5.5 COORDENADAS DETERMINADAS.....	19
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>21</b>

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 2.1 - EVOLUÇÃO DO WGS 84 E DO ITRF (FONTE: IBGE) .....	4
FIGURA 2.2 - PREVISÃO DA CONSTELAÇÃO GLONASS .....	5
FIGURA 3.1 - POSICIONAMENTO POR PONTO .....	7
FIGURA 3.2 - PDOP .....	7
FIGURA 3.3 - POSICIONAMENTO RELATIVO .....	8
FIGURA 5.1 - SUPERFÍCIES GEÓIDE E ELIPSÓIDE E.....	20

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 2.1 - ERROS (A PARTIR DE MONICO, 2000A).....	2
TABELA 2.2 - PRECISÃO DO POSICIONAMENTO POR PONTO COM E SEM A SA (NÍVEL DE CONFIANÇA DE 95%) .....	3
TABELA 3.1 - PRECISÃO DAS TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO .....	11
TABELA 5.1 - PRODUTOS IGS (VALORES REFERENTES ÀS EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS INCLUÍDOS PARA COMPARAÇÃO) ADAPTADA DE <a href="http://IGSCB.JPL.NASA.GOV/COMPONENTS/PRODS.HTML">HTTP://IGSCB.JPL.NASA.GOV/COMPONENTS/PRODS.HTML</a> (07/04/2008). .....	17
TABELA 5.2 - ERROS NAS OBSERVÁVEIS GPS .....	19

## LISTA DE ABREVIações

### A

AFF – American Air Force

All - Accuracy Improvement Initiative

AS – Anti Spoofing

### B

BDG – Banco de Dados Geodésicos

### C

C/A – Course Acquisition

CSIC – Coordination Scientific Information Center

CNSS – China's Compass Navigation Satellite System

CSNPC – China Satellite Navigation Project Center

### D

DD – Dupla Diferença

DGPS – Differential GPS

DoD – Department of Defense

DOP – Dilution of Precision

### E

ESA – European Space Agency

EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay System

### G

GBAS – Ground Based Augmentation System

GLONASS – GLObal NAVigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

GNSS – Global Navigation Satellite System

GIOVE-A - Galileo In-Orbit Validation Element

### H

h – altitude geométrica

H – altitude ortométrica

### I

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGS – International GNSS Service

IGR – Efemérides IGS rápidas

IGU – Efemérides IGS ultra-rápidas

ITRF – International Terrestrial Reference Frame

### J

JPO – Joint Program Office

### L

L-All - Legacy Accuracy Improvement Initiative

### N

N – ondulação geoidal

NAVSTAR-GPS – Navigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System

NGA – National Geospatial-Intelligence Agency

NTRIP – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol

**O**

OCS – Operational Control Segment

**P**

PDOP – Positioning Dilution of Precision

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfico

PNT – Previsão Numérica do Tempo

PPP – Precise Point Positioning

PPS – Precise Positioning Service

PRN – Pseudo Random Noise

ppm – partes por milhão

PZ90 – sistema de referência GLONASS

**R**

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS

RINEX – Receiver INdependent EXchange format

RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Services

RTK – Real Time Kinematic

**S**

SA – Selective Availability

SAD 69 – South American Datum 1969

SBAS – Satellite Based Augmentation System

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPS – Standard Positioning Service

**U**

UTC – Tempo Universal Coordenado

**V**

VRS – Virtual Reference Station

**W**

WAAS – Wide Area Augmentation System

WADGPS – Wide Area Differential GPS

WGS 84 – World Geodetic System – 1984

**Z**

ZTD - Zenithal Tropospheric Delay

## 1 INTRODUÇÃO

O IBGE, como órgão gestor do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), tem como uma de suas atribuições a elaboração de normas e especificações para levantamentos geodésicos, dentre outras. A modernização do GPS e a criação de novos sistemas de posicionamento por satélites motivaram a revisão das Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS, em substituição às antigas Especificações e Normas para levantamentos GPS (*Global Positioning System*), elaboradas em 1992. Um outro fator importante foi a experiência adquirida por vários anos de trabalho de implantação e manutenção do SGB, aliada ao dinamismo inerente à ciência geodésica, que mostraram a necessidade da realização de uma revisão do documento publicado em 1992.

No âmbito da evolução da ciência geodésica, pode-se citar também a adoção do SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realização de 2000), como novo referencial oficial para o Brasil, reformulando, assim, os procedimentos adotados para o posicionamento e georreferenciamento de um modo geral. Este documento consolida os esforços no sentido de orientar os usuários GPS, fornecendo os elementos básicos norteadores das atividades de posicionamento geodésico através da técnica de posicionamento relativo estático. Entretanto, este documento não tem por objetivo descrever em detalhes as características e aplicações do GPS. Para este fim, mais informações podem ser encontradas em: WELLS et al., 1986; PARKINSON e SPILKER, 1996a; PARKINSON e SPILKER, 1996b; HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997; MONICO, 2000a; SEEBER, 2003; LEICK, 2004.



## 2 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS

Desenvolvido e mantido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos (DoD - *Department of Defence*), o NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System*), mais conhecido como GPS, é um sistema de posicionamento por satélites artificiais que proporciona informações de tempo e posição tridimensional em qualquer instante e lugar do planeta. Embora o sistema tenha sido concebido para fins militares, atualmente o Departamento de Transportes (*Department of Transportation*) mantém o serviço para os usuários civis.

Atualmente os satélites transmitem os sinais continuamente em duas frequências da banda L, denominadas de L1 (1575,42 MHz) e L2 (1227,60 MHz). Sobre as frequências são modulados a mensagem de navegação e os códigos pseudoaleatórios (PRN – *Pseudo Random Noise*).

Na sua concepção original dois tipos de códigos foram implementados no sistema, sendo eles: P (*Precise* ou *Protected*) e C/A (*Course/Acquisition*). O primeiro é modulado sobre as duas portadoras, enquanto que o código C/A é modulado somente sobre a portadora L1.

É oportuno salientar que o posicionamento com GPS está sujeito a degradações provocadas por algumas fontes de erros. Tais erros podem ser reunidos em quatro grupos: satélites, propagação do sinal, receptor/antena e estação. A Tabela 2.1 mostra a maioria dos erros que degradam o posicionamento com GPS (MONICO, 2000a). Para obter mais informações sobre esses erros, consulte tópico 5.4, página 17.

**Tabela 2.1 - Erros (a partir de MONICO, 2000a)**

Fonte	Erro
Satélite	Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite Erro de órbita Erro do relógio
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Multicaminho
Receptor/antena	Erro do relógio Erro entre os canais Variação do centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Multicaminho

### 2.1 Modernização do GPS

Visando melhorias tanto para usuários civis como militares, o GPS está passando por um processo de modernização. Desta forma, ações realizadas visando o usuário civil, como a desativação da disponibilidade seletiva (SA - *Selective Availability*) e a adição de novas observações nos satélites das novas gerações, estão em andamento ou já foram implementadas. Também merece destaque a inclusão de novas estações ao segmento de controle, bem como o refinamento do WGS 84.

### a) Desativação da SA

Até maio de 2000, a maioria dos usuários civis tinha a qualidade do seu posicionamento degradada intencionalmente através da SA, que foi implementada através da manipulação dos elementos contidos nas efemérides transmitidas. A Tabela 2.2 mostra a precisão proporcionada pelo posicionamento por ponto com e sem a influência da SA (MÔNICO, 2000).

**Tabela 2.2 - Precisão do posicionamento por ponto com e sem a SA (nível de confiança de 95%)**

Posição	Precisão com SA (m)	Precisão sem SA (m)
Horizontal	100	20
Vertical	140	30

### b) Novas observáveis nos satélites

Esta etapa da modernização do GPS contempla a introdução de mais um código civil na portadora L1, um código civil na portadora L2 e uma terceira frequência civil denominada L5. As principais vantagens que estas novas observações trarão aos usuários civis estão relacionadas com a qualidade dos novos códigos, redução dos efeitos da ionosfera e melhoria na solução das ambigüidades.

Dentre as novas observações civis previstas na modernização do GPS, a primeira a ser implementada é o código civil na portadora L2, denominado de L2C. Comparado com o código C/A, o L2C é menos suscetível a interferências e a multicaminho.

A estrutura do outro código civil na portadora L1, a L1C, foi definida para ser similar ou idêntica ao código aberto do Galileo, sistema de navegação europeu em desenvolvimento. Isto facilitará a integração entre estes sistemas (HUDNUK e TITUS, 2004).

As principais vantagens da inclusão da terceira frequência L5 estão relacionadas com a redução dos efeitos da ionosfera e a solução da ambigüidade (SANTOS, 2000; JPO, 2002).

### c) Refinamento do WGS 84

Após três refinamentos o WGS 84 (*World Geodetic System - 1984*), sistema de referência do GPS, tornou-se compatível com o ITRF2000 ao nível centimétrico. Sua última realização está sendo denominada de WGS 84 (G1150), onde G está associado ao sistema de posicionamento utilizado nessa nova realização (GPS) e o número 1150 indica a semana GPS em que ela foi efetuada. A Figura 2.1 mostra a evolução do WGS 84 quando comparado às diversas versões do ITRF. Para cada ano de realização do ITRF a figura mostra a diferença entre a posição do centro do sistema na realização correspondente (ITRF ou WGS) e a posição do centro do ITRF2000, tomado como referência (i. e., ordenada zero do eixo vertical).

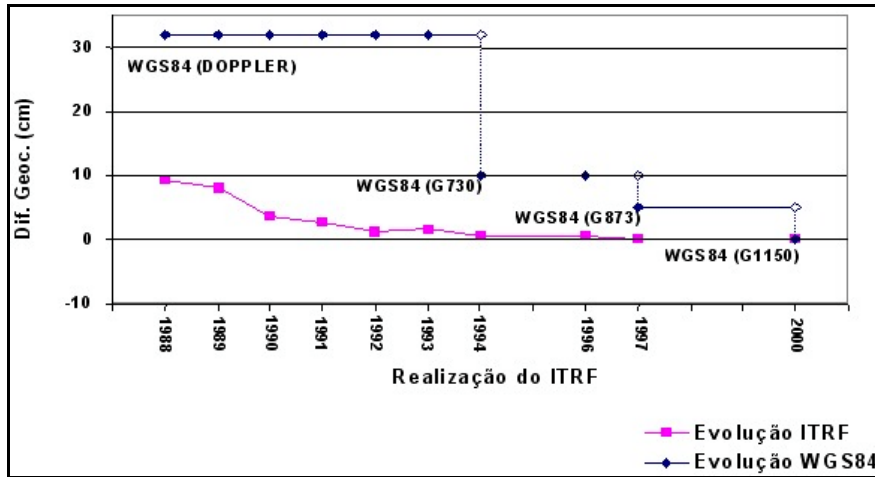


Figura 2.1 - Evolução do WGS 84 e do ITRF (Fonte: IBGE)

## 2.2 GNSS

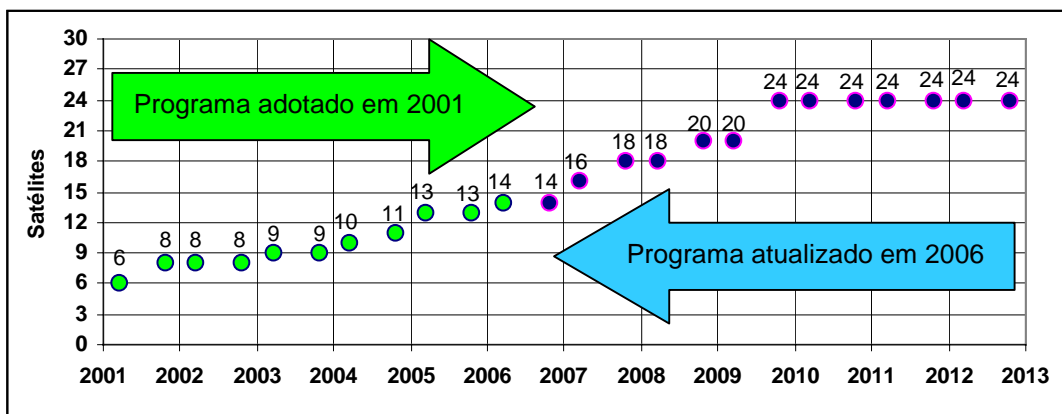
O desenvolvimento das técnicas de posicionamento aliado ao avanço do conhecimento científico e tecnológico mostraram que o GPS associado a infra-estruturas espacial (SBAS – *Satellite Based Augmentation System*) e terrestre (GBAS – *Ground Based Augmentatin System*) poderia ampliar a sua utilização do sistema. Esta arquitetura foi denominada de sistema de navegação global por satélites (GNSS – *Global Navigation Satellite System*). Exemplos de SBAS são o norte americano WAAS (*Wide Area Augmentation System*) e o europeu EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*).

Atualmente, o conceito de GNSS vem sendo empregado para designar o posicionamento por satélites utilizando toda infra-estrutura citada anteriormente somando-a a outros sistemas de posicionamento por satélite, tais como o GLONASS, Galileo, Compass (China), etc. Trata-se de um futuro promissor para usuários de posicionamento por satélites artificiais, sendo necessária uma breve apresentação destes três últimos sistemas.

### 2.2.1 GLONASS

O sistema de posicionamento por satélites artificiais russo, denominado GLONASS, tem sua concepção muito parecida com a do GPS. No entanto a integração entre estes dois sistemas requer a consideração de algumas diferenças, tais como: sistema de referência, sistema de tempo e a forma de emissão dos dados.

Similarmente ao que ocorreu com o GPS, o governo russo estabeleceu, em 1999, que o GLONASS passaria a ter participação civil. Além disso, é importante salientar que, embora este sistema não se encontre totalmente operacional em 2006, a Rússia deu início a um programa de modernização tanto dos satélites quanto da infra-estrutura terrestre (GIBBONS, 2006), conforme figura abaixo.



**Figura 2.2 - Previsão da Constelação GLONASS**  
(Fonte: *Inside GNSS, March/April 2007*)

### 2.2.2 GALILEO

O Galileo é um sistema de posicionamento por satélites artificiais criado através do esforço de alguns países europeus e de seus colaboradores, como, por exemplo, Canadá e Japão. Está prevista a sua utilização em conjunto com o GPS e o GLONASS. Ao contrário destes dois últimos, o controle do Galileo está sob responsabilidade civil, sendo a ESA (*European Space Agency*) uma das instituições responsáveis pelo seu desenvolvimento.

Foi lançado em 28 de dezembro de 2005, pela Agência Espacial Europeia, o primeiro satélite teste GIOVE-A (*Galileo In-Orbit Validation Element*). Além dele, está previsto para abril de 2008 o lançamento do segundo satélite teste GIOVE-B.

### 2.2.3 COMPASS

Assim como os Estados Unidos, Rússia e União Europeia, a China está lançando seu próprio sistema GNSS, o Compass/Beidou (*China's Compass Navigation Satellite System – CNSS*). Embora iniciado pelas Forças Militares da China, o recente estabelecimento do CSNPC (*China Satellite Navigation Project Center*) intensificará as pesquisas, construção e administração do CNSS. Para obter mais informações sobre esse novo sistema, acesse [www.insidegnss.com/compass](http://www.insidegnss.com/compass).

### 3 TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO

O posicionamento através do GPS pode ser realizado a partir de diferentes técnicas e observáveis, as quais fornecem níveis de precisão que variam desde algumas dezenas de metros até poucos milímetros. Ressalta-se que a observável utilizada no processo de estimação das coordenadas é um dos principais fatores que influenciam os níveis de precisão alcançados.

Normalmente, o posicionamento com GPS é efetuado a partir da fase de batimento da onda portadora e/ou da pseudodistância. Devido à precisão da medida da fase da onda portadora ser da ordem de milímetros, ela é a observável indispensável na obtenção de posicionamentos que requeiram melhor precisão. A pseudodistância é mais utilizada em posicionamentos com precisão de ordem métrica.

Embora os satélites transmitam todos os sinais continuamente, nem todos os receptores são desenvolvidos para rastreá-los. Os receptores podem ser classificados, segundo sua utilização, como:

- Navegação – destinado à navegação terrestre, marítima e aérea, bem como a levantamentos com precisão de ordem métrica. Na maioria dos casos, as observações utilizadas são as pseudodistâncias derivadas do código C/A, embora alguns programas permitam extrair as observações de pseudodistância e da fase da onda portadora para posterior processamento;
- Topográfico – podem proporcionar posicionamento preciso quando utilizados em conjunto com um ou mais receptores localizados em estações de referência, mas sua utilização fica restrita a uma área compreendida dentro de um círculo de raio de aproximadamente 10 km conforme descrito na Tabela 3.2, sendo normalmente utilizado na topografia. Estes receptores são capazes de rastrear a fase da onda portadora L1 e o código C/A;
- Geodésico – receptores capazes de rastrear a fase da onda portadora nas duas frequências. Isso possibilita a sua utilização em linhas de base maiores que 10 km, pois é possível modelar a maior parte da refração ionosférica a partir do uso da combinação linear livre da ionosfera (*ion free*) durante o processamento dos dados. Normalmente estes receptores são utilizados na geodésia.

As técnicas de posicionamento podem ser classificadas como estáticos e cinemáticos, dependendo do movimento da antena, bem como em tempo real e pós-processado, que está relacionado com a disponibilidade das coordenadas. Além destas duas categorias, as técnicas podem ser divididas quanto à metodologia adotada, ou seja, utilizando ou não uma estação de referência, sendo denominadas de posicionamento relativo e posicionamento por ponto, respectivamente. A seguir serão apresentados os conceitos básicos das diversas técnicas de posicionamento.

#### 3.1 Posicionamento Por Ponto

O posicionamento por ponto, também conhecido como posicionamento absoluto ou isolado, requer a utilização de apenas um receptor. Neste caso, o referencial geodésico das coordenadas determinadas é definido a partir das efemérides dos satélites. No caso das efemérides transmitidas, o referencial é o WGS

84, enquanto que o das efemérides produzidas pelo IGS é o ITRF. Este tipo de posicionamento pode ser subdividido em dois: posicionamento por ponto e posicionamento por ponto preciso (PPP).

### 3.1.1 Posicionamento por ponto a partir do código C/A

Este tipo de posicionamento proporciona precisão inferior àquelas fornecidas por outras técnicas, pois apenas os erros do relógio do satélite e do receptor são modelados na solução. Nenhuma estrutura adicional é necessária para sua realização, bastando o usuário dispor de apenas um receptor.

As coordenadas e o erro do relógio dos satélites são determinadas através das efemérides transmitidas, enquanto que o erro do relógio e as coordenadas do receptor são calculados em um ajustamento onde as observações são pseudodistâncias derivadas do código C/A de pelo menos quatro satélites. A Figura 3.1 ilustra a configuração mínima de satélites para que seja possível obter coordenadas tridimensionais a partir desta técnica.

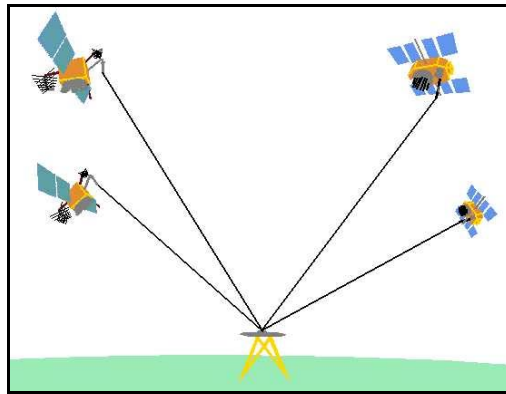


Figura 3.1 - Posicionamento por ponto

Um fator que exerce influência importante na qualidade do posicionamento é a geometria dos satélites, sendo comum a sua representação através do DOP (*Dilution Of Precision* – diluição da precisão). Existem diversos tipos de DOP, porém o mais significativo para o posicionamento por ponto é o PDOP.

O PDOP é o DOP para o posicionamento tridimensional. Vale ressaltar que, quanto menor o seu valor, melhor a precisão esperada. Em termos práticos, o PDOP está relacionado com o inverso do volume do sólido formado entre as antenas do receptor e dos satélites sendo rastreados, onde volumes maiores proporcionam PDOP menores. A Figura 3.2 ilustra duas situações de PDOP.

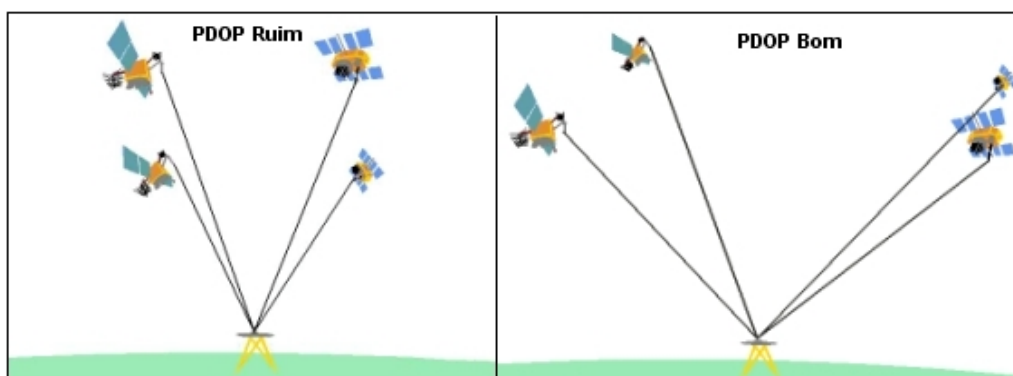


Figura 3.2 - PDOP

Desenvolvido para ser executado em tempo real, o posicionamento por ponto é extensivamente utilizado para navegação e levantamentos que requerem precisão métrica. A precisão proporcionada por este tipo de posicionamento é listada na Tabela 2.2.

### 3.1.2 Posicionamento por ponto preciso

Embora algumas publicações apresentem uma subdivisão entre PPP e posicionamento por ponto de alta precisão, estas duas estão agrupadas neste documento apenas como PPP. Esta técnica de posicionamento requer a utilização da pseudodistância e fase das ondas portadoras L1 e L2. Isto possibilita a redução dos efeitos de primeira ordem da ionosfera. Além disso, os efeitos da troposfera devem ser modelados. Os erros de órbita e relógio dos satélites, bem como parâmetros de rotação da Terra, normalmente são adquiridos de fonte externa como, por exemplo, do IGS (*International GNSS Service*).

Fica evidente que os receptores de navegação não estão preparados para executar este tipo de posicionamento, pois é necessário copiar os arquivos de dados do receptor para posterior processamento em software apropriado. Além disso, devido ao alto grau de precisão proporcionado por esta técnica de posicionamento, deve-se empregar antenas geodésicas.

Experimentos conduzidos com dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) mostraram que este tipo de posicionamento pode proporcionar precisão melhor que 2 cm (MONICO, 2000b).

## 3.2 Posicionamento relativo

No posicionamento relativo, as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas. Neste caso, é necessário que pelo menos dois receptores coletem dados de, no mínimo, dois satélites simultaneamente, onde um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou estação base. A Figura 3.3 mostra o princípio do posicionamento relativo.

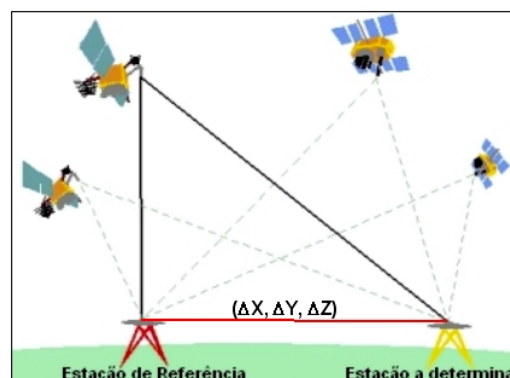


Figura 3.3 - Posicionamento relativo

A fase de batimento da onda portadora é indispensável para se conseguir resultados precisos com esta técnica de posicionamento. No entanto, a pseudodistância pode ser utilizada conjuntamente com a fase ou, até mesmo, isoladamente.

O princípio básico desta técnica de posicionamento é minimizar as fontes de erro através da diferença entre observações recebidas simultaneamente por receptores que ocupam duas estações.

Em condições de ionosfera “calma”, os erros atmosféricos e de órbita dos satélites são praticamente eliminados em levantamentos envolvendo linhas de base com até 10 km, proporcionando inclusive a solução das ambigüidades.

O emprego de receptores de dupla frequência é uma solução muito utilizada para reduzir os efeitos da ionosfera em linhas de base com comprimento superior a 10 km. Usuários que possuem receptores de simples frequência têm a possibilidade de utilizar modelos regionais da ionosfera (CAMARGO, 1999). Os efeitos residuais da troposfera, após a aplicação de um determinado modelo, podem ser estimados através de parâmetros adicionais que alguns softwares calculam. Para posicionamentos onde se busca maior precisão, as efemérides e o erro do relógio dos satélites devem ser adquiridos de fontes externas, similarmente ao PPP.

**Caso os erros sejam adequadamente modelados, as coordenadas são determinadas com precisão de poucos milímetros, sendo esta a principal técnica de posicionamento utilizada em aplicações geodésicas.**

Para aplicações geodésicas em território brasileiro é necessário que as estações de referência façam parte do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), cujas características são apresentadas em COSTA & FORTES, 2000. Destaque deve ser dado à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), que é operada e mantida pelo IBGE. Trata-se de uma rede geodésica ativa que elimina a necessidade do usuário ocupar estações passivas do SGB em alguns casos (PEREIRA et al, 2003). Caso não seja possível utilizar dados da RBMC o usuário deve ocupar uma estação passiva pertencente ao SGB. Informações sobre as estações do SGB podem ser encontradas no Banco de Dados Geodésicos disponível pela internet no portal do IBGE (SANTOS et al, 2005). Após a adoção do SIRGAS 2000 como sistema de referência geodésico oficial do Brasil em 25 de fevereiro de 2005, recomenda-se o uso das coordenadas das estações de referência associadas a este sistema.

O posicionamento relativo pode ser subdividido em quatro grupos: estático, estático-rápido, semicinemático e cinemático. A seguir, as características destas técnicas de posicionamento são apresentadas.

#### **3.2.1 Posicionamento relativo estático**

No posicionamento relativo estático, tanto o receptor da estação referência, quanto o da estação com coordenadas a determinar, permanecem estacionários durante todo o levantamento. A duração do levantamento varia de 20 minutos até várias horas.



Levantamentos realizados em linhas de base com comprimento inferior a 10 km, cujos receptores estejam estacionados em locais onde não haja ocorrência de obstrução e sob condições ionosféricas favoráveis, 20 minutos são suficientes para se conseguir solução das ambigüidades com receptores de simples frequência. Esta situação se modifica conforme as condições de localização das estações e com o aumento do comprimento da linha de base. No caso de linhas de base maiores que 10 km recomenda-se a utilização de receptores de dupla frequência, bem como a utilização de efemérides e do erro do relógio do IGS. A precisão conseguida com esta técnica de posicionamento varia de 0,1 a 1 ppm (MONICO, 2000a).

### 3.2.2 Posicionamento relativo estático-rápido

Também conhecido como pseudocinemático, o posicionamento relativo estático-rápido é realizado de forma similar ao estático. A grande diferença entre estas técnicas está no intervalo de tempo do rastreo, que no estático-rápido é inferior a 20 minutos. Este tipo de posicionamento é adequado quando se deseja alta produtividade e como alternativa ao método semicinemático em locais onde há muitas obstruções, pois o receptor móvel é desligado entre as sessões de coleta (MONICO, 2000a).

### 3.2.3 Posicionamento relativo semicinemático (*stop and go*)

O posicionamento relativo semicinemático também é conhecido como pseudoestático. Como as próprias denominações sugerem, esta técnica de posicionamento pode ser entendida como um estágio de desenvolvimento intermediário entre o posicionamento relativo estático e cinemático. A técnica conhecida como *stop and go* está inserida nesta categoria.

Esta técnica de posicionamento é similar ao estático-rápido, onde o diferencial está no tempo de permanência em cada estação e na necessidade do receptor permanecer ligado durante todo o período do levantamento.

### 3.2.4 Posicionamento relativo cinemático

Com precisão na ordem de 1 a 10 ppm, o posicionamento relativo cinemático consiste em se determinar um conjunto de coordenadas para cada época de observação, onde um receptor ocupa a estação de referência enquanto o outro permanece estacionado ou se deslocando sobre as feições de interesse. Portanto, no posicionamento cinemático, embora a antena esteja em movimento, a trajetória é descrita por uma série de pontos. Isso tem como conseqüência a necessidade do usuário dispor de no mínimo cinco satélites para realizar o posicionamento.

## 3.3 Resumo das técnicas de posicionamento

A Tabela 3.1 traz um resumo das técnicas de posicionamento mais utilizadas, bem como o tipo de observação e precisão obtida em condições ideais.

**Tabela 3.1 - Precisão das técnicas de posicionamento**

Técnica		Observação	Precisão (nível de confiança de 68,2 %)
Por ponto	Convencional	Pseudodistância	15,3 m
	Preciso	Pseudodistância e fase	0,02 m
Relativo	Estático	DD pseudodistância e fase	0,01 a 1 ppm
	Estático-rápido	DD pseudodistância e fase	1 a 10 ppm
	Semicinemático	DD pseudodistância e fase	1 a 10 ppm
	Cinemático	DD pseudodistância e fase	1 a 10 ppm

### 3.4 Tempo de Observação e Precisão

Apesar de existirem vários métodos de posicionamento, este documento tem como objetivo mostrar o método mais apropriado para levantamento geodésico, isto é, o posicionamento relativo (tópico 3.2.1).

Há uma dificuldade muito grande em definir valores que representem a precisão do posicionamento geodésico com GPS, tendo em vista todas as variáveis que influenciam essa precisão. Neste sentido vários pesquisadores vêm trabalhando para definir de forma mais confiável e realística possível os valores para a precisão posicional em função do comprimento da linha de base, do tempo de observação e do tipo de equipamento utilizado (L1 e L1/L2). Entretanto, devido às dificuldades em determinar esses valores de forma homogênea, ainda não há resultados definitivos que expressem as relações entre essas variáveis e a precisão.

De um modo geral, a Tabela 3.2 mostra a precisão aproximada do posicionamento relativo com GPS, em função do tipo de equipamento utilizado, tempo de rastreamento das observações, e comprimento das linhas de base.

**Tabela 3.2 - Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base**

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	mínimo. 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	mínimo. 04 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IGN – Instituto Geográfico Nacional (España) – Curso GPS en Geodesia y Cartografía

Os valores descritos acima estão apresentados de forma que o usuário possa planejar seus levantamentos e obter a melhor precisão possível, portanto o tempo de ocupação indicado é o bastante para sua respectiva precisão em condições e localizações favoráveis, isto é:

- Coletar os dados de forma contínua;
- Locais sem interferências que possam acarretar em perdas de ciclo;
- Evitar superfícies ao redor da antena que possam provocar multicaminho;

- Evitar abalos na estrutura de suporte da antena;
- Seguir as instruções contidas no manual do equipamento; e
- Outros.

## 4 PLANEJAMENTO PARA OS LEVANTAMENTOS

Muitas vezes, devido ao alto grau de automação envolvida com os receptores GPS, os usuários subestimam a necessidade de realizar um bom planejamento (GEMAEL, 2004). Mesmo levantamentos bem planejados podem ser afetados por algum fator que não foi considerado ou totalmente desconhecido. Entretanto, a realização de um bom planejamento, conciliado com a experiência do profissional, minimiza a possibilidade de ocorrência de problemas no levantamento e processamento.

O planejamento normalmente é realizado em escritório, mas, para que seja bem consistente, necessita de subsídios obtidos de visitas realizadas em campo, dos equipamentos envolvidos, estações de referência a serem utilizadas, entre outros. A qualidade posicional a ser alcançada é o principal fator que direciona o planejamento. Definida a qualidade a ser alcançada, deve-se considerar os seguintes elementos:

- obstruções próximas aos pontos a serem levantados;
- dimensão das áreas a serem medidas;
- tipos de feições a serem levantadas;
- tipo de equipamento;
- satélites que efetivamente serão rastreados (acima da máscara de elevação);
- memória disponível nos receptores;
- indicadores como DOP (gráficos); e
- suprimento de energia disponível e baterias de reserva.

Quanto maior e mais precisa a rede de pontos ou feições a determinar, maior a necessidade de planejamento. Projetos complexos necessitam considerar no planejamento fatores de geometria, logística e execução da missão (BUENO, 2006).

Apesar de encarecer o projeto, a realização de reocupação é recomendável, pois permite a comparação dos resultados e a análise da confiabilidade destes. Além disso, detecta possíveis problemas decorrentes do levantamento, como, por exemplo, erros cometidos na medida da altura e centragem da antena, entre outros. No caso de existir boa coerência entre os resultados, possivelmente sua combinação tem grande chance de estar expressando a realidade.

Tentar esgotar as possibilidades de planejamento para levantamento com GPS é praticamente impossível, pois a cada novo levantamento possivelmente surgirão fatores novos e diferentes a serem considerados. Logo será necessário desenvolver um planejamento específico para cada levantamento. Contudo, este documento tem como finalidade apresentar uma metodologia com elementos que auxiliem o planejamento em geral. Considerável parte deste capítulo está embasada no conhecimento e experiência do IBGE na execução de levantamento e utilização do GPS.

### 4.1 Seleção do local para implantação dos marcos

A seleção do local para a implantação dos marcos deve seguir alguns critérios que minimizam a degradação da precisão determinada pelo GPS:

- a área ao redor da estação deverá ser livre de obstrução que possa interferir na captação dos sinais dos satélites ou refleti-los;
- deverão ser evitados locais próximos a estações de transmissão de microondas, radares, antenas radorrepetidoras e linhas de transmissão de alta voltagem por representarem possíveis fontes de interferência para os sinais GPS;
- o local escolhido deve ser de fácil acesso;
- o solo deve ser firme e estável para devida estabilização do marco;
- deve-se optar por locais onde a segurança e preservação do marco estejam garantidas;

Caso uma estação seja determinada com a finalidade de suportar diversas tecnologias de levantamento, não somente as do GPS (por exemplo, estação total), os requisitos necessários para atender as demais tecnologias devem ser observados no momento da escolha do local da estação (BUENO, 2006).

Para materialização de marcos devem ser seguidas as especificações descritas na Norma de Serviço do Diretor de Geociências do IBGE nº 001/2005 de janeiro de 2006, denominada “Padronização de Marcos Geodésicos”, disponível no portal do IBGE na Internet <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>, na área da Geociências, página da Geodésia.

#### **4.2 Seleção e preparação dos equipamentos**

Uma etapa importante na realização de levantamentos utilizando o GPS é a escolha dos equipamentos a serem utilizados. Atualmente o número de marcas e modelos de receptores é grande e cada um tem características, funções e preços específicos, que podem variar muito. Uma maneira de selecionar o equipamento necessário pode ser utilizando o comprimento da linha de base a ser medida e/ou a precisão requerida. As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam informações relevantes para a escolha do tipo de receptor em função das observações, comprimento da linha de base, tempo de rastreamento e precisão requerida.

Na fase de planejamento também é importante considerar alguns parâmetros:

- máscara de elevação;
- valores de DOP máximos;
- observações de satélites com problema;
- intervalo de coleta;
- bibliotecas de feições (importantes para aplicações em SIG);
- autonomia da bateria; e
- memória do receptor.

Em muitos casos a pré-configuração dos receptores facilita a execução dos levantamentos, além de garantir, na maioria das vezes, a padronização dos trabalhos e contribuir com a qualidade dos resultados.

### 4.3 Escolha das estações de referência

A escolha das estações de referência é um item de fundamental importância no planejamento dos levantamentos com GPS que utilizem as técnicas de posicionamento relativo, pois os erros que afetam estas estações serão propagados para as estações a serem determinadas. Portanto, recomenda-se a utilização de estações pertencentes ao SGB materializadas pela tecnologia GPS (vide seção 5.1).

### 4.4 Observações de campo

Além de um bom planejamento, alguns procedimentos adotados em campo são de grande importância para que se possa obter resultados coerentes com os padrões de acurácia e precisão desejados. A seguir, alguns cuidados e medidas de segurança são apresentados, de forma a auxiliar na obtenção de resultados confiáveis.

#### 4.4.1 Estacionamento da antena

Consiste na identificação do marco, bem como na centragem da antena e medição da sua altura. Esta atividade pode se constituir na maior fonte de erro das operações de campo em levantamentos GPS. A maneira de detectar este tipo de erro é realizar múltiplas sessões de rastreamento fazendo com que cada ponto reocupado seja medido por um operador diferente.

O nivelamento e a centragem da antena devem ser verificados antes e depois de cada sessão de observação. A medição da altura da antena sobre o marco também deve ser realizada antes e depois de cada sessão. Cada modelo de antena possui instruções que devem ser obtidas em seu manual, tais como: forma de medição de altura, necessidade de orientá-las para o norte, etc.

Para minimizar o erro de centragem recomenda-se a utilização de marcos que possuam dispositivo de centragem forçada.

#### 4.4.2 Duração da sessão de observação

A duração da sessão de observação depende de vários fatores, tais como: precisão requerida, geometria dos satélites, atividade ionosférica, tipo de receptores, comprimento das linhas de base, probabilidade de ocorrência de multicaminho nos locais das estações, método e software de processamento dos dados, etc. Considerando as dificuldades no estabelecimento de especificações rígidas para este critério face a estes inúmeros fatores influenciadores, recomenda-se a adoção dos valores constantes da Tabela 3.2 como mínimos que proporcionam observações de dados suficientes para a solução das coordenadas de acordo com a precisão requerida.

#### 4.4.3 Anotações de campo

O Anexo A deste documento contém os formulários adotados pelo IBGE em levantamentos geodésicos relativos com GPS, a título de sugestão. Estes formulários foram projetados de forma a atender às recomendações constantes neste documento.

## 5 PROCESSAMENTO DAS OBSERVAÇÕES E INTEGRAÇÃO AO REFERENCIAL GEODÉSICO

O processamento das observações GPS consiste na utilização de modelos matemáticos capazes de relacionar a posição tridimensional de um determinado local com as observáveis básicas do sistema e as coordenadas tridimensionais dos satélites. Além das coordenadas de interesse, esses modelos permitem que outros parâmetros sejam determinados, como, por exemplo, os referentes à atmosfera.

### 5.1 Estação de Referência

No posicionamento relativo, as coordenadas a serem determinadas estarão referenciadas ao mesmo sistema da estação de referência (seção 3.2). Por isso, é de extrema importância que tanto as coordenadas dos satélites quanto a(s) da(s) estação(ões) de referência estejam no mesmo sistema ou em sistemas compatíveis. É um erro muito comum no processamento relativo o usuário utilizar as coordenadas da estação de referência em um sistema diferente do sistema das coordenadas dos satélites, principalmente quando se buscam resultados em um sistema de referência regional, pois as coordenadas dos satélites estão em sistemas globais geocêntricos.

Devem ser utilizadas como referência para os levantamentos as estações da RBMC e/ou, quando possível, estações das Redes Estaduais GPS que se encontrem próximas à área do levantamento ou outra estação do SGB determinada por GPS. Em qualquer um dos casos é recomendável realizar uma consulta ao BDG para conseguir as informações atualizadas das estações do SGB envolvidas no planejamento. Não devem ser utilizadas de forma alguma estações consideradas clássicas, ou seja, estações cujas coordenadas não foram determinadas com GPS, pois estas podem introduzir erros na determinação das linhas de base.

Atualmente, o SGB é definido através de dois sistemas de referência: SIRGAS2000 e SAD 69 (RPR 1/2005):

- SIRGAS2000: sistema de caráter global com origem geocêntrica, o qual é consistente com a alta precisão oferecida pelas novas tecnologias de posicionamento; e
- SAD 69: de caráter regional e origem topocêntrica. O SAD 69 ainda é utilizado no SGB, entretanto sua utilização se restringe às atividades de mapeamento terrestre sistemático do país.

Como hoje em dia não existe mais diferença significativa entre WGS 84 e ITRF2000 (Figura 2.1), da mesma forma que não há diferença significativa entre os sistemas SIRGAS2000 e ITRF2000, as coordenadas da estação de referência utilizada no processamento deverão estar referidas ao SIRGAS2000. Portanto, nunca se deve utilizar coordenadas da estação de referência em SAD 69 no processamento, pois isso levará a um resultado incorreto para as coordenadas da estação determinada.

### 5.2 Efemérides

As efemérides contêm informações referentes à posição e ao erro do relógio dos satélites necessários no posicionamento. A precisão dessas informações depende do tipo de efeméride que está

sendo utilizado. Há basicamente dois tipos de efemérides: precisas e transmitidas, sendo que estas últimas são disponibilizadas diretamente para o receptor no momento do rastreamento das observações.

A Tabela 5.1, a seguir, mostra a relação entre acurácia, latência, atualização e intervalo de amostra para os diferentes tipos de efemérides disponibilizadas pelo IGS para o sistema GPS.

**Tabela 5.1 - Produtos IGS (Valores referentes às efemérides transmitidas incluídos para comparação)**  
adaptada de <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> (07/04/2008).

Efemérides de Satélites GPS		Acurácia	Latência	Atualização	Intervalo de Amostra
Transmitida		~160 cm	Tempo real	-	Diário
Precisas	Ultra-Rápida (metade predita)	~10 cm	Tempo real	Quatro vezes por dia	15 minutos
	Ultra-Rápida (metade observada)	<5 cm	3 horas	Quatro vezes por dia	15 minutos
	Rápida	<5 cm	17 horas	Diária	15 minutos
	Final	<5 cm	~13 dias	Semanal	15 minutos

### 5.3 Formato das observações

Diferentes marcas e modelos de receptores GPS fornecem arquivos de observação e navegação em diferentes formatos, dificultando o processamento das observações e integração de dados. Houve, então, a necessidade de se desenvolver um formato de arquivo padrão, no qual todos os dados possam ser disponibilizados e utilizados.

O formato mais utilizado para integrar dados de receptores de diferentes fabricantes é o RINEX (*Receiver Independent Exchange format*). A versão mais recente deste formato é a 3.00, que contempla cinco tipos de arquivos, sendo eles: observação, navegação GPS, meteorológico, navegação GLONASS e navegação SBAS. Mais informações acerca deste formato podem ser encontradas em Gurtner (2006).

### 5.4 Erros nas observáveis GPS

As observáveis GPS assim como qualquer outra observável envolvida em processos de medidas estão sujeitas aos erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros (MONICO, 2000a). Os erros grosseiros deverão ser detectados e eliminados antes dos dados serem utilizados no processamento final das observações. Os erros sistemáticos podem ser modelados através de modelos matemáticos, ou eliminados por técnicas apropriadas de observação. Já os erros aleatórios não apresentam relação funcional com as medidas observadas, sendo considerados uma propriedade inerente da observação (MONICO, 2000a).

De acordo com Seeber (2003), erros são introduzidos no processo de estimação de parâmetros se o modelo matemático é simples e não representa a realidade física perfeitamente. Alguns erros mesmo modelados não são eliminados. No posicionamento geodésico as correções a estes erros deverão ser estimadas. Dentre os vários erros envolvidos nas observáveis GPS, alguns se destacam por terem maior influência na precisão das coordenadas estimadas.



**a) Erro da órbita do satélite**

No posicionamento por satélite, as coordenadas determinadas de um ponto estão relacionadas com as coordenadas dos satélites, através das observáveis pseudodistância e fase da onda portadora. Entretanto, se as coordenadas dos satélites estiverem eivadas de erros, eles serão propagados para as coordenadas estimadas.

**b) Multicaminho**

Como o próprio nome diz, o multicaminho é o recebimento de sinal pelo receptor, vindo de vários caminhos diferentes. O sinal transmitido pelo satélite pode ser refletido por superfícies refletoras fazendo com que o receptor colete tanto as observações transmitidas diretamente dos satélites, quanto aquelas vindas indiretamente. Isso faz com que erros sejam introduzidos nas observáveis GPS.

**c) Perdas de Ciclo**

Quando se trabalha com a observável fase da onda portadora, um erro muito comum que afeta diretamente a qualidade do posicionamento GPS é a perda de ciclo, que nada mais é do que a perda de sinal entre o receptor e o satélite. As perdas de ciclo podem ocorrer em frações de segundo ou durar até várias horas. Quanto maior for o intervalo de tempo durante o qual houve perda de ciclo, mais difícil será sua correção.

**d) Centro de Fase da Antena**

Diferentemente do que se imagina, as observações GPS não são referenciadas ao centro geométrico das antenas, mas sim ao centro de fase da antena. A diferença entre esses dois centros depende principalmente da elevação e do azimute dos satélites, assim como da intensidade do sinal transmitidos por estes, e é diferente para as observáveis L1 e L2 (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997).

Quando se trabalha com posicionamento de precisão, as correções do centro de fase deverão ser consideradas. Uma das alternativas para esta correção é utilizar as informações do centro de fase disponíveis pelo NGS (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>) ou pelo IGS (<http://igscb.jpl.nasa.gov>) no processamento das observações. Outra possibilidade é utilizar o mesmo modelo de antena no posicionamento relativo. Neste caso deve-se assegurar que elas estejam posicionadas para a mesma direção (normalmente o norte) para que o erro seja eliminado através da diferenciação.

**e) Refração Troposférica**

A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera com aproximadamente 10 km de altitude para latitudes médias (OLIVEIRA, 2003). Além dela, existem mais duas camadas neutras que afetam a propagação do sinal GPS: a tropopausa e a estratosfera. Essas três camadas formam a atmosfera neutra, e, por terem átomos neutros e moléculas, afetam a propagação do sinal. A refração troposférica é

considerada para a atmosfera neutra (troposfera, tropopausa e estratosfera) abrangendo uma altitude de 50 km (TEUNISSEN & KLEUSBERG, 1998). Essa refração independe da frequência dos sinais, desde que a mesma seja inferior a 30 GHz (caso dos sinais GPS), afetando conseqüentemente o código e a fase da portadora. O atraso troposférico depende da temperatura, umidade e pressão atmosférica, variando com a altitude do usuário (LEICK, 1994). Os efeitos desse tipo de erro são mostrados na Tabela 5.2.

#### f) Refração Ionosférica

A ionosfera é a camada da atmosfera formada por partículas livres carregadas, ou seja, por partículas ionizadas (OLIVEIRA, 2003), compreendida a uma altitude entre 50 e 1000 km acima da superfície terrestre. Essas partículas ionizadas proporcionam um atraso na propagação do sinal. Ao contrário da refração troposférica, a refração ionosférica depende da frequência do sinal propagado, da localização geográfica do receptor, e da data e horário em que essas observações estão sendo realizadas (SEEBER, 2003).

A Tabela 5.2 resume alguns dos principais erros envolvidos nas observáveis GPS, suas principais fontes causadoras, o efeito causado no posicionamento e as formas de correção que podem ser aplicadas para diminuir seus efeitos no resultado final.

**Tabela 5.2 - Erros nas observáveis GPS**

Fontes	Erros	Efeito	Correção/Atenuação
Satélite	Órbitas	~ 0 a 20 m	- efemérides precisas - posicionamento relativo
Propagação e Estação	Multicaminhamento	~ 10 a 20 m	- antenas especiais - máscara de elevação - visadas livres
	Perda de Ciclo		- visadas livres de obstrução - tripla diferença de fase - receptores/antenas
	Refração Troposférica	~ 2 a 2,5 m	- modelos de troposfera - posicionamento relativo - linhas de base curtas
	Refração Ionosférica	~ 18 m	- modelos de ionosfera - posicionamento relativo - dupla frequência - linhas de base curtas
Receptor/Antena	Centro de Fase	~ 10 a 15 cm	- modelos iguais de antenas - arquivos de correção (IGS)

#### 5.5 Coordenadas Determinadas

O GPS determina a posição de um ponto em um sistema cartesiano tridimensional geocêntrico XYZ. Essa posição é convertida através de um programa interno do próprio GPS ou de um programa de processamento, sendo normalmente mostrada em outros sistemas como de coordenadas geodésicas e UTM.

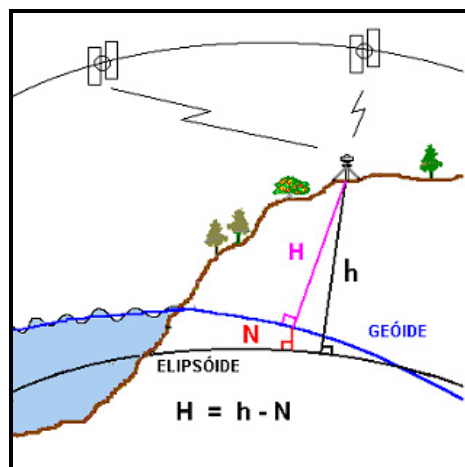
A localização de um ponto no sistema de coordenadas geodésicas pelo GPS é caracterizada por duas componentes: planimétrica e altimétrica. A componente planimétrica é representada pela latitude e

longitude, enquanto que a componente altimétrica é representada pela altitude. Ambas são referidas ao elipsóide de revolução adotado como referência.

As estações cujas coordenadas são determinadas com GPS possuem a altitude referida à superfície do elipsóide, denominada de altitude elipsoidal ou altitude geométrica ( $h$ ). Entretanto, a superfície de referência altimétrica adotada no Brasil é o geóide, que, em uma primeira aproximação, é a superfície eqüipotencial que coincide com o nível médio dos mares não perturbados. A altitude referida ao geóide é denominada de altitude ortométrica ( $H$ ). As altitudes geométrica e ortométrica estão relacionadas através da ondulação geoidal ou altura geoidal ( $N$ ). Portanto, para converter a altitude elipsoidal em altitude ortométrica utiliza-se a equação:

$$H \cong h - N \quad (5.1)$$

A Figura 5.1 mostra o relacionamento entre as superfícies utilizadas na determinação da altitude.



**Figura 5.1 - superfícies geóide e elipsóide e seus relacionamentos. Fonte: IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).**

Conforme visto na Figura 5.1, para converter a altitude geométrica em altitude ortométrica é necessário o conhecimento de  $N$ . Sendo assim, deve ser utilizado o modelo de ondulações geoidais referidas ao SIRGAS2000 e SAD69 denominado MAPGEO2004, que pode ser obtido no portal do IBGE <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>, na área da Geociências, página da Geodésia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. B. M. *Posicionamento RTK no contexto de redes GNSS ativas utilizando o conceito de estação virtual*. Pres. Prudente, 2006. 118p. Relatório (Qualificação de doutorado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista.
- ALVES, D. B. M.; Mônico, J. F. G.; Fortes, L. P. S. Modelagem da ionosfera no RTK em rede. *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia*, Macaé, 2005.
- BUENO, Regis. *Princípios básicos para a realização de posicionamento relativo com GPS*. Seção Artigos. Revista InfoGPS - Edição 13, 07/2006.
- CAMARGO, P.O. *Modelo regional da ionosfera para uso em receptores de uma frequência*. Curitiba, 1999. 156p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná.
- COSTA, S.M.A. e FORTES, L.P.S. *Nova Hierarquia da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro*. Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil – IBGE; Rio de Janeiro, RJ, 2000.
- CRAYMER, M.R. *Integration of Local Surveys into the Canadian Spatial Reference System*. Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, fevereiro, 1998.
- CREEL, T. et al. New, Improved GPS: The legacy Accuracy Improvement Initiative, *GPS World*, v. 17, nº 03 p. 20 - 31, março, 2006.
- CSIC. *GLONASS Interface Control Document (version 5.0)*, Moscou, 2002. 50 p.
- ESA *Galileo: The european programme for global navigation services*, 2ª Ed., 2005. Disponível em: [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/documents/doc/2005\\_02\\_23\\_galileo\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/documents/doc/2005_02_23_galileo_en.pdf) Acesso em: 09/06/2006.
- ESA. *The future - Galileo* Disponível em: <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>. Acesso em 25/05/2006.
- FORTES, L.P.S; CAGNIN, I.F.; GODOY, R. A. Z.; BLITZKOW, D. *Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWC92Z, WGS 84 e o SAD 69*. Anais do XIV CBC, vol. I, pp.157-165, Gramado, 1989.
- FOTOPOULOS, G. *Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations*. 2000. 202f. Dissertação (MSc) – University of Calgary, Calgary. Disponível em: <http://www.geomatics.ucalgary.ca/Papers/Thesis/MEC/00.20142.GFotopoulos.pdf> Acesso em: 09/06/2006.
- GEMAEL, Camil. *Geodesia Celeste*. Editora UFPR, 2004.
- GIBBONS, G. GNSS Trilogy: our story thus far, *Inside GNSS*, v.1, nº1 p. 25 – 32, janeiro-fevereiro, 2006.

- GSD - Geodetic Survey Division. *Accuracy Standards for Positioning - version 1.0*. Geomatics Canada, Ottawa, 1996.
- GSD - Geodetic Survey Division, *GPS Positioning Guide – A user's guide to the Global Positioning System*, 1995.
- GURTNER, W. *The Receiver Independent Exchange Format - Version 3.00*, Astronomical Institute University of Bern, February 1 st , 2006
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H. e COLLINS, J. *GPS Theory and Practice*. Fourth Revised Edition. Wien: ed. Spring-Verlag, 1997. 389p.
- HUDNUT, K. W e TITUS, B. *GPS L1 Civil Signal Modernization (L1C)*. Relatório final da Interagency GPS Executive Board Stewardship Project #204, julho, 2004. p. 406. Disponível em: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/L1/L1C-report-long.pdf> Acesso em: 09/06/2006.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS*, Rio de Janeiro, 1992.
- IGS. *IGS Product Availability*. Disponível em: [http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html). Acesso em: 09/06/2006.
- JPO. *Navstar GPS Space Segment / User Segment L5 Interfaces*. ICD-GPS-705, 2ª ed., dezembro, 2002. p. 67. Disponível em: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/Number.pdf> Acesso em: 09/06/2006.
- JPO. *Navstar GPS Space Segment / User Segment Interfaces*. ICD-GPS-200, 6ª ed., janeiro, 2003. p. 164. Acesso em: 09/06/2006. Disponível em: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/ICD-GPS-200C%20with%20IRNs%2012345.pdf>.
- LANGLEY, R. B. RTK GPS, *GPS World*, v.9, nº 9, p. 70 – 76, setembro, 1998.
- LEICK, A. *GPS Satellite Surveying*. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. 464p.
- LOBIANCO, M. C. B.; Blitzkow, D. e Matos, A. C. O. C. O novo modelo geoidal para o Brasil. *IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, Curitiba, PR, 2005.
- LOCKHEED, Martin *First modernized gps satellite built by lockheed martin declared operational*, 2005. Acessado em 06/06/2006. Disponível em: <http://www.lockheedmartin.com/wms/findPage.do?dsp=fec&ci=17352&rsbci=0&fti=111&ti=0&sc=400>
- MERRIGAN, J. M. et al . A refinement to the World Geodetic System, 1984, reference frame. **Anais do ION-GPS-2002**, Portland, 2002.

- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000a. p 287.
- MONICO, J. F. G. Posicionamento por ponto de alta precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica, *Revista Brasileira de Geofísica*, v 18, nº1, pp. 39 - 48, março, 2000b. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbg/v18n1/5879.pdf>. Acesso em: 09/06/2006b.
- OLIVEIRA, A.B.V. Uso do GPS para o Estudo da Anomalia Equatorial, Tese de Mestrado, ITA, 2003.
- PARKINSON, B. W. e SPILKER, J .J. Global Positioning System: Theory and Applications, Vol. I, volume 163 of *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Cambridge, 1996a.
- PARKINSON B. W. e SPILKER J .J. Global Positioning System: Theory and Applications, Vol. II, volume 163 of *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Cambridge, 1996b.
- PEREIRA, K.D., FAZAN, J.A. e FORTES, L.P.S. *RBMC: Sete anos fornecendo referência a posicionamentos GPS no Brasil e Exterior*. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, MG, 2003. Acesso em 20/03/2005. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/artigos/2003\\_RBMC\\_Sete\\_Anos\\_fornecendo\\_referencia\\_a\\_posicionamentos\\_GPS\\_exterior.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/artigos/2003_RBMC_Sete_Anos_fornecendo_referencia_a_posicionamentos_GPS_exterior.pdf).
- RIZOS, C.; HIGGINS, B.; HEWITSON, S. New Global Navigation Satellite System developments and their impact on survey service and surveyors, *International Federation of Surveyors*, outubro, 2005.
- RTCM. *RTCM Online Publication Order Form*. Disponível em: <https://ssl29.pair.com/dmarkle/puborder.php?show=3>. Acesso: 09/06/2006.
- SANTOS, M. C. Impacto do 3º Sinal no GPS, *InfoGeo*, nº15 , p.22, 2000.
- SANTOS, M. F.; Filho, A. C. e Pereira, R. V. A nova versão do banco de dados geodésicos do SGB. *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia*, Macaé, 2005.
- SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A. T; MONICO, J. F. G. Previsões do atraso zenital troposférico para a América do Sul: variabilidade sazonal e avaliação da qualidade. Submetido à *Revista Brasileira de Cartografia*, Presidente Prudente, 2006.
- SAPUCCI, L.F.; MONICO, J.F.G.; *Avaliação dos Modelos de Hopfield e de Saastamoinen para a Modelagem do Atraso Zenital Troposférico em Território Brasileiro Utilizando GPS*, Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP.
- SEEBER, G. *Satellite Geodesy: foundations, methods and applications*. 2ª ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 588p.

SOUZA, E. M. et al *Formulação matemática para o cálculo da VRS no RTK em rede. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé, 2005.*

SPACEFLIGHT Now *GPS modernization begins with Delta rocket launch*, 2005. Disponível em: <http://www.spaceflightnow.com/delta/d313a/> . Acesso em 06/06/2006.

TEUNISSEN, P.; KLEUSBERG, A. *GPS for Geodesy*. 2.ed. Springer-Verlag Berlin, 1998.

USACE, Engineering and Design – *NAVSTAR Global Positioning System Surveying*, CECW-EE, 01 de julho de 2003.

VAN GRAAS, F. e BRAASCH, M. S. Selective Availability. In: Parkinson B. W. and Spilker J .J., *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. 1, Cambridge, American Institute of Aeronautics and Astronautics: p 601-620, 1996.

WEBER, G.; DETTMERING, D. e GEBHARD, H. Networked. *Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip)*. Disponível em: [http://igs.bkg.bund.de/root\\_ftp/NTRIP/documentation/NtripPaper.pdf](http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripPaper.pdf). Acesso em: 14/06/2006.

WELLS, D. *et al. Guide to GPS Positioning*. Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canadá, 1986.

[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

<http://igsb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html>

<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/ac.comb.table.html>

<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/>

[http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html)

<ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/product/>

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/glonass/products>

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

<http://www.cx.unibe.ch/aiub/ionosphere.html>

<ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>

## **ANEXO A**



**Projeto:** \_\_\_\_\_

**Localidade:** \_\_\_\_\_ **Município:** \_\_\_\_\_ **Estado:** |\_|\_|

**Código:** |\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_| **Inscrição na chapa:** \_\_\_\_\_

**Data:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_ **Dia do ano:** |\_|\_|\_|\_| **Dia Juliano :** |\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|

**Coordenadas aproximadas:** **Latitude:** \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ‘ \_\_\_\_\_ ”

**Longitude:** \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ‘ \_\_\_\_\_ ”

OBS.: Descrever os acessos e referências que permitam uma boa caracterização e identificação da localização do ponto. Incluir os nomes das localidades, ruas, avenidas,, etc. Descrever também todas as referências e a visão geral da área.

**Localização:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Descrição:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Itinerário:**

---

---

---

---

---

---

---

---

Código: |\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_| Inscrição na chapa: \_\_\_\_\_

Croqui:

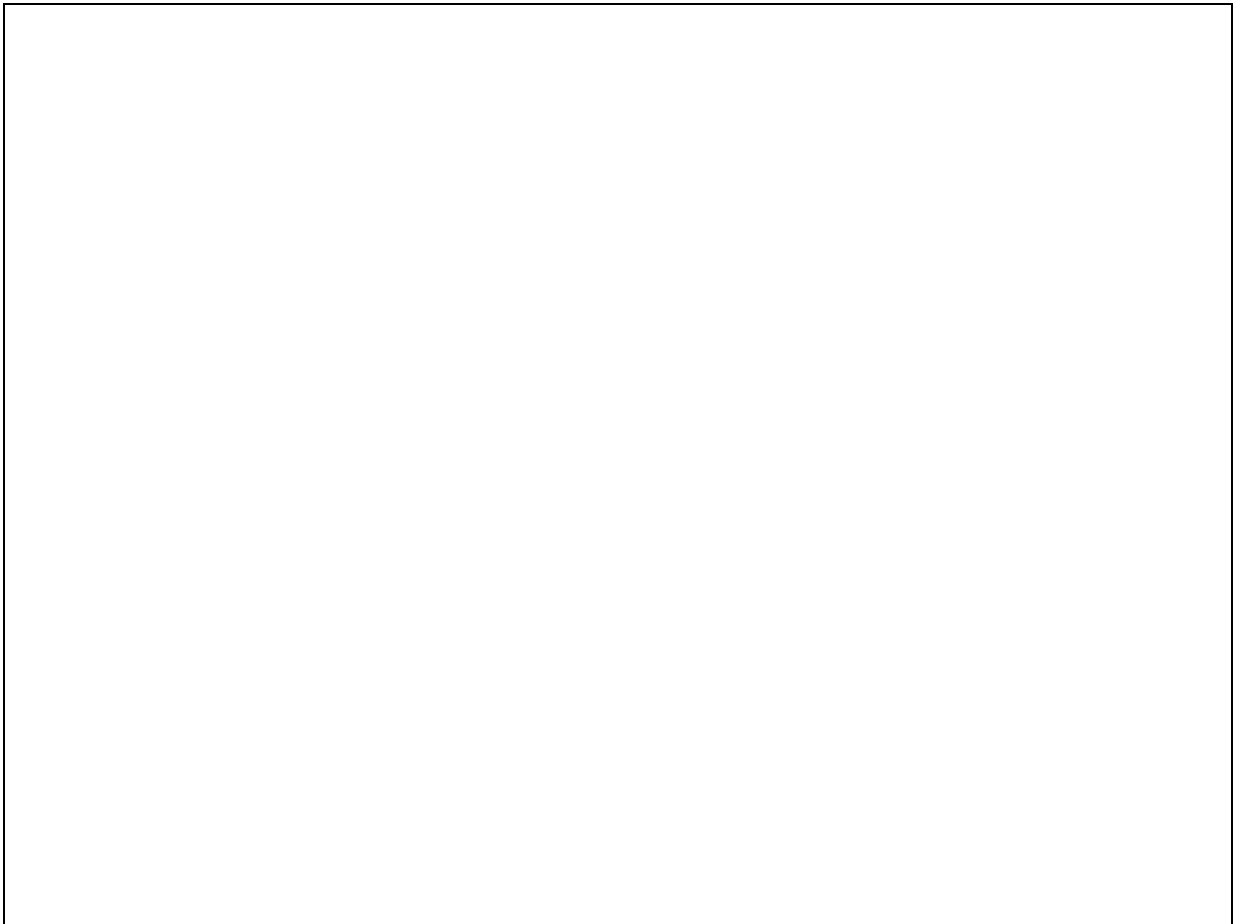
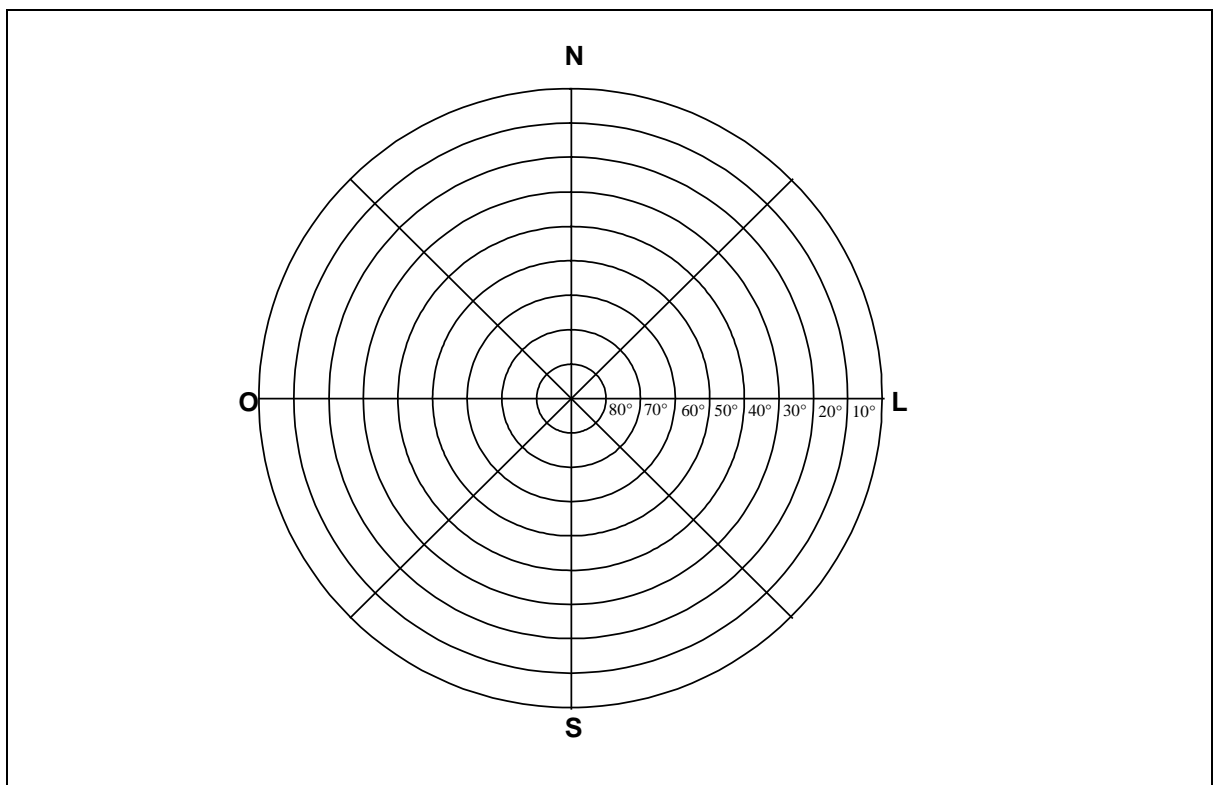


Gráfico de visibilidade:



Código: |\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|

Inscrição na chapa: \_\_\_\_\_

Sessão: |\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|

Nome do arquivo: \_\_\_\_\_

EQUIPAMENTO:		HORÁRIO DE RASTREIO:	
Marca	Modelo	LOCAL	TUC
Receptor: _____	_____	Início: ____ : ____	____ : ____
Antena: _____	_____	Fim: ____ : ____	____ : ____

INTERVALO DE RASTREIO: \_\_\_\_\_ SEGUNDOS

Medidas de altura da antena		Esquema de medição da altura da antena
INÍCIO	FIM	
1ª _____ m	_____ m	
2ª _____ m	_____ m	
3ª _____ m	_____ m	
ALTURA FINAL →	_____ m	

OBSERVAÇÕES:

---

---

---

---

---

---

Equipe: \_\_\_\_\_