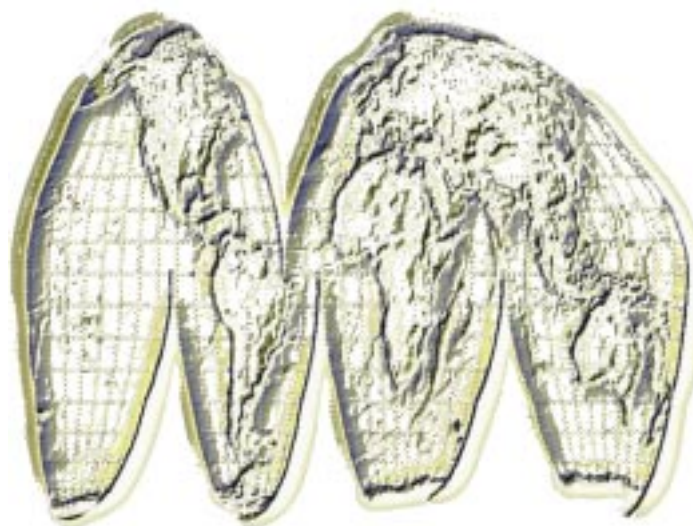


Levantamentos Através do Sistema GPS



Marcos A. Timbó

Departamento de Cartografia



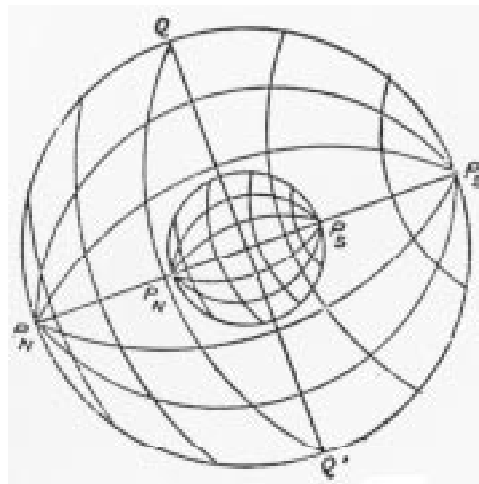
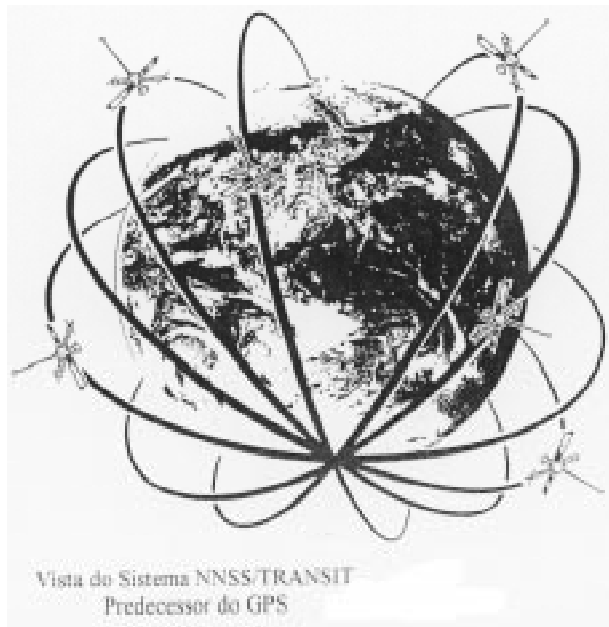
UFMG

2000

1 - APRESENTAÇÃO

A história das observações celestes é milenar e se perde nas brumas do tempo, remontando aos primórdios da civilização. Desde remotas eras do limiar da civilização que o homem procura no céu algumas respostas para diversos problemas da Terra. Os primeiros seres inteligentes já olhavam com admiração para o universo infinito e questionavam de alguma forma a situação do nosso planeta dentro de toda aquela incomensurável e enigmática grandeza. Buscavam respostas para os mistérios do Sol e das estrelas, relacionando a posição dos astros e os fenômenos do cosmo com as atividades da vida terrena. Hiparco 150 AC já identificava e determinava as coordenadas de várias estrelas. Kepler, em 1609 observando o sol e os planetas já estabelecia as leis que formariam as bases do movimento dos atuais satélites artificiais. Newton ao estabelecer as leis da gravitação universal consolidou de vez as regras que regem o movimento do universo.

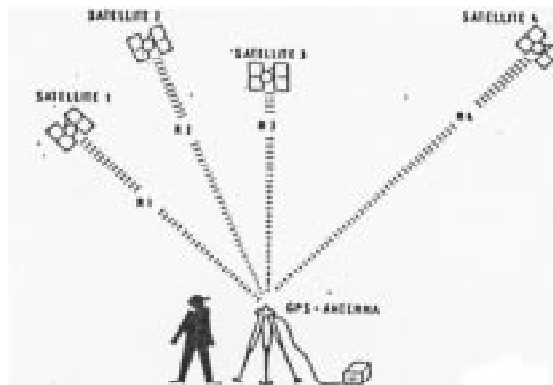
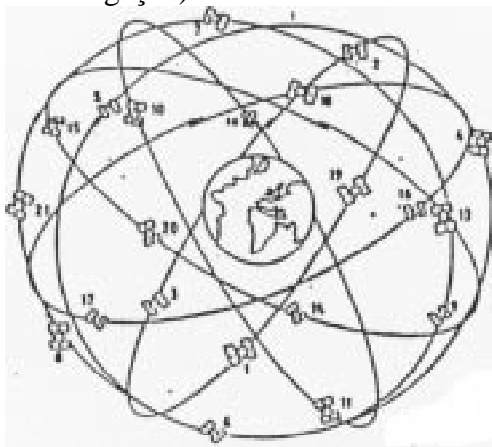
Mas a nova era de tecnologia espacial começou mesmo para valer, quando os russos lançaram o SPUTNIK I, primeiro satélite artificial a voar na órbita da Terra, em 4 de outubro de 1957. Logo após o lançamento deste satélite os cientistas da Universidade Johns Hopkins (EUA) ficaram intrigados com a substancial variação de frequência doppler dos sinais transmitidos pelo SPUTNIK. O interesse pelo problema os levou a desenvolver algoritmos para determinar a órbita completa a partir de medições feitas de uma estação terrena de posição geodésica conhecida. O sucesso estimulou outros cientistas a pensarem no processo inverso, isto é, a posição de um navegador terrestre poderia ser determinada a partir da medição de sinais transmitidos por um satélite de órbita precisamente conhecida. Este pensamento levou de imediato aos estudos para desenvolvimento do Navy Navigation Satellite System (NNSS) mais conhecido como TRANSIT que se tornou operacional em janeiro de 1964 e totalmente disponível para uso comercial em 1967. O sistema NNSS TRANSIT era constituído de 6 satélites, movendo-se em órbitas polares a 1075 km de altitude circulando a Terra a cada 107 minutos.



2 - CONCEITOS BÁSICOS

O Sistema de Posicionamento Global – GPS-NAVSTAR (Navigation Satellite Time And Ranging) foi concebido inicialmente para substituir o sistema NNNS/TRANSIT que apresentava várias limitações operacionais e os estudos iniciais para seu desenvolvimento datam de 1973. O Sistema GPS foi projetado de forma que em qualquer lugar do mundo e a qualquer instante existam pelo menos quatro satélites GPS acima do horizonte do observador. Esta situação garante a condição geométrica mínima necessária à navegação em tempo real e qualquer usuário equipado com um receptor/processador de sinais GPS poderá determinar sua posição instantaneamente. O princípio buscado é o de um sistema que meça distâncias de pontos com coordenadas conhecidas (satélites) para pontos na terra, no mar e no ar que tenham suas coordenadas a determinar. Para atingir seus objetivos o Sistema GPS foi estruturado em 3 segmentos distintos - Segmento Espacial, Segmento de Controle e Segmento do Usuário.

O segmento espacial é composto por uma constelação de 24 satélites, orbitando a uma altitude aproximada de 20.000 km, distribuídos em seis planos orbitais, cada órbita tem inclinação de 55° em relação ao plano do Equador e cada satélite tem um período de revolução de 12 horas siderais. Este período implica na repetição da constelação quatro minutos mais cedo diariamente em relação ao tempo solar, em um mesmo local. A função do segmento espacial é gerar e transmitir os sinais GPS (códigos, portadoras e mensagens de navegação).

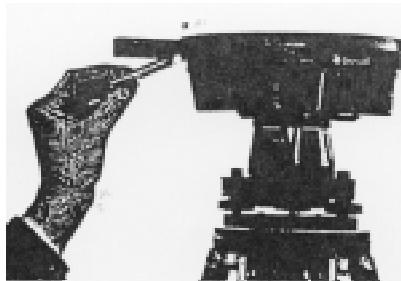


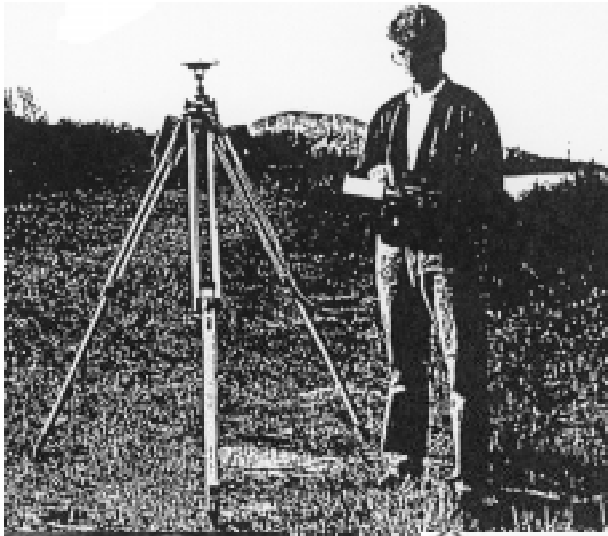
O segmento de controle é responsável pela operação do Sistema GPS. Sua principal função é atualizar a mensagem de navegação transmitida pelos satélites. Este segmento é constituído por estações de monitoramento estrategicamente espalhadas pelo mundo, localizadas em Ascension, Colorado Springs, Diego Garcia, Kwajalein e Hawaii, que rastreiam continuamente todos os satélites visíveis pelo campo da antena das estações. Os dados rastreados pelas Monitoring Stations (MS) são transmitidos para a Master Control Station (MCS) em Colorado Springs, nos Estados Unidos para serem processados com o

objetivo de calcular os dados relativos às orbitas (efemérides) e a correção dos relógios dos satélites para atualizar a mensagem de navegação. A nova mensagem de navegação é transmitida para os satélites pelas Ground Antenas (GA), quando os satélites passam no seu campo de visada. Devido à posição geográfica das GA a mensagem de cada satélite é atualizada pelo menos três vezes ao dia.



O segmento do usuário refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária para determinação de posição, velocidade ou tempo. São os receptores, algoritmos, programas, metodologias e técnicas de levantamentos, etc. Os receptores GPS são constituídos basicamente de uma antena, um pré amplificador e uma unidade onde estão integrados todos os elementos eletrônicos necessários ao controle, registro e visualização dos dados.





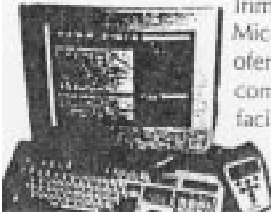
O GeoExplorer™ II é um sistema para coleta de dados GPS/GIS que cabe no seu bolso e no seu orçamento. Possui o software Pathfinder Office incluído e apresenta a opção para antena externa.



O GPS Pathfinder™ Pro XR lhe dá precisão submétrica e possui um poderoso coletor de dados que lhe permite coletar posições e atributos, com muita produtividade.



O Pathfinder Office™ é a mais nova geração de softwares de processamento de dados GPS da Trimble. É compatível com o Microsoft Windows™ e oferece todos os recursos para completar seus projetos com facilidade e rapidez, do planejamento de GPS à exportação para GIS.



3 - SINAIS DO SISTEMA GPS

O trabalho com levantamentos GPS requer uma compreensão integrada de várias disciplinas, notadamente Estatística, Astronomia, Geodésia e Eletrônica. Os satélites se movem no espaço, portanto existe a necessidade de relacionar dois diferentes sistemas de coordenadas, um fixado no espaço (Sistema Inercial - SI) e outro fixado na Terra (Sistema Terrestre - ST). O tempo é um aspecto fundamental que entra no GPS de duas formas, a saber: 1) serve para relacionar os dois sistemas de coordenadas, tendo em vista que o ST acompanha a rotação da Terra enquanto o SI permanece imóvel; 2) a escala de tempo dos sinais transmitidos formam toda a base para as medições GPS.

Os sinais GPS são gerados por osciladores atômicos de alta estabilidade (10^{-13}) e derivados da frequência fundamental f_0 , de 10.23 Mhz da qual se derivam todas as outras frequências utilizadas no sistema, através de multiplicadores com a seguinte constituição:

Ondas portadoras

L1 = $154 \times f_0 = 1575.42$ Mhz. Comprimento de onda de $\cong 19.0425$ cm

L2 = $120 \times f_0 = 1227.60$ Mhz. Comprimento de onda de $\cong 24.4379$ cm

Modulados em fase com as ondas portadoras são transmitidos os códigos (Pseudo Random Noise Codes - PRN Codes) que são seqüências de +1 e -1 nas frequências

Código C/A (Coarse Acquisition Code) : $f_0/10 = 1.023$ Mhz.

Código P (Precision Code) : $f_0/1 = 10.23$ Mhz.

O código C/A (também conhecido como *Standard Positioning Service*) consiste em uma modulação de 1023 bits sobre L1 que se repete a cada 1 milissegundo. O código C/A é afetado pela técnica *Selective Availability* (SA) que tem objetivo de degradar sua precisão quando for julgado necessário. Com a SA desligada o erro de posição em tempo real é da ordem de 20 a 30 metros. A SA foi implementada em 25 de março de 1990, parcialmente desativada em setembro de 1990 durante a Guerra do Golfo e totalmente reativada em 1 de julho de 1991. Recentemente, em 1 de maio de 2000, a SA foi definitivamente desativada por decisão do presidente americano Bill Clinton.

O código P (também conhecido como *Precision Positioning Service*) é modulado sobre as duas portadoras L1 e L2 e consiste de uma seqüência de 10^{14} bits que se repete a cada 267 dias (38 semanas). Este código se modifica toda semana de forma tal que cada satélite tem uma única fração de uma semana do código que serve para identificá-lo. O código P é afetado pela técnica conhecida como *Anti-Spoofing* (AS), onde o código P é criptografado e transformado em código Y, impedindo seu acesso a usuários não autorizados. Com a eliminação da AS o erro de posição em tempo real é da ordem de 10 a 15 metros. O código P foi criptografado e transformado em código Y em 1 de janeiro de 1994, desde então só está disponível sem restrições para usuários autorizados (militares) que têm a chave de acesso à criptografia.

Ambas portadoras L1 e L2 carregam a mensagem de navegação que consiste de uma seqüência de dados transmitidos a 50 bps destinados a informar aos usuários sobre a saúde e a posição dos satélites (*Efemérides Transmitidas*). Cada mensagem de navegação é dividida nas 5 partes abaixo.

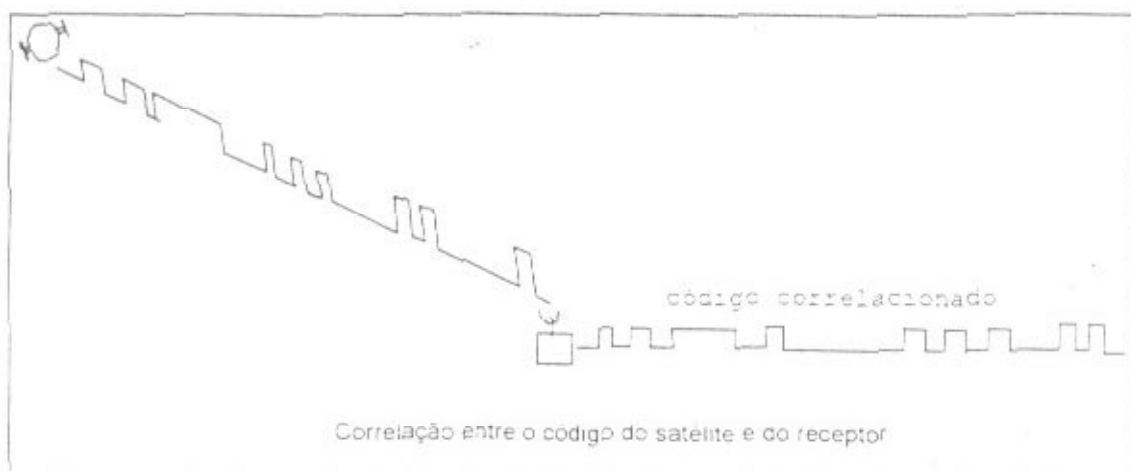
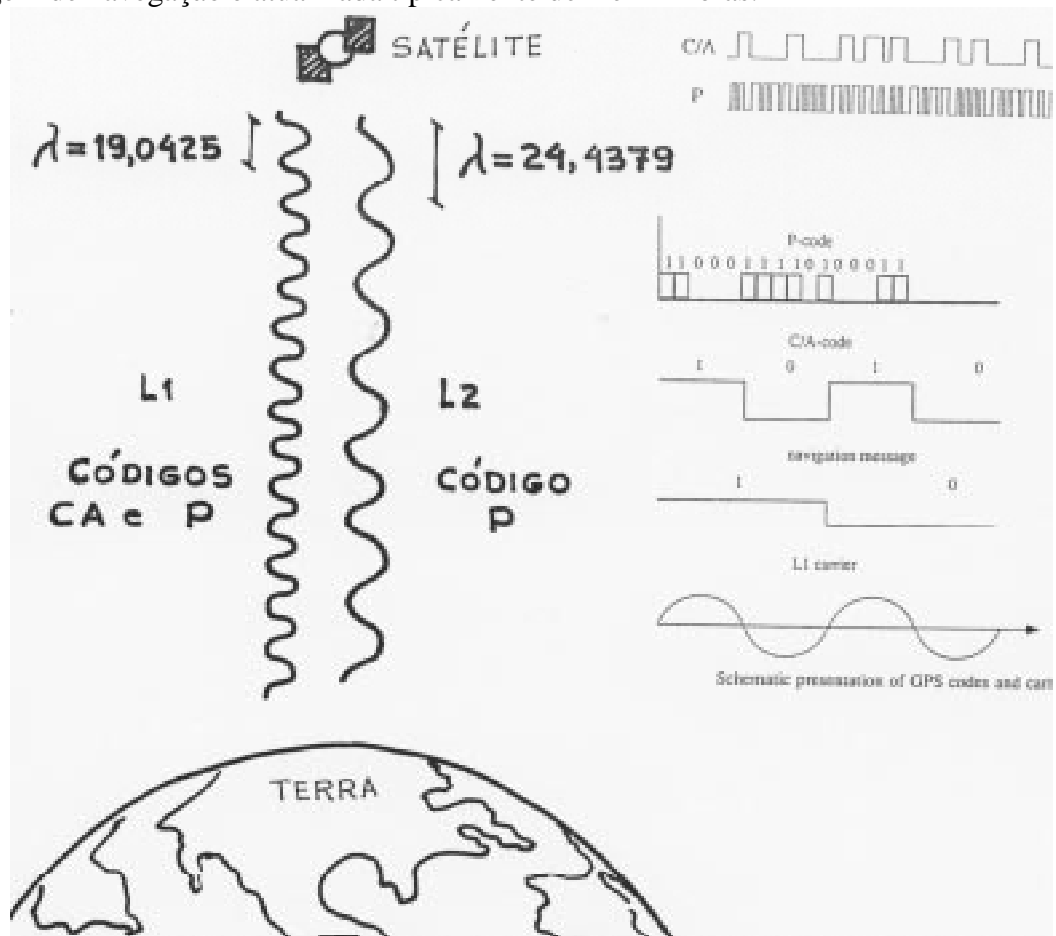
Parte 1 – com duração de 6 segundos, traz os parâmetros de correção do relógio do satélite que está transmitindo.

Partes 2 e 3 – com duração de 12 segundos, carrega as efemérides do satélite que está transmitindo (preditas e calculadas pelas estações de controle) com os elementos keplerianos e suas correções.

Parte 4 – com duração de 6 segundos, traz os coeficientes do modelo para correção do retardo da ionosfera e os coeficientes de conversão do GPST em UTC

Parte 5 – com duração de 6 segundos, traz o almanaque dos satélites de 1 a 24, seu estado operacional e as correções dos relógios. O almanaque é um arquivo com as efemérides aproximadas de todos os satélites que permite os cálculos dos programas de planejamento de observações.

A mensagem de navegação é atualizada tipicamente de 4 em 4 horas.



As efemérides transmitidas (que são calculadas pelas estações de controle como uma previsão para as próximas horas) nem sempre satisfazem as necessidades de todos os usuários que lidam com aplicações de alta precisão, por isso já surgiram vários grupos no mundo inteiro que estão

implantando redes independentes de monitoramento contínuo dos satélites GPS com objetivo de determinar efemérides precisas (não são efemérides transmitidas) para garantir alta precisão no cálculo da posição dos satélites.

4- CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ORBITAS DOS SATÉLITES

A órbita de um satélite quando sujeita a um campo esférico e homogêneo sem influências externas é chamada Órbita Normal. A Terra, porém, tem a forma de um elipsóide de revolução com protuberância equatorial, é constituída internamente de materiais muito heterogêneos, tem uma superfície externa repleta de saliências e reentrâncias geográficas e está inserida em um sistema dinâmico (Sistema Solar) sujeito a influências diversas (atração do Sol, da Lua e dos Planetas), por isso os satélites na Terra descrevem órbitas perturbadas.

A órbita normal tem um movimento denominado kepleriano, regido pelas leis de Kepler estabelecidas entre 1609 e 1619, que podem ser resumidas abaixo:

- ✍ Lei das Órbitas – os satélites descrevem órbitas elípticas, onde o centro da Terra ocupa um dos focos.
- ✍ Lei das Áreas – o raio vetor que liga o centro do satélite ao centro da Terra descreve áreas iguais em tempos iguais.
- ✍ Lei dos Períodos – o quadrado do período de revolução do satélite é proporcional ao cubo do semi-eixo maior de sua órbita.

Para melhor compreensão do assunto é conveniente definir alguns pontos notáveis da órbita de um satélite.

Apogeu: é o ponto da órbita do satélite mais distante do centro de massa da Terra

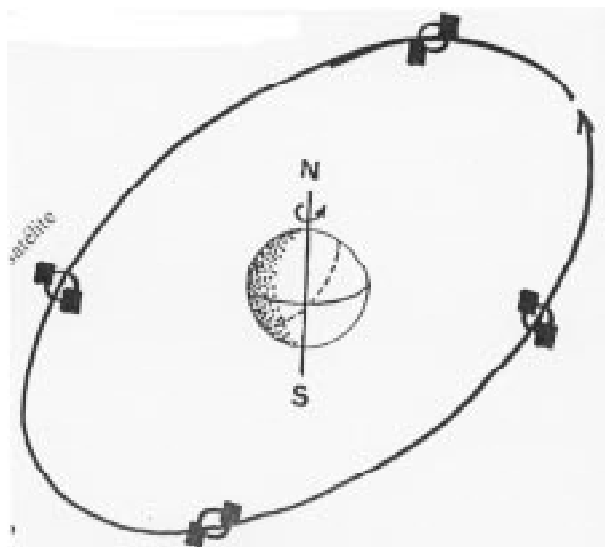
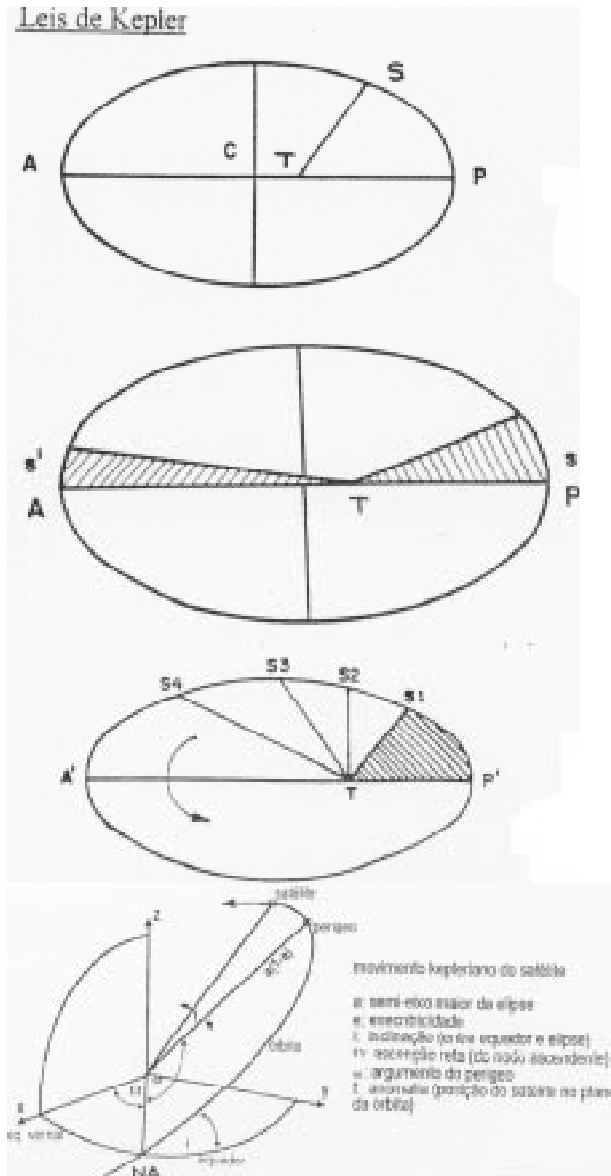
Perigeu: é o ponto da órbita do satélite mais próximo do centro de massa da Terra

Nodo Ascendente (NA): é o ponto da órbita onde o satélite cruza o equador terrestre na passagem do hemisfério sul para o hemisfério norte.

Argumento do Perigeu: é o ângulo com vértice no centro da Terra formado entre o Nodo Ascendente e o Perigeu

Anomalia Verdadeira: é o ângulo com vértice no centro da Terra formado entre o satélite e o Perigeu. Este ângulo nos dá a posição instantânea do satélite dentro da órbita

Leis de Kepler



A Lei dos Períodos estabelecida por Kepler foi posteriormente estendida pela Lei da Gravitação Universal de Newton que introduziu a constante gravitacional.

As orbitas dos satélites são calculadas em um sistema inercial (SI) onde as coordenadas independem da posição do observador. Trata-se de um sistema tridimensional fixado no espaço, absolutamente independente da rotação da Terra e tendo como plano fundamental o plano do equador. O eixo X é a linha equinocial apontando para o ponto vernal (γ), o eixo Y no plano do equador 90° anti-horário, torna o sistema dextrogiro, e o eixo Z coincide com o eixo de rotação da Terra apontando para Norte. A orbita normal pode ser perfeitamente descrita pelos seis elementos do movimento kepleriano relacionados abaixo:

1. Semieixo maior: a
2. Excentricidade: e

3. Inclinação do plano da órbita: i
4. Ascensão reta do nodo ascendente: Ω
5. Argumento do perigeu: ω
6. Tempo da passagem pelo perigeu: t_p

Os dois primeiros elementos definem o tamanho e forma da órbita, o terceiro e quarto dão a orientação do plano orbital em relação ao sistema de referência inercial e os dois últimos fornecem a posição instantânea do satélite dentro da órbita. O conhecimento destes seis elementos nos permitem calcular a posição do satélite em um tempo qualquer t . Por outro lado, para calcular a posição do satélite em uma órbita perturbada é necessário conhecer as forças perturbadoras e modelar os seus efeitos nas equações de posição. A órbita perturbada é calculada por integração numérica em várias iterações. Os principais fatores perturbadores da órbita normal são:

Campo gravitacional da Terra – devido ao achatamento provoca o deslocamento da linha dos apsides e retro movimento dos nodos.

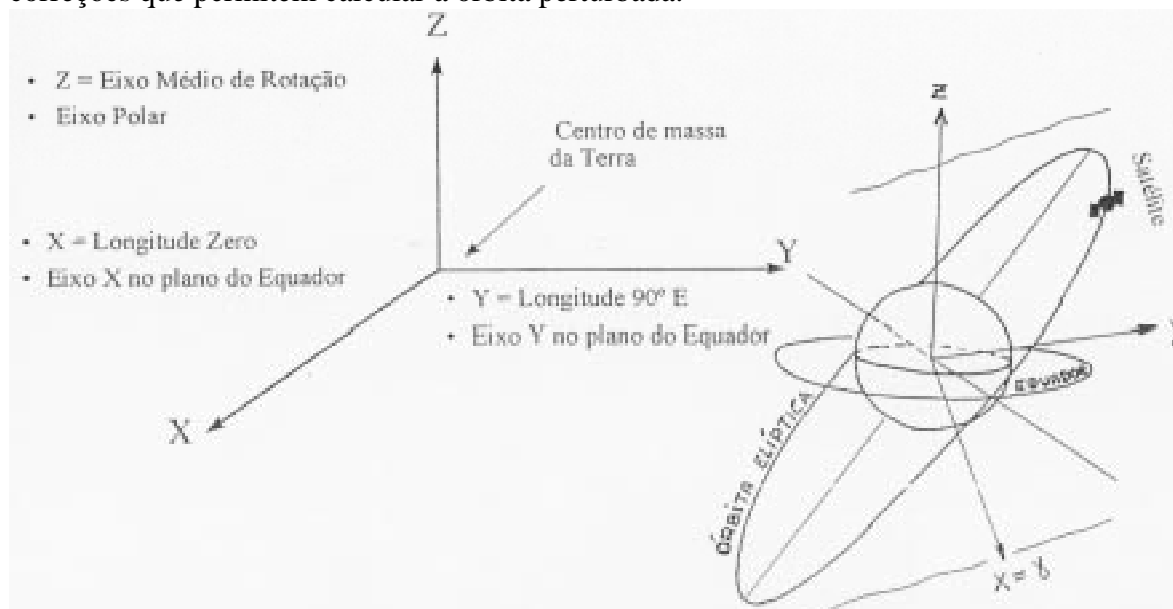
Força das mares – as mares oceânicas e terrestres provocadas pela atração da lua e do sol modificam as órbitas dos satélites.

Arrasto da atmosfera – tem maior efeito sobre satélites de baixa altitude, praticamente não afeta os satélites GPS que têm altitudes elevadas (20000 km).

Pressão da radiação solar – resulta do impacto das partículas emitidas pelo sol na superfície do satélite.

Atração gravitacional da lua, do sol e dos planetas – o efeito destas perturbações podem ser modelados com bastante aproximação

Os satélites do sistema GPS transmitem os elementos keplerianos da sua própria órbita através da mensagem de navegação. A mensagem traz, também as variações e correções que permitem calcular a órbita perturbada.



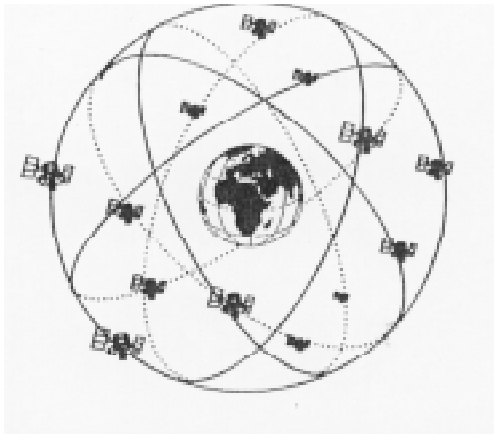
5 - PRINCÍPIO BÁSICO DO POSICIONAMENTO GPS

O cálculo das coordenadas do satélite no instante da transmissão do sinal é feito a partir das informações irradiadas pelo próprio satélite (mensagem de navegação) no sistema inercial (SI) já definido, cuja origem é o ponto vernal (γ). Todos os sinais de tempo transmitidos pelo Sistema GPS são baseados em um apurado sistema de tempo chamado GPST que é mantido por relógios atômicos da MCS. O GPST constitui uma escala estável e foi sincronizada com o UTC (Tempo Universal Coordenado) às 00:00:00 do dia 06/01/1980 (Domingo). Neste momento iniciou a semana GPS que vai até 1023, quando recomeça a contagem a partir do zero novamente. O sistema terrestre (ST) adotado para referência tanto das efemérides transmitidas quanto das efemérides precisas é o WGS84. Isto implica que os resultados do posicionamento GPS referem-se ao WGS84, devendo ser transformados para SAD69 que foi adotado oficialmente no Brasil pelo Decreto Lei 242 de 28/02/1967 e pela resolução IBGE n° 23 de 21/02/1989.

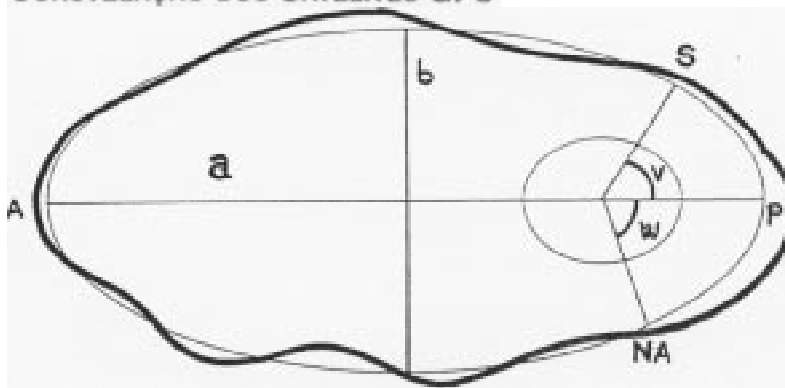
Para melhor entendimento e efetiva visualização dos conceitos até aqui abordados vamos acompanhar de forma simplificada e passo a passo o princípio básico do posicionamento envolvido na obtenção de uma posição instantânea com o GPS.

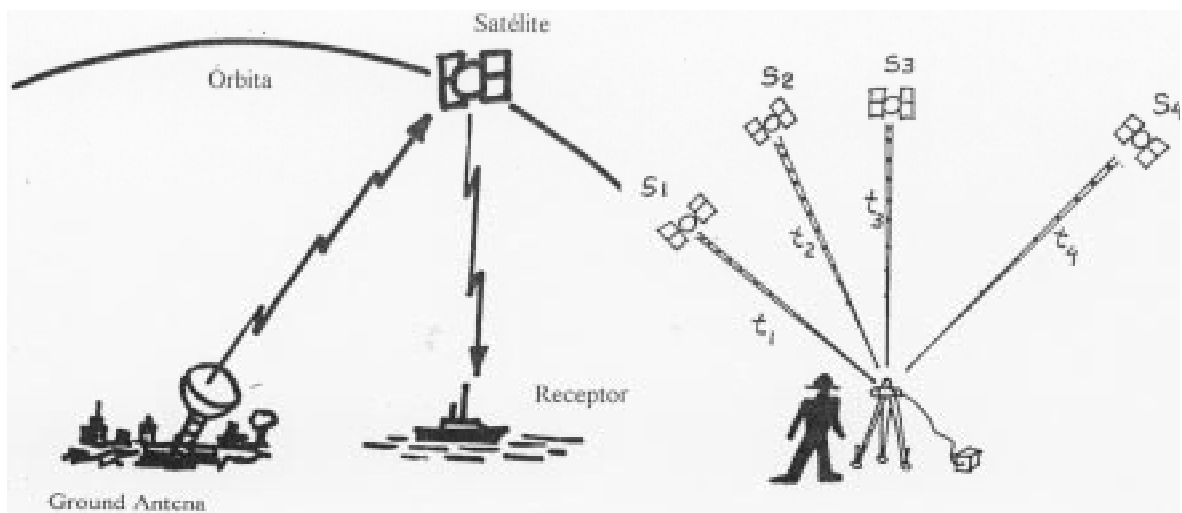
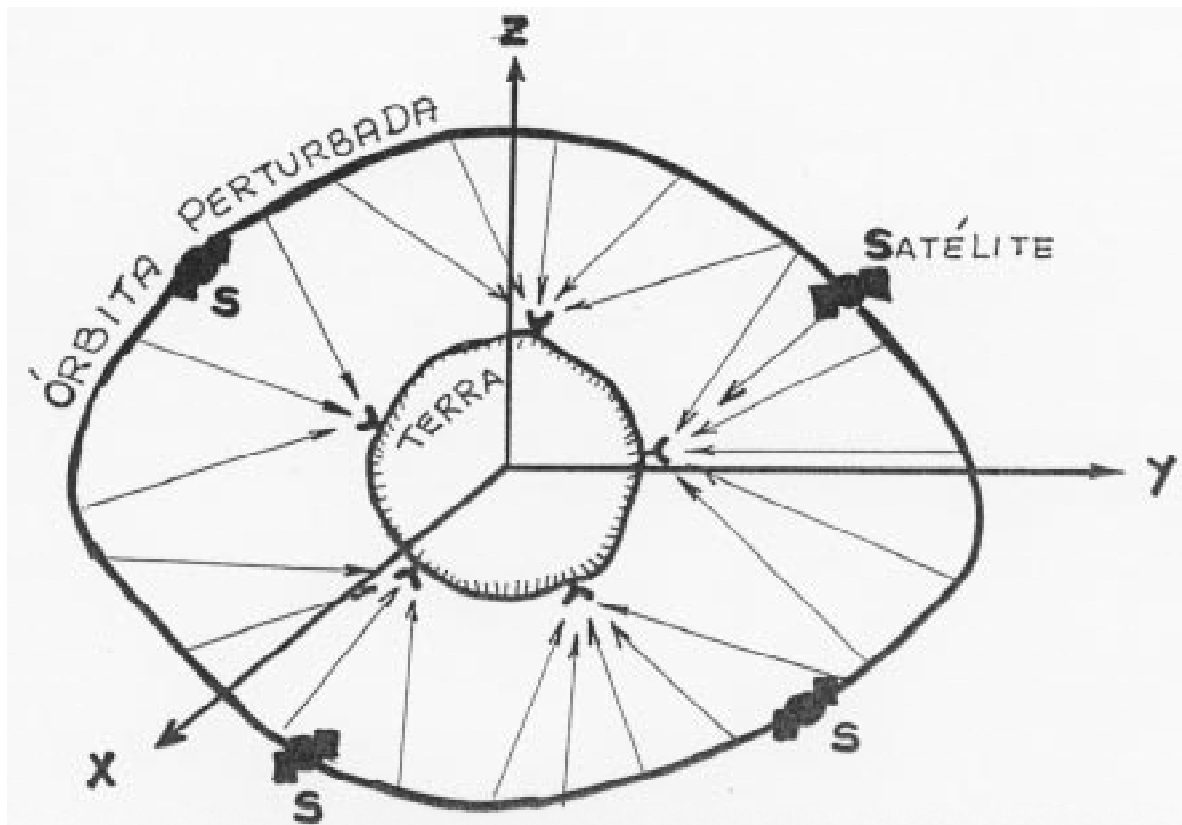
1. Os satélites descrevem órbitas bem definidas que obedecem às leis da mecânica celeste estabelecidas por Kepler e estendidas por Newton, permitindo calcular suas posições tridimensionais (x,y,z) em um instante (t) qualquer em relação a um sistema cartesiano de 3 eixos (X,Y,Z) fixados no espaço (SI).
2. Entretanto, as órbitas dos satélites artificiais, estão sujeitas a perturbações que modificam os elementos Keplerianos da órbita normal (campo gravitacional terrestre, atração das marés, da Lua, do Sol e planetas, arrasto da atmosfera, etc.) dando origem a uma órbita perturbada.
3. As estações do segmento de controle medem com grande precisão as órbitas dos satélites na passagem destes pelo seu campo de visada, calculando e modelando as perturbações da órbita normal.
4. Em função da órbita medida, com precisão pelas Monitoring Control Station, a Master Control Station calcula uma projeção das órbitas para as próximas horas. Estas orbitas previstas por cálculos são transmitidas para os satélites pelas GA (conhecidas como *Efemérides Transmitidas*).
5. Os satélites (que recebem as informações das GA) transmitem permanentemente para a Terra e para o espaço os dados relativos a sua própria órbita (*Efemérides Transmitidas*). Os satélites, também geram internamente e transmitem permanentemente os sinais de navegação (códigos CA e P ou Y).
6. Os receptores terrestres capturam os dados da órbita (que permitem calcular a posição espacial do satélite no instante da transmissão) e também os códigos, que permitem deduzir com alta precisão o intervalo de tempo (Δt) entre sua emissão do satélite e sua chegada ao receptor.
7. A distância satélite-receptor é calculada ($D_r^s = \Delta t \times \text{VelocidadeDaLuz}$). A medição de três distâncias (3 satélites) permite calcular a posição do ponto terrestre no sistema tridimensional (X,Y,Z).

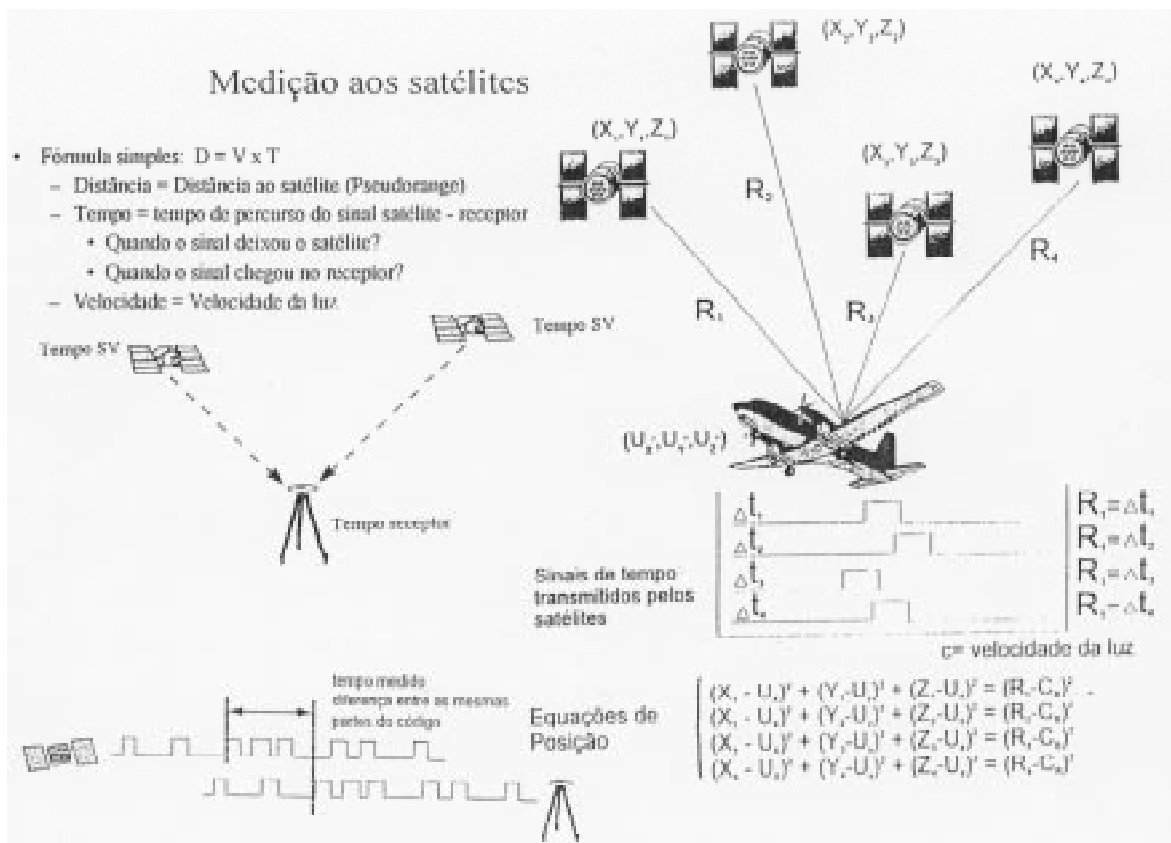
8. Apesar de todos os relógios GPS estarem sincronizados na mesma escala de tempo (GPST). O relógio atômico do satélite é bem mais preciso que o relógio de quartzo do receptor, assim as distâncias têm erros e por isso são chamadas pseudo-distâncias.
9. Portanto, há necessidade de observar mais 1 satélite (total de 4) para eliminar matematicamente o erro devido às diferenças entre os dois relógios (satélite e receptor).
10. As coordenadas tridimensionais (x,y,z) do receptor são calculadas em um sistema global (geocêntrico) fixado na Terra (WGS84) e a partir deste convertidas para um sistema local (topocêntrico)
11. São também convertidas para coordenadas esféricas (Lat, Lon, Alt) ou para coordenadas de um Sistema de Projeção Cartográfica (N,E,Alt).



CONSTELAÇÃO DOS SATÉLITES GPS







6 - TÉCNICAS DE OBSERVAÇÕES

Os receptores podem ser classificados segundo as aplicações a que se destinam. Porém, como as aplicações estão estreitamente relacionadas ao tipo de sinal GPS utilizado, os receptores diferenciam-se segundo as componentes do sinal rastreadas. Até bem pouco tempo identificavam-se duas grandes classes: os receptores destinados a aplicações de posicionamento em tempo real (classicamente denominadas aplicações de navegação) caracterizados pela observação dos códigos CA e P e os destinados a aplicações estáticas (levantamentos geodésicos/topográficos) que observam principalmente as fases das portadoras L1 e L2. Esta clara distinção que havia entre aplicações de navegação e aplicações estáticas durante os primeiros anos do GPS está desaparecendo rapidamente com o desenvolvimento de novas técnicas e algoritmos sofisticados. Modernas abordagens combinam ambos os tipos de sinais de forma integrada e otimizada resultando em uma teoria de posicionamento unificada para navegação e levantamentos. Tal como já ocorre nas aplicações de levantamentos as aplicações de navegação seguem uma forte tendência apontando para o cálculo da posição em relação a estações de posição já conhecida. Poderosos algoritmos de processamento estão reduzindo tão significativamente o tempo necessário ao rastreo, de forma que nem mesmo a distinção entre as técnicas estáticas e cinemáticas estão fazendo sentido atualmente.

Devido ao constante desenvolvimento dos receptores não é conveniente descrevê-los em detalhes. Porém vale a pena destacar os recentes avanços desenvolvidos na correlação estreita para código CA, as várias soluções implementadas para superar o

problema de antispoofing, a disponibilidade de receptores que incorporam fases completas das portadoras em L1 e L2, pseudo distâncias com código CA e pseudo distâncias com código P e Y todos integradamente, desenvolvimento de receptores que observam simultaneamente sinais dos satélites GPS e dos satélites GLONASS (Sistema Russo). A maioria dos receptores atualmente é do tipo multicanal, ou seja cada canal rastreia um satélite independentemente.

Embora o posicionamento GPS caminhe na direção de uma teoria unificada para navegação, geodésia, topografia e outras aplicações, vamos abordar as técnicas de observação segundo os aspectos clássicos separadamente, para facilitar o entendimento.

OBSERVAÇÃO DOS CÓDIGOS (CA e P ou Y)

Esta técnica utilizada principalmente para aplicações de navegação em tempo real, baseia-se no princípio já resumidamente descrito anteriormente. Os satélites e os receptores são programados para gerarem sinais de códigos no mesmo instante do tempo GPST. Devido ao longo espaço de separação (>20000 km) o sinal emitido pelo satélite chegará com atraso ao receptor. O receptor correlaciona o código recebido com a réplica do código gerado pelo seu oscilador e determina o atraso ($t_r - t_s$). A posição dos satélites é calculada com base nos dados das orbitas transmitidos e as distâncias do satélite ao receptor calculadas com base na equação

$$D_{rs} = (t_r - t_s) \times \text{VelocidadeDaLuz} + \epsilon_r.$$

A precisão da medida do tempo é um fator fundamental pois o sinal leva menos de um decimo de segundo para atingir o receptor e um erro de apenas um centésimo de segundos pode resultar numa posição 3 mil quilômetros fora. O relógio atômico do satélite tem excelente precisão, superior a um bilionésimo de segundo, mas o relógio de quartz do receptor tem precisão menor, ocasionando o erro do relógio do receptor (ϵ_r). A observação do quarto satélite elimina matematicamente este erro. Uma vez que são conhecidas as posições dos satélites, Quatro pseudodistâncias são suficientes para calcular a posição do receptor corrigida do erro do relógio do receptor (ϵ_r).

A geometria tridimensional calcula a distância entre o receptor e o satélite pela equação

$$D_{rs} - \epsilon_r = [(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2]^{1/2}$$

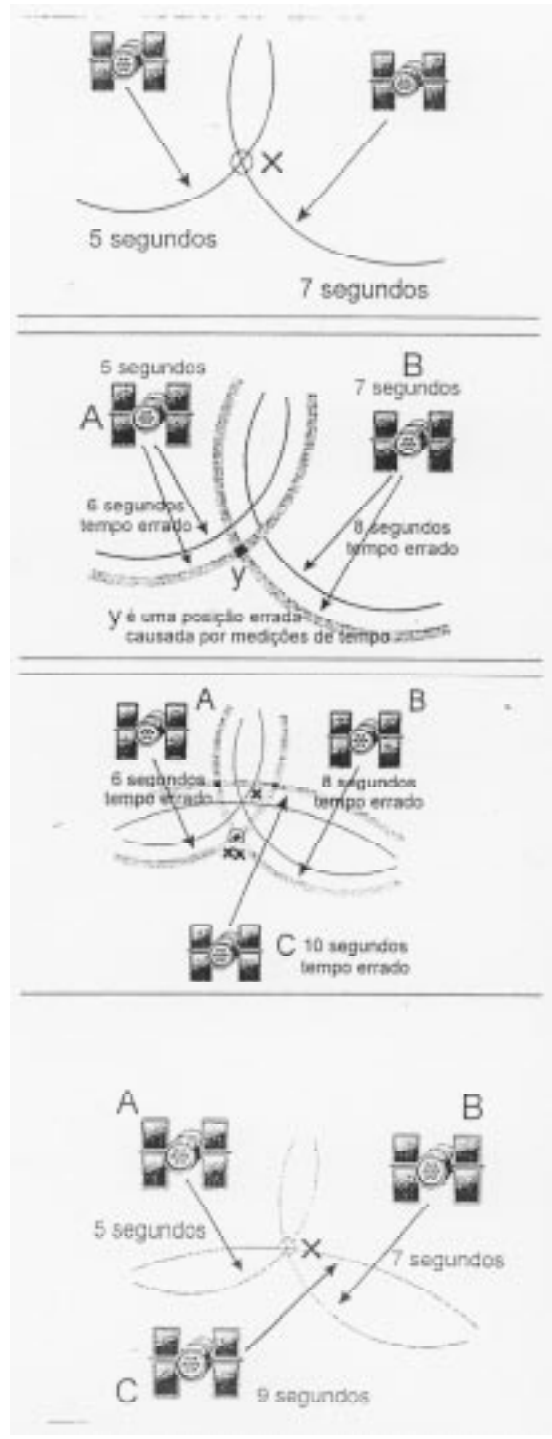
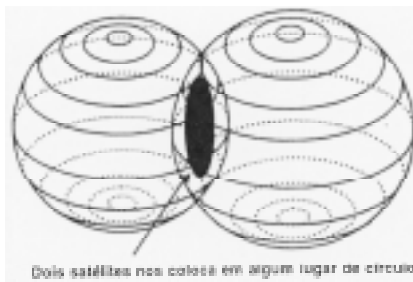
Onde : X_s, Y_s, Z_s são as coordenadas do satélite no CTS

X_r, Y_r, Z_r são as coordenadas do receptor no CTS (3 incógnitas)

ϵ_r é o erro do relógio do receptor (incógnita)

Na equação acima a distância D_{rs} é observada, restando 4 incógnitas X_r , Y_r , Z_r e ϵ_r . Se forem observados 4 satélites formaremos 4 equações para solucionar as 4 incógnitas. Mais de 4 observações permitem fazer ajustamento pelo método dos mínimos quadrados. Abundância de observações é sempre desejável no cálculo da posição, por isso a tendência dos receptores modernos é terem 12 canais.

As figuras a seguir ilustram o conceito geométrico embutido na equação acima. Observando apenas um satélite a posição do receptor poderá estar em qualquer lugar da superfície de uma esfera centrada no satélite cujo raio é a pseudo-distância (>20.000 km).



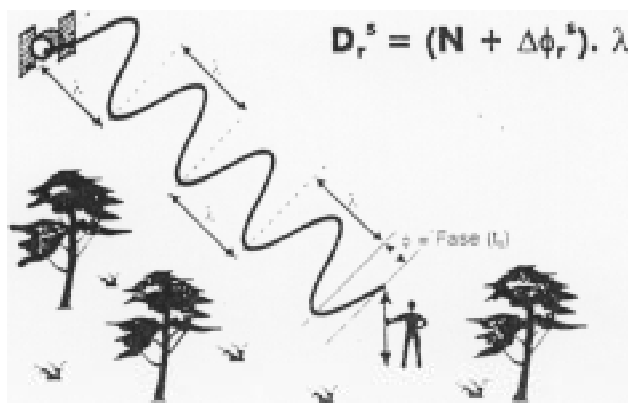
Observando dois satélites a posição do receptor se reduzirá á circunferência de interseção de duas esferas centradas nos dois satélites. Observando três satélites a posição do receptor ficará restrita a apenas dois pontos da circunferência de interseção anterior. Um dos pontos é eliminado pelo software pois representa uma posição absurda, fora da Terra. Entretanto, será necessário observar um quarto satélite para eliminar o erro do relógio do receptor (ϵ_r) como pode ser ilustrado nas figuras abaixo. Para melhor entendimento vamos considerar os tempos de retardo fictícios de 5, 6 e 8 segundos dos sinais de 3 satélites para atingir um receptor com atraso de 1 segundo no relógio (valores absurdos para o GPS) e analisar o caso em duas dimensões. Como em todas as distâncias está embutido o mesmo erro de tempo do relógio do receptor, as três esferas terão raios de 6, 8 e 10 segundos e será impossível o cruzamento em um único ponto o software do receptor aplicará as equações matemáticas e ajustará os valores até obter o cruzamento descobrindo o erro do seu próprio relógio e corrigindo a medição de tempo.

OBSERVAÇÃO DAS FASES DAS PORTADORAS

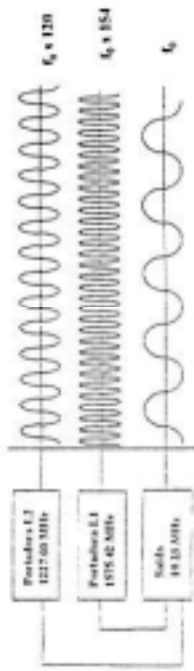
Os receptores que observam fases das portadoras L1 ou L2 ou ambas, são capazes de contar a quantidade de ondas recebidas a partir do início da observação. Porém não conseguem medir o número inteiro inicial N de ondas completas no instante inicial da observação, conhecido no jargão GPS como ambigüidade. No caso da fase da portadora a distância é medida contando-se o total de ciclos da onda portadora e multiplicando pelo comprimento nominal da onda através da fórmula

$D_r = (N + \Delta\phi_r) \cdot \lambda + \epsilon_r$. A fase da portadora pode ser medida com precisão de 0.01 ciclo da onda por isso a medição da distância tem precisão maior que através do código. É como se fosse utilizada uma régua com graduação de cm para determinar a distância. Há, porém, o problema adicional da ambiguidade N que é o número inteiro de ciclos da onda antes do início do rastreamento, cuja determinação requer tempo adicional de observação. Por isso os primeiros usos da fase se deram em aplicações que demandam alta precisão e não requerem tempo real.

Abordamos as duas técnicas acima em separado para melhorar a compreensão didática e para focar os diferentes princípios envolvidos, mas ressaltamos que as soluções combinadas de observações dos códigos e das fases das portadoras são hoje muito comuns. Estas soluções envolvem técnicas eletrônicas avançadas e algoritmos sofisticados. Sem dúvidas, existe um grande leque de opções em termos de receptores disponíveis no mercado que atendem a várias necessidades e a diferentes orçamentos. Atualmente há receptores que utilizam processamento de todos os recursos e sinais possíveis e por isso é comum serem também classificados conforme o tópico a seguir.



Portadoras GPS (L1 e L2)



• Os sinais são derivados a partir de uma frequência gerada por um clock atômico, $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$.

- L1 $154 \times f_0 = 1575.42 \text{ MHz}$, comprimento de onda 0.19 m
- L2 $120 \times f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$, comprimento de onda 0.24 m

$$D_r^2 = c \cdot \Delta t$$

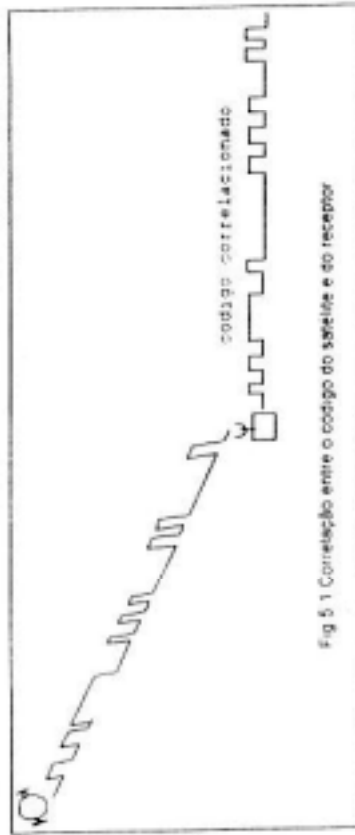
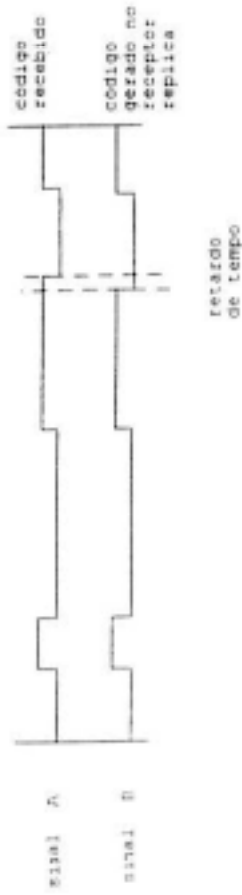
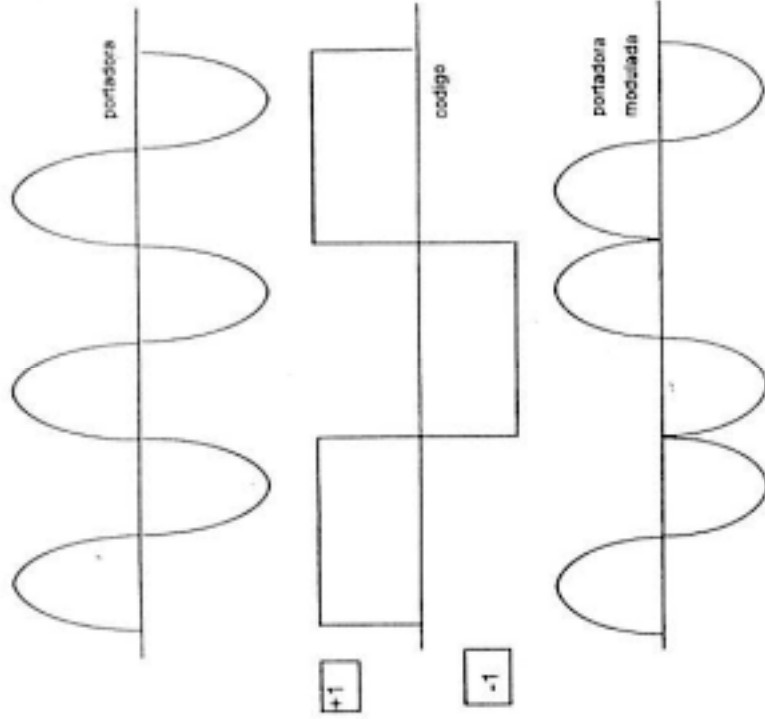


Fig 5 1 Correlação entre o código do satélite e do receptor



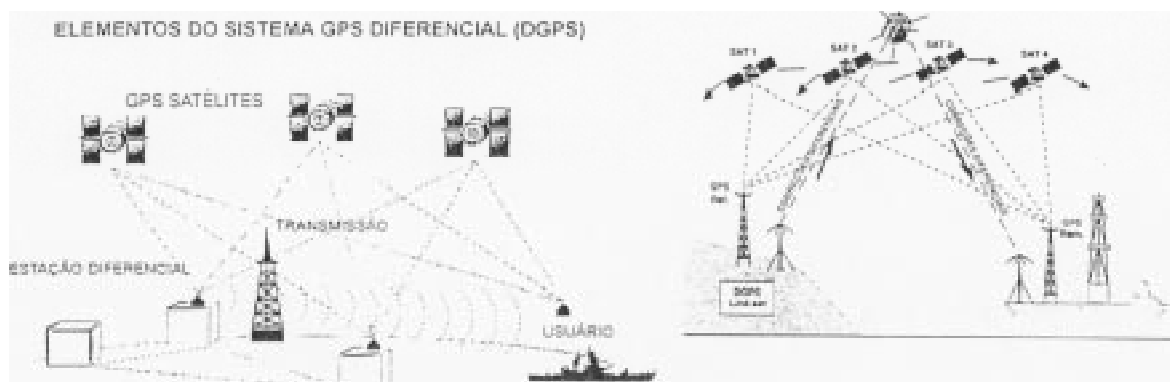
7 - TIPOS DE USUÁRIOS E RECURSOS DOS RECEPTORES

Os receptores que rastreiam apenas o código C/A são tipicamente os receptores de mão utilizados para navegação em geral, atividades de lazer e levantamentos aproximados. Os receptores que utilizam código P são de uso exclusivo da Defesa Americana e não estão disponíveis aos usuários comuns. Os receptores que utilizam código C/A e portadora L1 ou as duas portadoras L1 e L2 juntas, são utilizados em levantamentos topográficos que adotam métodos relativos (estático, cinemático, estático rápido e rtk), bem como, na coleta de feições com atributos temáticos para alimentar sistemas de informações geográficas (GIS). Estes possuem precisão típica de 1 ppm (se observarem somente L1, a base deve ser até 30 km). Os receptores que empregam código C/A, código P e as duas portadoras L1 e L2 conjuntamente são chamados geodésicos e possuem o melhor desempenho e precisão. Operam com toda a capacidade sem interrupção, mesmo com antispoofting.

8 - COMPOSIÇÃO/INTEGRAÇÃO DE RECEPTORES GPS

Denomina-se Posicionamento Isolado ou Posicionamento Autônomo, quando a posição é calculada com observações a partir de uma só estação receptora. Denomina-se Posicionamento Relativo quando a posição é calculada com observações tratadas a partir de duas ou mais estações que observam os mesmos satélites ao mesmo tempo. No posicionamento relativo uma estação é mantida fixa e sua posição é considerada conhecida, enquanto as outras desconhecidas são calculadas em relação à primeira. Esta técnica se reveste de grande importância pois minimiza e pode, até mesmo, cancelar os efeitos dos erros sistemáticos que incidem de forma similar em ambas as estações. Os erros das órbitas dos satélites, a refração troposférica e refração ionosférica podem ser considerados semelhantes para estações pouco afastadas. No caso dos códigos a técnica de posicionamento relativo é largamente empregada, sendo conhecida como DGPS (Differential GPS). No caso de aplicações relativas usando fases das portadoras excelentes resultados têm sido obtidos através de várias técnicas desenvolvidas. O posicionamento relativo Elimina os efeitos da SA, Minimiza erros dos relógios e das órbitas dos satélites e Reduz os efeitos da ionosfera e troposfera.

DGPS ou Differential GPS é o termo conhecido para o posicionamento relativo com observação de códigos. O DGPS consiste no cálculo e transmissão de correções diferenciais a partir de uma estação GPS de referência, fixa e instalada em um ponto de posição conhecida. Como a posição é conhecida o software calcula a distância do receptor a cada satélite e compara com a pseudo-distância medida. As diferenças são usadas como correções. Estas correções recebidas pelo receptor móvel são utilizadas para refinar o cálculo da sua posição. A precisão típica é da ordem de 1 a 10 metros



9 - POSICIONAMENTO RELATIVO COM OBSERVAÇÃO DAS FASES DAS PORTADORAS

Consiste nas observações simultâneas dos mesmos satélites a partir de 2 ou mais estações sendo uma estação de referência, fixa e instalada em um ponto de posição conhecida. As observações são geralmente tratadas posteriormente (pós-processamento). É comum se dizer vetor GPS ou base GPS para se referir à linha que liga os pontos. Este método só é possível quando as observações são simultâneas (só são aproveitadas as observações comuns). O vetor GPS, de modo geral, produz uma precisão excelente, porém o erro de posição da estação de referência será propagado para as estações móveis, por isso é desejável que o ponto fixo tenha coordenadas geocêntricas precisas. As seguintes TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO RELATIVO BASEADAS NA MEDIDA DA FASE DA PORTADORA foram desenvolvidas produzindo excelentes resultados.

Posicionamento Estático 2 ou mais receptores fixos durante toda a seção de observação (30 a 60 minutos) com precisão de 1 a 2 ppm

Pseudo-Estático ou Pseudo-cinemático menor tempo de ocupação (8 min), não é necessário o rastreamento contínuo, porém há necessidade de reocupação das estações móveis dentro de 60 a 120 minutos.

Posicionamento Cinemático Contínuo um receptor fixo e outro móvel com taxa de observação de apenas 1 seg. É necessário rastreamento contínuo, definir ambiguidade no início e retornar à posição inicial.

Posicionamento Semi-Cinemático (Stop-And-Go) um receptor fixo e outro móvel, taxa de observação de alguns minutos. É necessário rastreamento contínuo, definir ambiguidade no início e retornar à posição inicial.

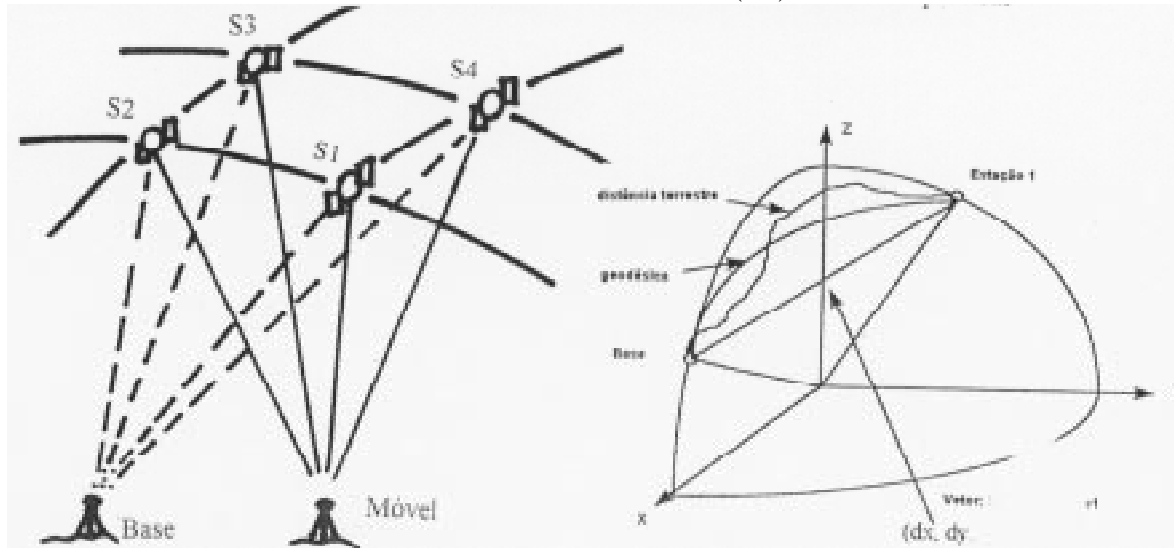
Estático-Rápido equivale ao Pseudo-Estático sem necessidade de reocupação das estações móveis. Utiliza as portadoras L1 e L2 e os códigos CA e P

On The Fly equivale ao Estático-Rápido com a estação itinerante se movendo continuamente. Utiliza as portadoras L1 e L2 e os códigos CA e P

Relaxação Orbital técnica para aplicações científicas baseada em efemérides precisas

Integração Orbital técnica para aplicações geodinâmicas baseada em efemérides precisas

POSICIONAMENTO RELATIVO EM TEMPO REAL (rtk)



10 - REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO (RBMC)

O IBGE está implantando uma rede de monitoramento GPS constituída de 9 estações denominada rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) que propiciará uma estrutura geodésica de controle altamente precisa e permitirá aos usuários facilmente ligar seus levantamentos ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), utilizando apenas um receptor. Conforme discutido nos tópicos anteriores, nas aplicações relativas o usuário necessita de dois receptores, um ocupando um ponto a determinar e outro ocupando um marco geodésico do SGB. As estações da RBMC farão o papel do marco geodésico do SGB, eliminando trabalho e investimento adicional do usuário. O usuário solicita os dados rastreados pela estação RBMC mais próxima de sua área de trabalho e faz o pós-processamento, obtendo sua posição precisa. Para maiores esclarecimentos incluímos a seguir um boletim do IBGE contendo informações adicionais sobre a RBMC.

• • • • RBMC • • • •

Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS

Letimário o conceito de estações geodésicas
"ativos" do Sistema Geodésico Brasileiro

• • • • Apresentação • • • •

A utilização da tecnologia GPS (*Global Positioning System*, sistema de satélites do governo norte-americano) provocou uma verdadeira revolução, nesta última década, nas atividades de navegação e posicionamento. Os trabalhos geodésicos e topográficos, que antes se ressentiam de todas as desvantagens das metodologias clássicas de levantamento - como a poligonização -, passaram a ser realizados de forma mais rápida, precisa e econômica. Tais vantagens vêm melhorando cada vez mais, à medida que os equipamentos, os métodos de observação e as técnicas de processamento evoluem. É nesse contexto que se insere a RBMC.

Nas aplicações geodésicas e topográficas do GPS, está implícita a utilização do método relativo, isto é, ao menos uma estação de coordenadas conhecidas é também ocupada simultaneamente à ocupação dos pontos desejados. Antes da RBMC, o usuário interessado em obter, com GPS, as coordenadas geodésicas de um ponto qualquer em Território Nacional era obrigado a trabalhar com dois receptores, ocupando o ponto de seu interesse e um marco do Sistema Geodésico Brasileiro - SCB - próximo.

As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário mobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de última geração, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade.

• • • • Caracterização • • • •

Além dos receptores de última geração - que coletam e armazenam continuamente observações do código e da fase da onda portadora, transmitidos pelos satélites GPS -, as estações são dotadas de: materialização através de pinos de centragem forçada, especialmente projetados para a RBMC, cravados em pilares estáveis; antenas do tipo *choker ring*; micro computadores do tipo PC, responsáveis pelo controle da operação automatizada e transmissão diária das observações; e sistemas diversos de fornecimento de energia elétrica, que garantem a operação contínua das estações.

As coordenadas das estações da RBMC são outro componente importante na composição dos resultados finais dos levantamentos a ela referenciados. Nesse aspecto, a grande vantagem da RBMC é que todas as suas estações fazem parte da Rede de Referência SIRCAS - Sistema de Referência Geocêntrica para a América do Sul -, cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de ± 5 mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo. Outra característica importante da

RBMC é que suas observações vêm contribuindo, desde 1987, para a densificação regional da rede do ICS (*International GPS Service of Geodynamics*), garantindo um maior precisão dos produtos do IGS - tais como órbitas precisas - sobre o território brasileiro.

Atualmente, a RBMC é composta por nove estações:

estação	código	latitude	longitude	início da operação
Fortaleza(IGS)	FORT	-03°53'	-38°26'	13-maio-1991
Brasília(IGS)	BRAZ	-15°57'	-47°53'	3-maio-1995
Curitiba	PARA	-23°27'	-49°14'	13-dezembro-1996
Presidente Prudente	UEPP	-22°07'	-51°25'	18-dezembro-1996
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	-13°15'	-43°25'	18-fevereiro-1997
Manaus	MANA	-03°07'	-60°03'	28-abril-1997
Vçosa	VICO	-10°46'	-42°52'	22-maio-1997
Cuiabá	CLUB	-15°33'	-50°04'	18-junho-1997
Imperatriz	IMPZ	-05°30'	-47°30'	16-fevereiro-1998

• • • • Operação • • • •

A operação das estações da RBMC é totalmente automatizada. As observações são organizadas, ainda na memória do receptor, em arquivos diários, correspondendo a sessões iniciando às 00h01min e encerrando às 24h00min (tempo universal), com taxa de 15 seg. Depois do encerramento de uma sessão, os arquivos com as respectivas observações são transferidos do receptor para o micro computador da estação. A partir disso, são criados novos arquivos em formato padrão (RINEX2), a partir dos quais é realizado um controle de qualidade das observações. Encerrando o processo, os arquivos são compactados, como preparação para a transferência para o Centro de Controle da RBMC, no Departamento de Geodésia (Rio de Janeiro), realizada automaticamente, através de linha telefônica ou internet.

Assim, a operação automática permite que as observações referentes a uma data qualquer estejam disponíveis para fornecimento no dia seguinte. No entanto, algumas vezes o processo não é executado de modo completo, principalmente devido a problemas nas linhas telefônicas. Nesses casos o processo é concluído manualmente, a partir do Centro de Controle, que a qualquer instante pode atuar remotamente sobre o receptor e o micro computador das estações.

• • • • Produtos e Serviços • • • •

São fornecidos dois tipos de arquivos. O primeiro contém informações referentes a cada estação solicitada, tais como: coordenadas geodésicas e altura da antena (nome **xxxx.TXT**, sendo **xxxx** o código da estação), e tem tamanho aproximado de 6 kb. O segundo tipo refere-se aos arquivos compactados (aprox. 1,4 Mb) que contém observações para cada dia e cada estação, identificados como **xxxxddd1.zip**, sendo **ddd** o dia do ano.

11 - FATORES QUE AFETAM A PRECISÃO DA POSIÇÃO GPS

Disposição Geométrica da constelação – a disposição espacial dos satélites no instante das observações tem muita influência na qualidade das posições e na propagação dos erros. Denominam-se DOP (Dilution of Precision) os fatores que descrevem o efeito da geometria da constelação. HDOP descreve o efeito da disposição espacial dos satélites nas coordenadas planimétricas, VDOP descreve o efeito da disposição espacial dos satélites na altitude, PDOP descreve o efeito da disposição espacial dos satélites na posição tridimensional, TDOP descreve o efeito da disposição espacial dos satélites no tempo, GDOP descreve o efeito da disposição espacial dos satélites na posição e no tempo. Estes fatores são função dos elementos da diagonal da matriz variancia-covariancia dos parâmetros ajustados e podem ser calculados previamente a partir da posição aproximada da localidade e das orbitas preditas dos satélites. GDOP é inversamente proporcional ao volume do tetraedro formado pelos 4 satélites observados.

Técnica utilizada e sinal observado na medição (Código x Fase; Estática x Cinemática) – de um modo geral, a fase dá melhor precisão que o código e as aplicações estáticas dão melhores resultados que as cinemáticas.

Modelagem ou eliminação dos efeitos atmosféricos – com o afastamento da estação base os efeitos da ionosfera na estação móvel tornam se diferentes, não podendo ser eliminados por combinação linear, afetando a precisão relativa. Como o retardo do sinal é inversamente proporcional ao quadrado da frequência de transmissão, utilizando receptores de dupla frequência (L1 e L2) é possível calcular e eliminar ou reduzir ao mínimo o retardo da ionosfera sobre os sinais GPS.

Precisão das efemérides – (Precisas x Transmitidas) – efemérides precisas são os elementos keplerianos das órbitas dos satélites medidos com precisão através de redes de monitoramento. Estas efemérides permitem calcular as coordenadas dos satélites com grande precisão e conseqüentemente fornecendo posições terrestres altamente precisas. Por outro lado as efemérides transmitidas são resultantes de uma previsão e não permitem calcular as coordenadas dos satélites com precisão tão grande

Efeitos de multicaminhamento da onda – as ondas que não atingem diretamente o receptor, podem atingir objetos próximos e sofrendo reflexão atingi-lo indiretamente, causando pequenos erros, principalmente próximo a superfícies refletoras.

Ângulo de elevação do satélite – de modo geral, quanto mais elevado o ângulo melhor o resultado. Quando o ângulo acima do horizonte é muito baixo o cálculo da posição não produz bons resultados, para resultados aceitáveis o ângulo deve estar acima de 15 graus.

Rotação da Terra – ao deixarem os satélites, os sinais levam alguns centésimos de segundos para atingir o receptor, enquanto isto, dependendo da latitude do receptor, a Terra já se movimentou mais de 20 m. Além disso, o movimento de rotação da Terra não é rigorosamente regular, sofrendo variações de longo e curto período que devem ser considerados com muita precisão.

A tabelas abaixo resumem de forma aproximada as técnicas, aplicações, sinais observados erros e a precisão associada ao uso do sistema GPS.

TÉCNICA	APLICAÇÕES	OBSERVAÇÃO	PRECISÃO (sem SA)	PRECISÃO (com SA)
Ponto Isolado Instantâneo	Navegação Reconhecimento Lazer	Código C/A (Pseudo-distância)	30 m	120 m
		Código P (Pseudo-distância)	20 m	120 m
DGPS	Navegação Engenharia	Código C/A (Pseudo-distância)	1 a 10 m	1 a 10 m
		Código P (Pseudo-distância)	ND	ND
Ponto Isolado Acumulado	Topografia Engenharia	Código C/A (Pseudo-distância)	20 m	ND
		Código C/A e P (Pseudo-distância)	3 m	ND
Diferencial (DGPS) com código acumulado	Topografia Engenharia	Código C/A (Pseudo-distância)	3 a 5 m	3 a 5 m
		Código C/A e P (Pseudo-distância)	1m	1 m
Relativo Estático	Geodésia (bases curtas Geodésia (bases longas)	Portadora L1	2 ppm	2 ppm
		Portadora L1 e L2	1 ppm	1 ppm
Relativo Cinemático	Geodésia (bases curtas	Portadora L1	2 ppm	2 ppm
		Portadora L1 e L2	1 ppm	1 ppm
Relativo Pseudo- Cinemático	Geodésia	Portadora L1	2 ppm	2 ppm
		Portadora L1 e L2	1 ppm	1 ppm
Estático- Rápido e OTF	Geodésia	Portadoras e código P em L1 e L2 (sem AS) Portadoras, código C/A em L1 e correlação cruzada do código P (com AS)	1 ppm	1 ppm
Relaxação Orbital	Geodésia (fins científicos)	Portadoras L1 e L2	0.1 ppm	0.1 ppm
Integração Orbital	Geodinâmica	Portadoras L1 e L2	0.01 ppm	0.01 ppm

Baseada em Fonte do IBGE - Departamento de Geodésia

FONTE	Código C/A		Código P	
	SA off	SA on	SA off	SA on
Satélite				
-órbita	5m	10-40 m	5m	10-40 m
-relógio	1m	10-50 m	1m	10-50 m
Meio de Propagação				
-ionosfera (2 freq)	cm-dm	cm-dm	cm-dm	cm-dm
-ionosfera (modelo)	2-100m	2-100m	-	-
-troposfera(modelo)	dm	dm	dm	dm
-múltiplo caminho REFLEXO DO SINAL	5m	5m	1m	1m
Receptor				
-ruído	1-10m	1-10m	0,1-1m	0,1-1m
-atraso devido o circuito	m	m	dm-m	dm-m
-centro de fase da antena	mm-cm	mm-cm	mm-cm	mm-cm

12 – ALTITUDES E MODELO GEOIDAL

O resultado do levantamento GPS utilizando posicionamento relativo diferencial é um poliedro de estações com as posições relativas conhecidas com alta precisão, porém o erro de posição da estação base ou de referência será propagado para as estações móveis, por isso é desejável que o ponto fixo tenha coordenadas geocêntricas precisas. Estas posições podem ser expressas por coordenadas elipsoidais (geodésicas) latitude, longitude e altitude. A altitude utilizada na vida prática e adotada oficialmente no Brasil é referida ao geóide (chamada altitude ortométrica **h**). As altitudes fornecidas pelo GPS são altitudes elipsoidais ou altitudes geométricas (**H**), referidas ao elipsóide WGS84. As duas altitudes são ligadas pela Altura Geoidal através da fórmula abaixo.

$$H = h + N$$

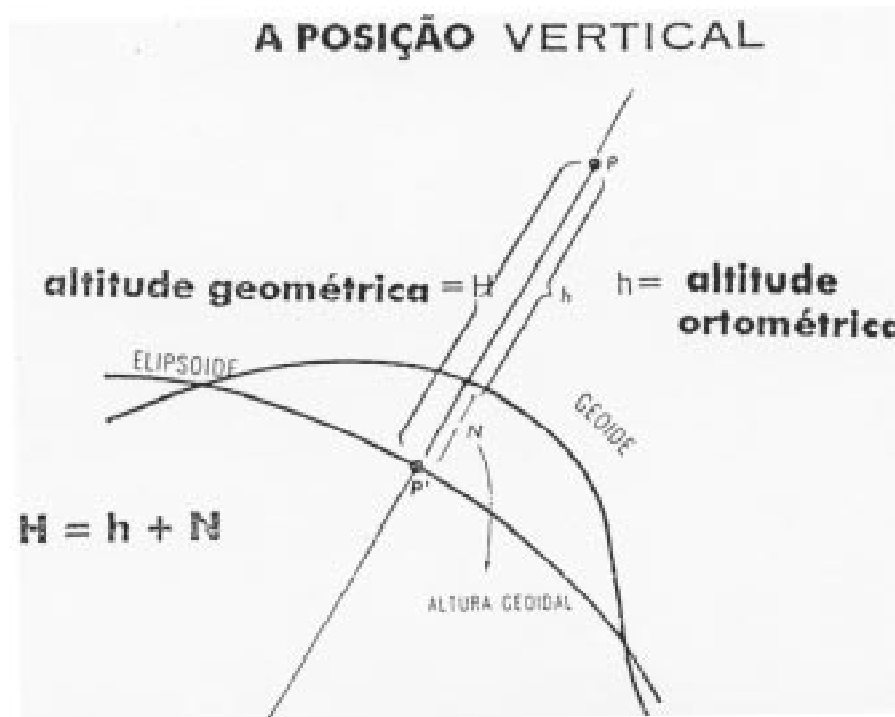
Altura Geoidal ou Ondulação Geoidal (N) – é o desnível da superfície do geóide acima ou abaixo da superfície de um determinado elipsóide.

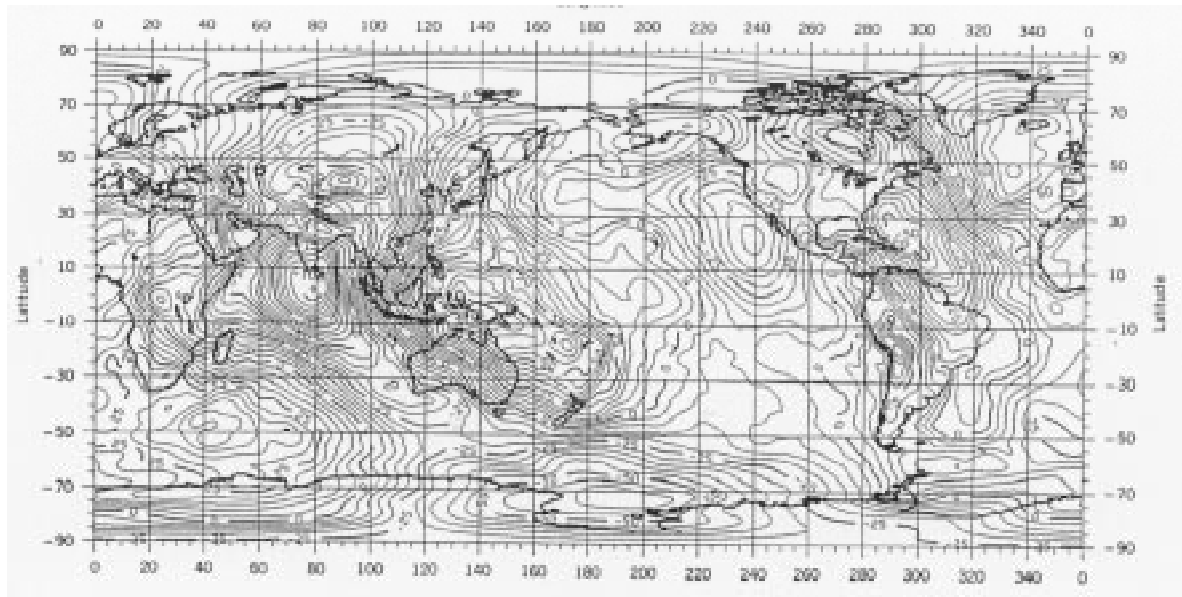
O conhecimento da Altura Geoidal é de suma importância nas medições altimétricas através do Sistema GPS. A altitude GPS deve ser subtraída da altura geoidal para ficar referida ao geóide. A altura geoidal pode ser obtida através do mapa ou modelo geoidal. Existem modelos geoidais precisos disponíveis para várias partes do mundo. Estes modelos geoidais precisos são baseados na expansão dos harmônicos esféricos do campo da gravidade terrestre e incorporam dados de gravidade para levar em consideração as variações locais e regionais. Utilizando modelos geoidais precisos o GPS tem potencial para substituir grande parte das operações convencionais de nivelamento geométrico em muitas aplicações. Os mapas e modelos geoidais publicados pelo IBGE estão referidos ao datum SAD69, portanto é necessário transformar as coordenadas WGS84 em SAD69 antes de aplicar os mapas/modelos geoidais do IBGE para conversão de altitudes.

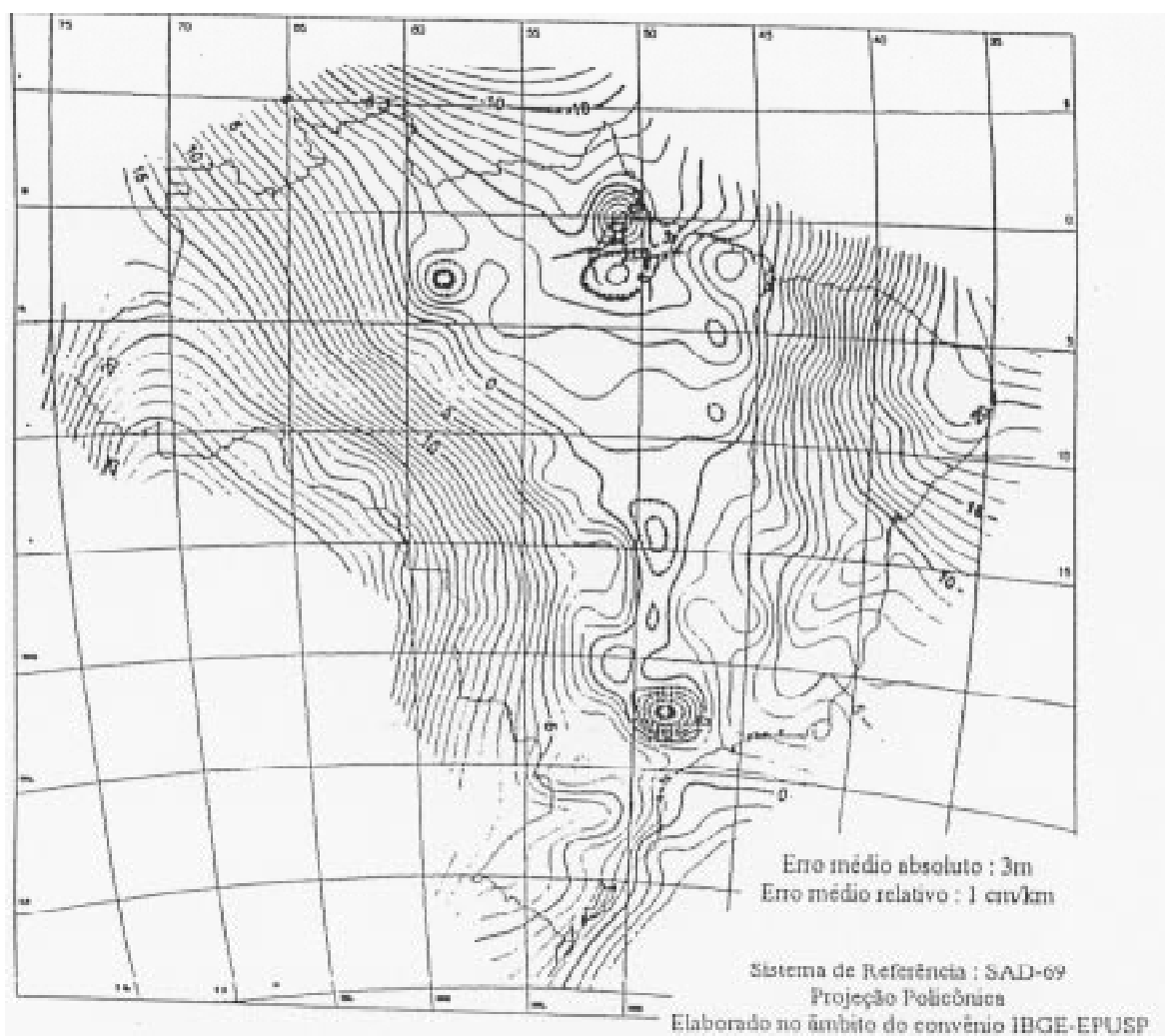
O modelo global mais comum é o OSU-91A com resolução de 50 km. Seu erro absoluto no Brasil é da ordem de 2 m e o erro relativo da ordem de 1mm/km. A ausência ou má distribuição de dados gravimétricos em certas regiões da Terra podem degradar os modelos, certas anomalias geoidais podem estar ausentes no mapa. Só há sentido na conversão de altitudes no posicionamento relativo pois o erro nas determinações isoladas é geralmente superior à ondulação geoidal.

Outra solução que está sendo adotada para conversão de altitudes é a modelagem local do geóide baseada na medição de altitudes GPS sobre Referências de Níveis de altitude ortométrica conhecidas. As diferenças encontradas fornecem por interpolação as alturas geoidais em qualquer ponto da região considerada.

A precisão de 1 a 2 ppm típica das redes GPS, geralmente supera a precisão das redes geodésicas de primeira ordem existentes (10 ppm) determinadas pelos métodos tradicionais de triangulação, trilateração e poligonização geodésicas.







13 - SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

O sistema terrestre adotado para referência tanto das efemérides transmitidas quanto das efemérides precisas é o WGS84. Logo os resultados do posicionamento GPS referem-se a este sistema, devendo ser transformados para o sistema SAD69 que foi adotado oficialmente no Brasil pelo Decreto Lei 242 de 28/02/1967 e pela resolução IBGE nº 23 de 21/02/1989. Os dados podem ser transformados também para Córrego Alegre, sistema oficialmente usado no Brasil antes do SAD-69. O WGS-84 é um sistema geocêntrico descrito pelos parâmetros: $a = 6.378.137,00$ m, $b = 6.356.752,31$ m $\alpha^{-1} = 298,2572235630$. O SAD-69 é um sistema topocêntrico descrito pelos parâmetros: $a = 6.378.160,00$ m, $b = 6.356.774,72$ m, $\alpha^{-1} = 298,25$. O Córrego Alegre é um sistema topocêntrico descrito pelos parâmetros: $a = 6.378.388,00$ m, $b = 6.356.911,95$ m, $\alpha^{-1} = 297$.

SISTEMAS DE COORDENADAS

As posições GPS podem ser expressas por diferentes sistemas de coordenadas dos quais podem ser destacados.

Sistema Cartesiano Geocêntrico: é um sistema tridimensional onde a posição de um ponto é definida pelas suas coordenadas cartesianas tridimensionais (x,y,z), com as seguintes características:

Origem dos eixos no centro de gravidade (centro de massa) da Terra

Eixo X no plano do Equador apontando para Greenwich (+)

Eixo Y no plano do Equador 90° anti horário de Greenwich (+)

Eixo Z eixo de rotação da Terra apontando para Norte (+)

Os cálculos das posições são feitos neste sistema e posteriormente transformados para outros sistemas de interesse.

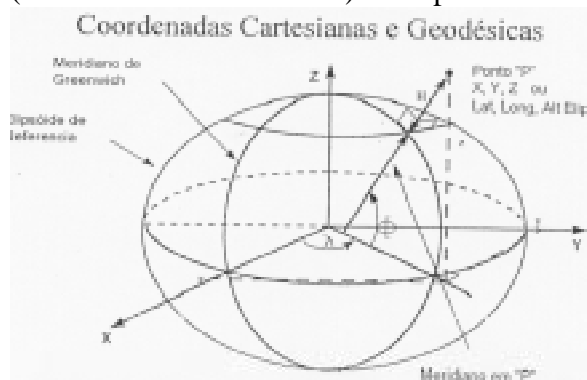
Sistema de Coordenadas Geodésicas: Latitude, Longitude e Altitude

Neste sistema a Terra é dividida em círculos paralelos ao Equador chamados PARALELOS e em elipses que passam pelos pólos terrestres (perpendiculares aos paralelos) chamadas MERIDIANOS. Cada ponto na Terra terá um único conjunto de coordenadas geodésicas definidas por:

Latitude Geográfica ou Geodésica (ϕ): ângulo entre a normal ao elipsóide no ponto considerado e sua projeção no plano equatorial. É medido no plano do meridiano que contém o ponto considerado. Positiva a Norte (0 a +90°), negativa Sul (0 a -90°)

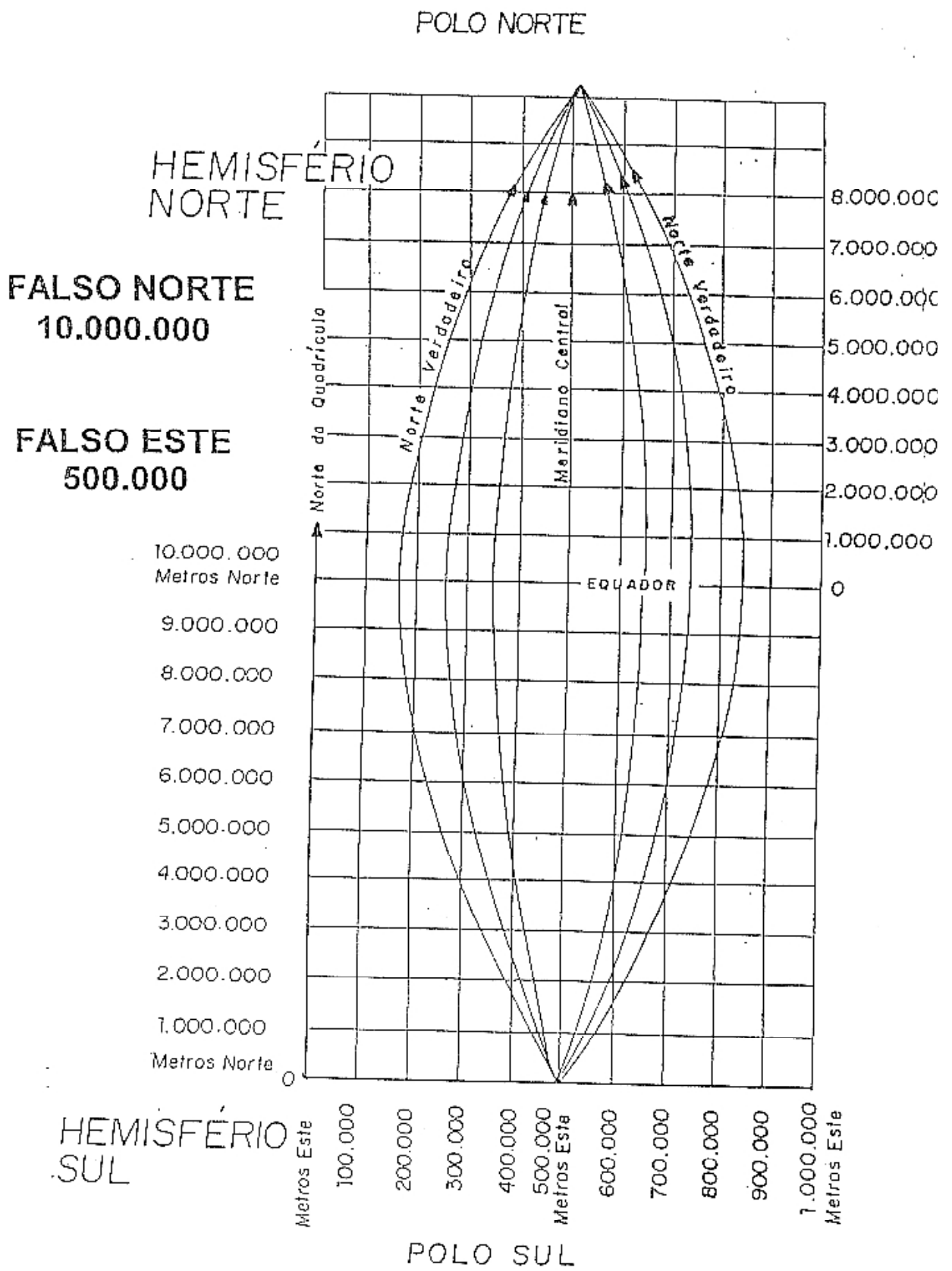
Longitude Geográfica ou Geodésica (λ): ângulo diedro entre os planos do meridiano de Greenwich e do meridiano que passa pelo ponto considerado. Positiva a Este (0 a +180°), negativa a Oeste (0 a -180°)

Altitude Ortométrica (H): distância vertical que se estende do nível médio do mar (Geóide = Datum Vertical) até o ponto considerado.



Sistema de Coordenadas Planas UTM: Este, Norte

É o sistema de coordenadas planas cartesianas associado à projeção cartográfica UTM. A coordenada X é chamada **Este (E)** e a coordenada Y é chamada **Norte (N)**. Cada coordenada plana UTM corresponde a uma coordenada geográfica que foi transformada pelas equações do sistema de projeção UTM.



14 - PROGRAMAS DE PÓS-PROCESSAMENTO

Em se tratando de posicionamento relativo para levantamentos quase todos os fabricantes dispõem de bons programas para tratamento dos dados em pós-processamento. Os bons programas de pós processamento devem incorporar recursos básicos tais como.

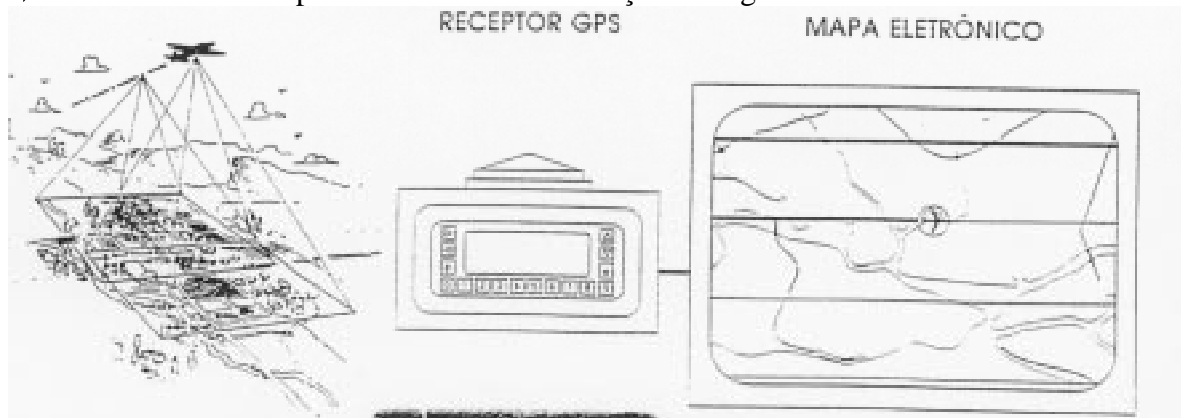
1. Formato padrão de exportação dos arquivos: Receiver Independent Exchange (RINEX Vs2) . Para definição do formato RINEX os dados foram divididos em três arquivos básicos: dados de observação, da dos de efemérides e dados meteorológicos da estação. A maioria dos programas inclui a opção de importação e exportação RINEX.
2. Transformações de datum geodésico: necessário para converter WGS84 para datums locais
3. Tranformação de sistemas de coordenadas: necessário para converter coordenadas tridimensionais em geodesicas e planas UTM e vice versa.
4. Conversão de altitudes geométrica para ortométrica através de modelos geoidais precisos.
5. Ajustamento de redes GPS: para aplicação do método dos mínimos quadrados é fornecer resultados estatisticamente corretos quando se tem abundância de dados.
6. Exportação para formatos GIS comuns do mercado DXF, DGN, MAPINFO, ARCINFO, etc.

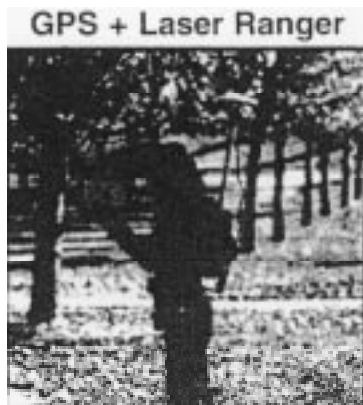
EQUIPAMENTOS GPS E PREÇOS

15 - APLICAÇÕES POTENCIAIS DO GPS

Torna-se cada dia mais amplo o leque de aplicações do sistema GPS. Apenas a título de ilustração enumeramos abaixo algumas das aplicações identificadas e que fazem parte de uma extensa lista.

- ↪ Navegação de todos os tipos (marítima, aérea, terrestre, espacial, nos portos, fluvial, em veículos de recreação etc.)
- ↪ Estabelecimentos de redes nacionais e regionais de apoio geodésico
- ↪ Aplicações em geodinâmica para detecção de movimentos da crosta terrestre
- ↪ Fotogrametria sem necessidade de pontos de controle de terreno
- ↪ Levantamentos topográficos para aplicações diversas
- ↪ Gerenciamento de rotas de transportes
- ↪ Estações geodésicas ativas
- ↪ Coleta de dados para Sistemas de Informações Geográficas





16 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfred Leick. **GPS Satellite Surveying**, editora John Wiley & Sons, 1995

Antônio Simões Silva. **Geodésia por Satélites GPS**, UFV, 1996.

IBGE - Departamento de Geodésia. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**, IBGE, Rio de Janeiro, 1996

Davis, R. E. et all. **Surveying Theory and Practice**, editora McGraw Hill, 1981

Márcio Dottori e Roberto Negraes. **GPS Manual Prático**, editora Fittipaldi, 1997, São Paulo

PRÁTICA DE CAMPO GPS

Ao final da prática os alunos devem ser capazes de atingir os seguintes Objetivos:

1. Ligar e desligar o aparelho
2. Reconhecer e navegar pelas cinco (5) paginas do receptor GPS
3. Configurar o Sistema de Coordenadas e o Datum Geodésico
4. Gravar uma posição instantânea na memória do aparelho
5. Gravar uma posição na memória do aparelho, utilizando Média Acumulada
6. Visualizar as posições de memória mais próximas da sua posição atual, observar a Distância e o Azimute para estas posições e mostrar estas posições na página de mapa
7. Listar e examinar todas as posições gravadas na memória do aparelho
8. Visualizar a Distância e o Azimute entre duas posições gravadas na memória do aparelho

9. Introduzir uma posição extraída da carta topográfica e iniciar a navegação para esta posição

Obs. Praticamente todos os receptores de navegação possuem estas funcionalidades

Vista do Sistema NNSS/TRANSIT
Predecessor do GPS

Vista do Sistema NNSS/TRANSIT
Predecessor do GPS

Código P		(Precision Code)				: $f_0/1 = 10.23$ Mhz.						
Satélite		Satélite		Satélite		Satélite		Satélite		Satélite		
		Satélite		Satélite		Satélite						
Receptor		Receptor		Receptor		Receptor		Receptor		Receptor		
Receptor		Receptor		Receptor		Receptor		Receptor		Receptor		
R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	t1	t2	t3	t4	
t1	t2	t3	t4									
Ground Antena				Ground Antena		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3
S4												
Órbita		Órbita		Órbita		Base		Móvel		Base		Móvel
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14											
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28											
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
	42											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14											
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28											
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
	42											