



APLICAÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) NA COLETA DE DADOS

JOSÉ VICENTE ELIAS BERNARDI

Professor Associado

Universidade Federal de Rondônia

PAULO M. BARBOSA LANDIM

Professor Emérito da Universidade Estadual Paulista

Professor Voluntário do Depto. Geologia Aplicada

UNESP/Rio Claro

UNESP/campus de Rio Claro
Departamento de Geologia Aplicada - IGCE
— Laboratório de Geomatemática —
Texto Didático 10
2002

Reprodução autorizada desde que citada a fonte

Norma 6023-2000/ABNT (<http://www.abnt.org.br>):

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

APLICAÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL NA COLETA DE DADOS

Histórico e funcionamento do Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Com o lançamento do satélite *Sputnik I* pelos russos em 1957, começou a utilização de satélites para o posicionamento geodésico. Em 1958 os americanos lançaram o satélite *Vanguard* tendo assim o início do desenvolvimento do sistema *Navstar* (*Navigation satellite with Timing and Ranging*). A partir de 1967 foi liberado para uso civil, o sistema denominado *Navy Navigation Satellite System* (NNSS) também chamado de *Transit*. Em 1973 iniciou-se o desenvolvimento do *Global Positioning System* (GPS) (Figura 1), projetado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA) para oferecer a posição instantânea, bem como a velocidade e o horário de um ponto qualquer sobre a superfície terrestre ou bem próxima a ela num referencial tridimensional (LETHAM, 1996).

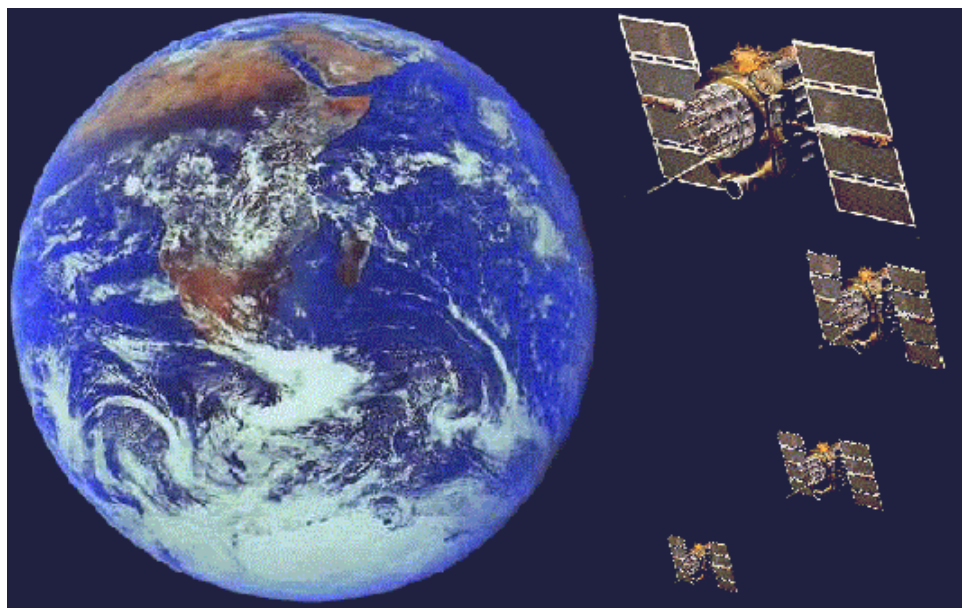


Figura 1- Satélite do Bloco II R do Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O sistema GPS entrou em operação em 1991 e em 1993 a constelação dos satélites utilizados pelo sistema foi concluída. Este sistema representado na figura 2 foi projetado de forma que em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento

existam pelo menos quatro satélites acima do plano horizontal do observador (BLITZKOW, 1995).

Desde o lançamento dos primeiros receptores GPS no mercado, tem havido um crescente número de aplicações nos levantamentos topográficos, cartográficos e de navegação, face às vantagens oferecidas pelo sistema quanto à precisão, rapidez, versatilidade e economia. Com o desenvolvimento da navegação espacial adjunto ao surgimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), vem se observando um grande interesse científico na criação de bancos de dados georreferenciados com extrema precisão, pois o sistema é uma grande ferramenta para estudos geodésicos, devido a sua precisão, além de permitir em tempo real o posicionamento em 3D.



Figura 2- Número de satélites necessário para o posicionamento 3D

Este sistema espacial de navegação, que continua sendo desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD), pode ser usado em quaisquer condições meteorológicas satisfazendo as necessidades das forças militares, de modo a determinar, conforme já mencionado, a posição, velocidade e tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto da Terra. Esse sistema, entretanto, possui restrições para o uso civil, o que explica a degradação da qualidade dos sinais provocada pelo Departamento de Defesa dos EUA (MONICO, 2000).

Para o uso civil, os serviços disponíveis são chamados *Standard Positioning Service* (SPS). Ainda para uso civil existe o serviço, com restrição, denominado *Precise Positioning Service* (PPS). A precisão do posicionamento de pontos depende do tipo de

serviço usado pelo usuário. A *U.S. Coast Gard* informa pela *Navigation Information Service Bulletin Board* que a precisão alcançada pelos usuários do SPS até a data de primeiro de maio de 2000 era da ordem de 100m na horizontal, 145m na vertical e 340 nano-segundos nas medidas de tempo, com nível de confiança de 95% (MONICO, 2000). A precisão no PPS era da ordem de 10 a 20m. Após a liberação este erro caiu para em torno de 1 a 5m, com o mesmo nível de confiança do SPS, mas este serviço é restrito ao uso militar e a usuários autorizados.

Na realidade o sistema *DoD* pode oferecer uma melhor acurácia e precisão, porem ao que tudo indica não há interesse em oferecer um serviço mais preciso, pois isso poderia pôr em risco a segurança dos EUA. Para garantir a segurança do sistema os militares nortes americanos criaram uma forma de deteriorar a acurácia e precisão adotando, para isto, dois processos limitantes do posicionamento dos sinais emitidos pelos satélites do sistema. Para a freqüência de uso militar foi criado o *Anti-Spoofing* (AS) e para uso civil o *Selective Availability* (SA). O AS é um processo de criptografia do código **P**, um dos códigos utilizados no GPS para realizar medidas de distância, visando protegê-lo de imitações por usuários não autorizados. O SA é capaz de diminuir a acurácia por meio da manipulação das mensagens de navegação (*técnica épsilon/ ϵ*) e da freqüência dos relógios dos satélites (*técnica dithe/ δ*). A partir de 2 de maio de 2000, essa técnica de deterioração da acurácia para o uso civil foi abolida, melhorando algo em torno de dez vezes o seu nível de acurácia. Os receptores capazes de trabalhar com os dois códigos de correção são chamados de dupla freqüência com as portadoras L1 e L2. Atualmente a precisão dos GPS geodésicos que trabalham com as duas portadoras é da ordem de 1 mm na horizontal e de 5mm na vertical e tal precisão é extremamente importante para estudos geodésicos e espaciais em micro e macro escala.

O GPS consiste de três segmentos principais: espacial, controle e de usuário (Figura 3).

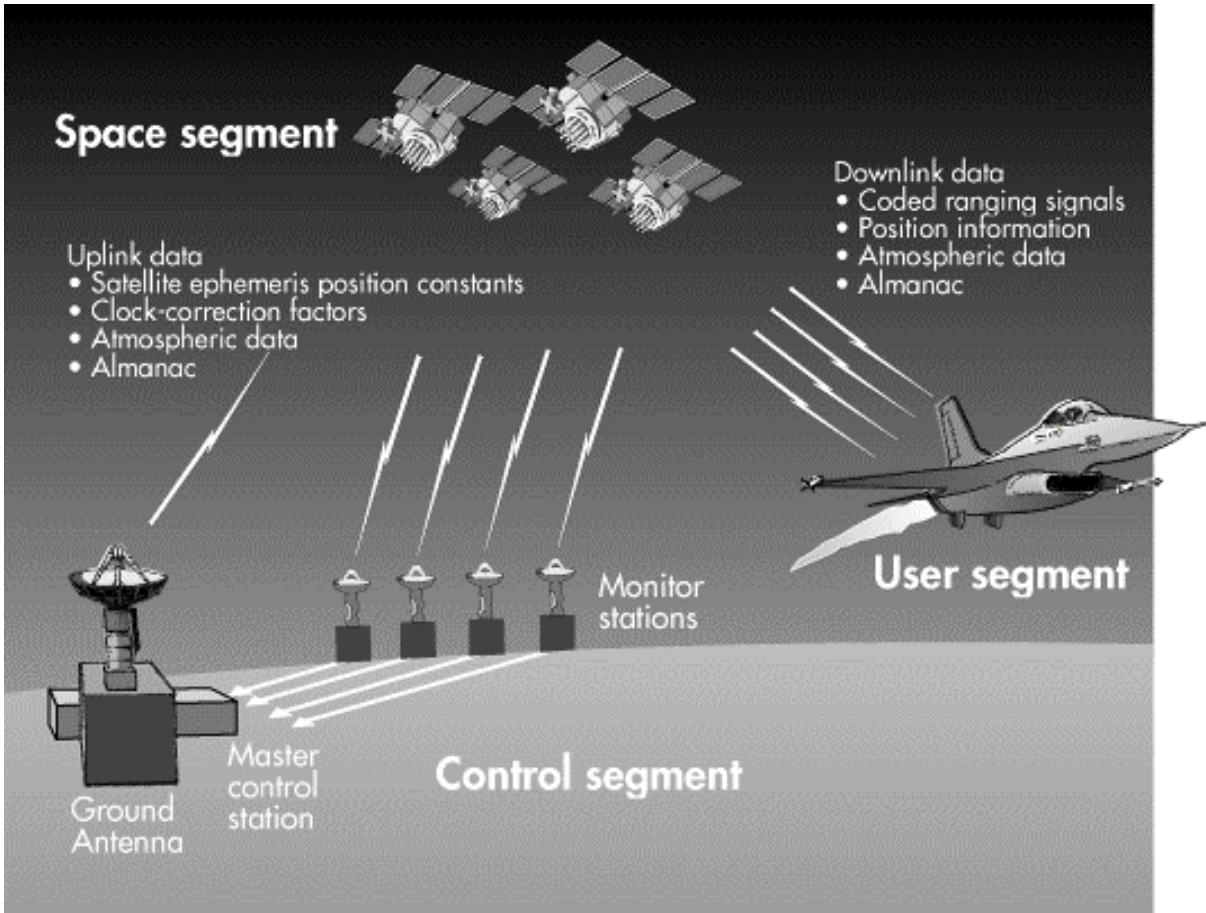


Figura 3- Segmentos do Sistema de Posicionamento Global (GPS) fonte Dana, P.H. 1996

Os satélites que compõem o segmento espacial do sistema GPS orbitam ao redor da Terra distribuídos em seis órbitas distintas, a uma altitude de 20.200 Km, distribuídos em seis planos orbitais com uma inclinação de 55° em relação ao equador, e com um período de revolução de 12 horas siderais. Isso vem acarretar uma repetição na configuração dos satélites com uma repetição de quatro minutos mais cedo diariamente em um mesmo local (Figura 4).

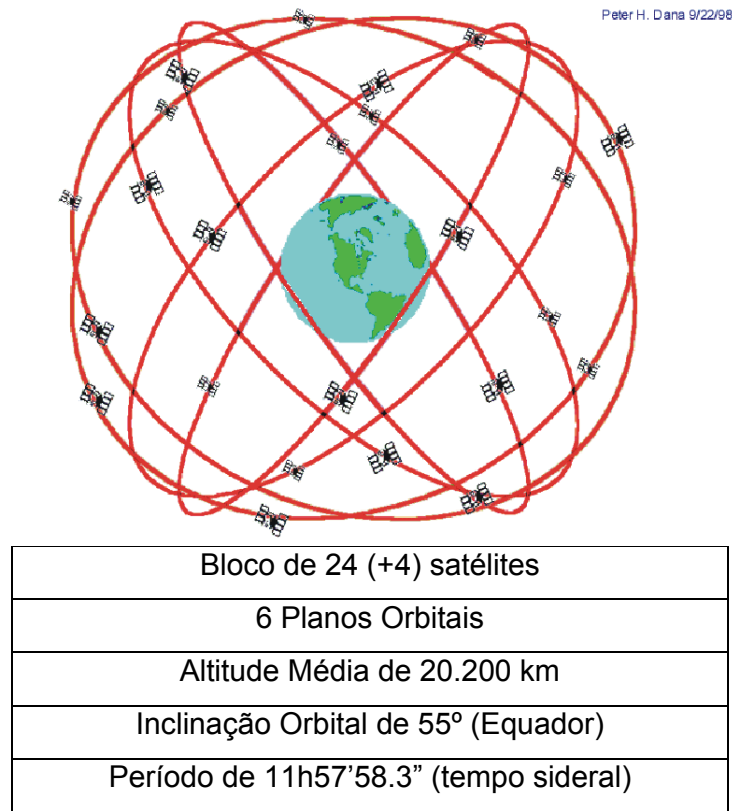
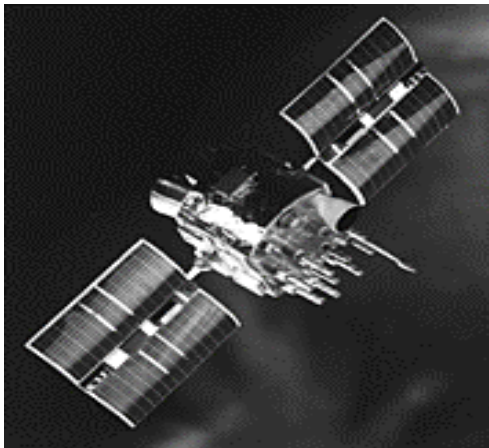


Figura 4- Planos orbitais dos satélites da constelação GPS

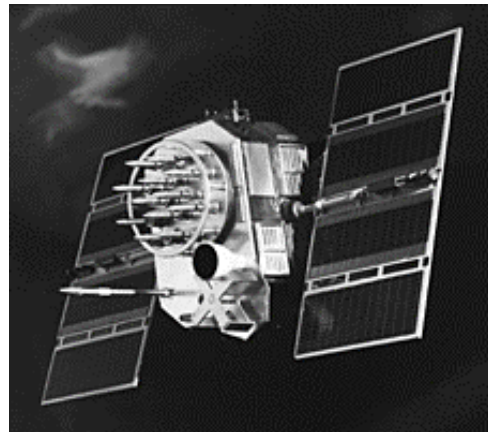
Essa configuração garante que, no mínimo, quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre ou acima dela, a qualquer hora do dia (MONICO, 2000).

O projeto NAVSTAR-GPS em sua concepção original possui quatro blocos de satélites denominados Bloco I, II, IIA, IIR e IIF. Os satélites do Bloco I foram desativados em 1995, e os satélites dos Blocos II e IIA, são compostos por 28 satélites, os quais se referem, respectivamente, a primeira e segunda geração de satélites GPS (MONICO, 2000). Com relação aos satélites do Bloco IIA, estes têm comunicação recíproca e uma maior capacidade de armazenamento de dados de navegação. Estes satélites já estão sendo substituídos pelos do Bloco IIR, que pertencem à terceira geração de satélites, cujas características principais, que os diferem dos Blocos anteriores, é que são capazes de medir distâncias entre eles e ainda calcular as efemérides no próprio satélite, transmitindo essas informações entre os satélites e para o sistema de controle em Terra (SEEBER, 1993). Uma quarta geração irá substituir os satélites do Bloco IIR. Estes

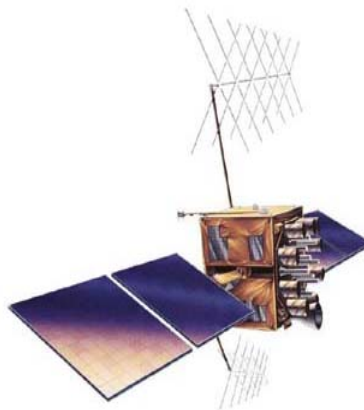
satélites denominados de Bloco IIF será composto por 33 satélites que deverão incorporar a modernização do sistema. Os satélites do grupo IIR carregam padrões de frequência altamente estáveis, oriundos de osciladores atômicos de césio e rubídio e os do Bloco IIF poderão carregar osciladores Maser de hidrogênio, considerados até o momento os melhores osciladores (MONICO, 2000). As fotos abaixo mostram os satélites dos blocos I, II, IIA e IIR.



Bloco I



Bloco II e IIA



Bloco IIR

Resumidamente, os satélites do sistema GPS (Figura 5) emitem ondas portadoras de 1575,42 Mhz e comprimento de onda $\lambda \cong 19$ cm (L1) e 1227,60 Mhz e comprimento de onda $\lambda \cong 24$ cm (L2). Modulados em fase portadoras, sendo os códigos +1 e -1, emitidos a frequências de 1,023 Mhz (código **C/A**) e 10,23 Mhz (código **P**). O código **C/A** (*coarse/acquisition code*) se repete a cada milissegundo, enquanto o código **P** (*precision code*), a cada 267 dias. Além desses códigos, existe ainda o código **Y**, sendo gerado, entretanto a partir de uma equação secreta (*anti-spoofing*). A portadora L1 é modulada com os códigos **C/A** e **P** (ou **Y**), enquanto L2 apenas com o código **P** (ou **Y**) (SEGANTINE, 1999).

Características dos Sinais GPS

- Ondas portadoras (L1 e L2)
- Comprimento de onda L1 $\rightarrow \lambda = 19$ cm $\rightarrow$ C/A e

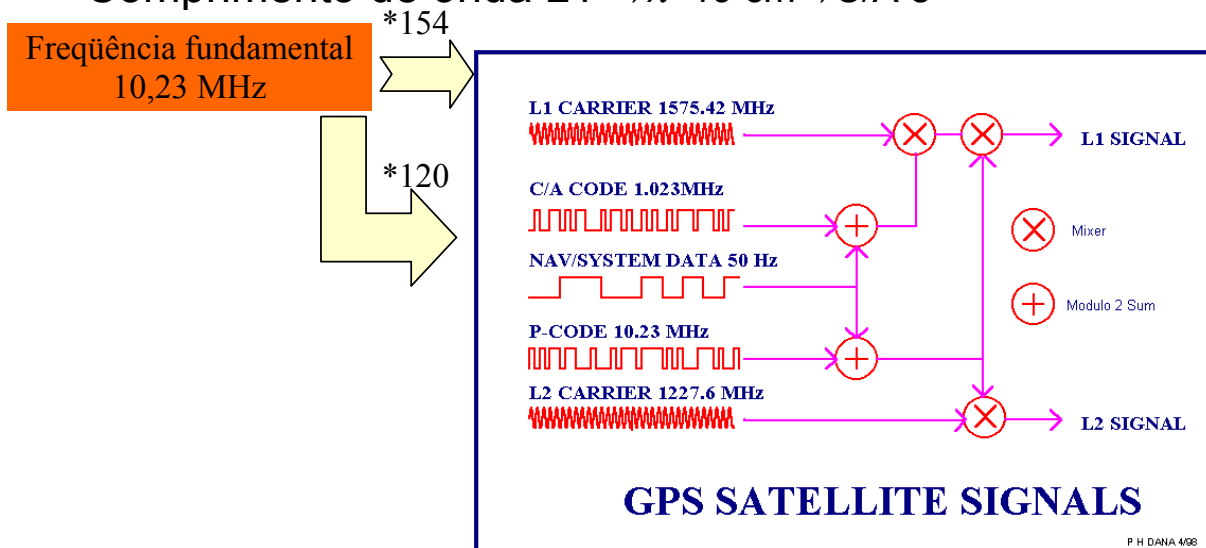


Figura 5- Esquema e características dos Sinais GPS

As pseudodistâncias bem como as fases de ondas portadoras ou diferenças de fase medidas pelos sinais emitidos dos satélites são consideradas **as observáveis básicas** do GPS (SEEBER, 1993). É através das observáveis que os receptores GPS

convertem em posicionamento, velocidade e tempo estes sinais eletromagnéticos oriundos dos satélites.

O segmento de controle (Figura 6) tem como principais tarefas monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites, determinar o tempo GPS, calcular as correções dos relógios dos satélites, prever as efemérides dos satélites e atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite. Esse sistema é composto por cinco estações de monitoramento mundial que estão localizadas nos seguintes locais: Hawai (EUA), Atol Kwajalein (Oceano Pacífico Norte), Ilha de Ascension (Oceano Atlântico Sul), Ilha de Diego Garcia (Oceano Índico Sul) e Colorado Springs (EUA); três delas com antenas para transmitir os dados para os satélites (Ilha Ascension, Ilha de Diego Garcia e Atol de Kwajalein); e uma estação de controle central (*Master Control Station*) localizada em Colorado Springs.

Political Map of the World, June 1999

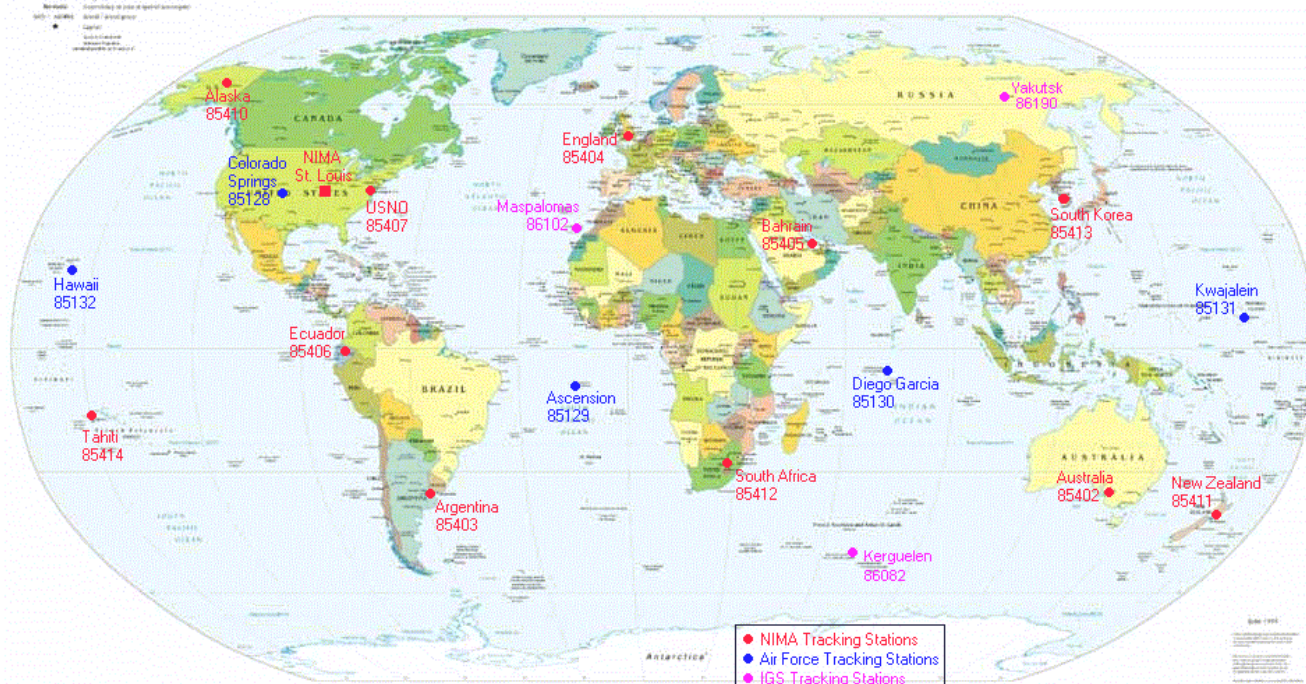


Figura 6- Estações de Controle e Monitoramento GPS

Estas cinco estações de monitoramento pertencem à *American Air Force*. Em conjunto com as sete estações do *National Imagery and Mapping Agency*, compõem as estações monitoras GPS do *DoD*.

Estas estações são equipadas com receptores de dupla frequência, múltiplos canais e com relógios atômicos. O Serviço Internacional de Geodinâmica (IGS), hoje

denominado Serviço GPS Internacional, estabelecido pela Associação Internacional de Geodésia (IAG) tem capacidade de produzir efemérides com precisão da ordem de poucos centímetros em cada uma das coordenadas do satélite, permitindo assim atender à maioria das aplicações que exijam alta precisão.

O GPS é um sistema multipropósitos, que permite aos usuários determinar suas posições expressa em latitude, longitude e altura geométrica ou elipsoidal em função das coordenadas cartesianas X, Y e Z em relação ao centro de massa da Terra (Figura 7) (SEGANTINE, 1999).

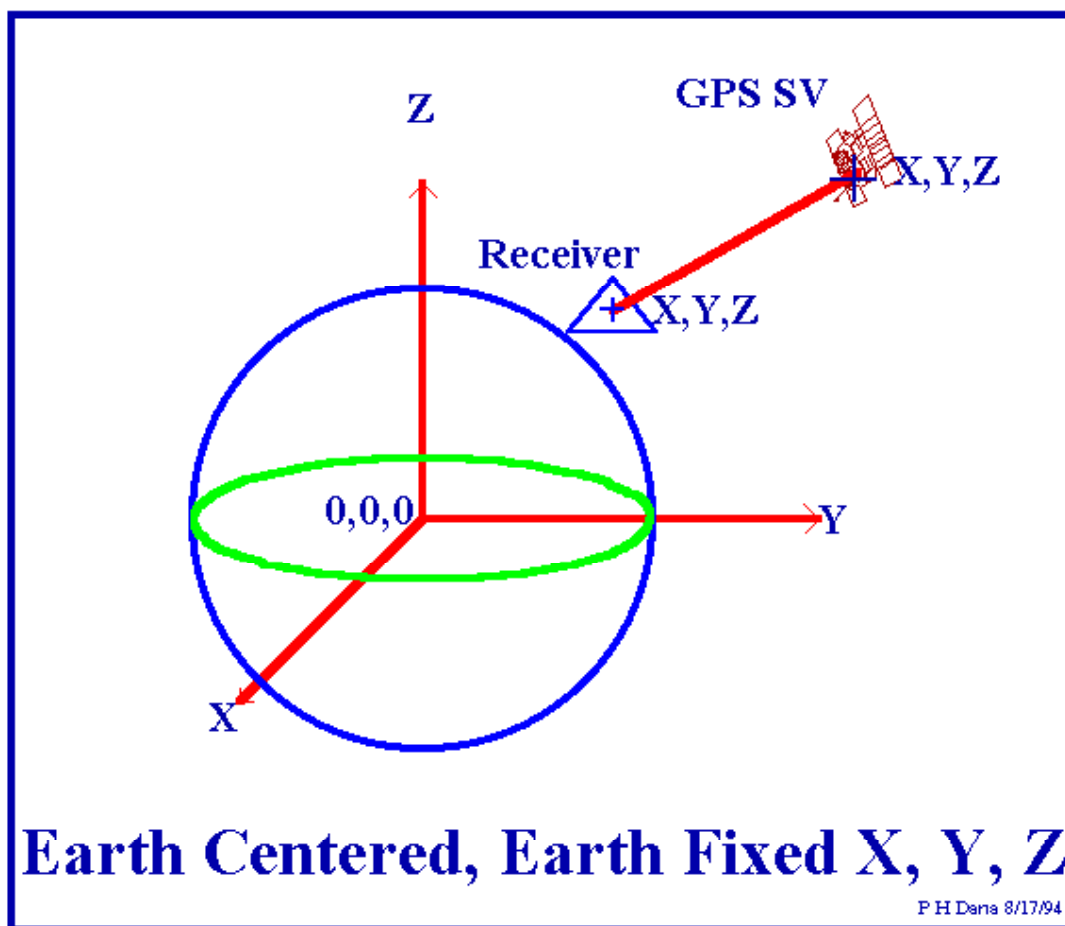


Figura 7- Posicionamento GPS baseado no centro de massa da Terra

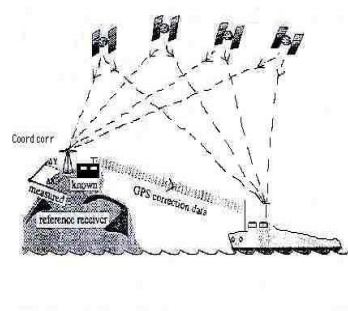
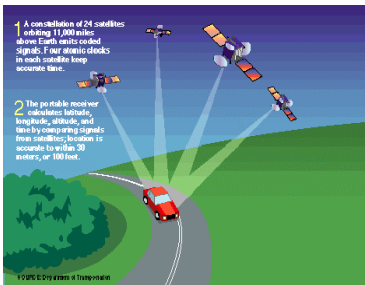
A categoria dos usuários pode ser dividida em civil e militar, sendo que para o uso civil existe restrição quanto à precisão. Os militares americanos fazem uso dos receptores GPS para estimar suas posições e deslocamentos quando realizam manobras de combate e de treinamento. Como exemplos podem ser citados a Guerra do Golfo e, mais recentemente, a Guerra do Afeganistão, onde os receptores GPS foram usados para o deslocamento de tropas e na navegação de mísseis até o alvo inimigo.

Existem, contudo, equipamentos para usuários autorizados, que permitem a obtenção de uma precisão e acurácia da ordem de milímetros, tanto na horizontal quanto na vertical. Estes receptores são utilizados em estudos geodésicos. Exemplos de segmentos de usuários civis e militares.

Segmento de Usuários



- Navegação para aviões, carros, navios e outros meios de transporte
- Posicionamento de objetos e dados no espaço
- Caminhamentos
- Movimentos de placas tectônicas
- Esportes Radicais
- Correção geométrica de aerofotos e imagens de satélite



Usuários Militares e Autorizados



Soldados Norte Americanos
(Guerra do Afeganistão)



Pesquisa Geodésica

A Figura 8 representa o esquema dos principais componentes de um receptor GPS são: 1- Antena com pré-amplificador; 2- Seção de RF (radiofrequência) para identificação e processamento do sinal; 3- microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados; 4- Oscilador; 5- Interface para o usuário, painel de exibição e comandos; 6- Memória para armazenar os dados e 7- Provisão de energia.

Descrição dos Receptores GPS

Principais Componentes do Receptor

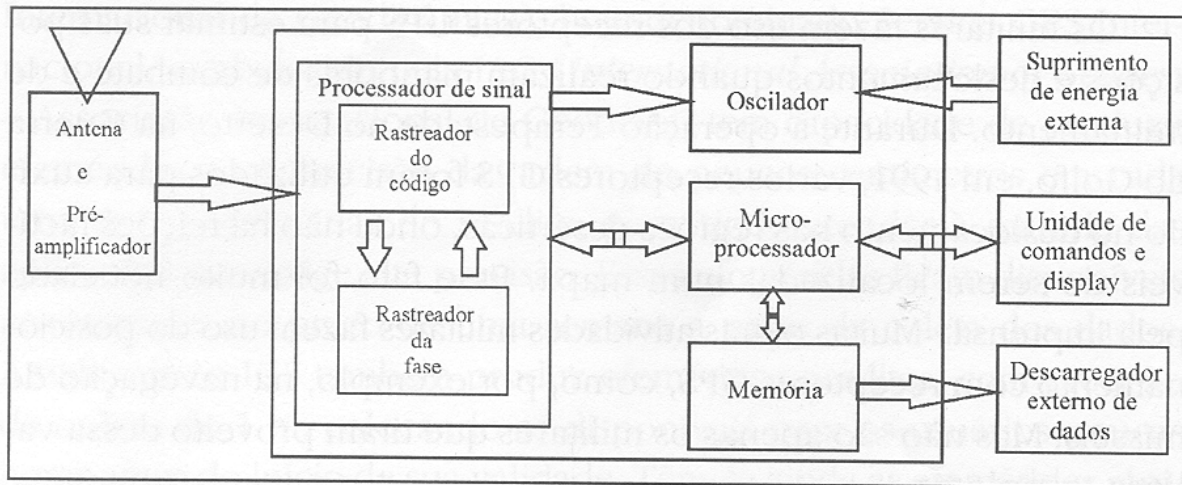


Figura 8- Esquema geral de receptores GPS

A antena detecta as ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites, converte a energia da onda em corrente elétrica, amplifica o sinal e o envia para a parte eletrônica do receptor. Em razão do tipo de sinal GPS e de sua estrutura, todas as antenas devem ser polarizadas circularmente à direita (RHCP- *Rigth-Hand Circularly Polarised*). A antena deve ter boa sensibilidade para receber sinais mais fracos e ainda receber sinais em todas as elevações e azimutes. Existem vários tipos de antenas no mercado de acordo com a necessidade do usuário, entre estas podem ser citadas: *Monopole ou Dipole*, *Hilex*, *Spiral Hilex*, *Microstrip* e *Choke ring* (Figura 9). O modelo de antena mais apropriada para GPS de navegação é a *microstrip*. Para levantamentos geodésicos, a antena utilizada deve permitir a recepção de duas ondas portadoras (L1 e L2) e garantir alta estabilidade entre o centro de fase e o seu centro geométrico, além de ter uma proteção contra multicaminhamento, isto é, sinais refletidos. O modelo de antena mais adequado para a precisão geodésica é o *Choke ring*.

Tipos de Antenas



Monopole



Microstrip



Helix



Spiral
Helix



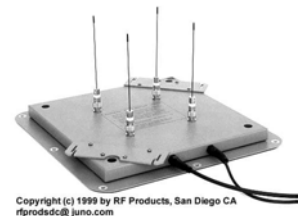
Choke ring



Geodésica mod. 5700



Geodésica Zephyr



Dipolo

Figura 9- Tipos de antenas para receptores GPS

Na seção RF os sinais que entram no receptor são convertidos para uma frequência mais baixa, denominada de frequência intermediária (FI). Esta redução de frequência é feita pela combinação da onda com um sinal senoidal gerado pelo oscilador. Geralmente os osciladores dos receptores GPS são de quartzo e alguns modelos geodésicos são externos com padrão atômico. A diferença entre a onda recebida e a gerado no oscilador é denominada de frequência de batimento da onda portadora. Os receptores atuais utilizam múltiplos estágios para reduzir a frequência de entrada. Após estas etapas o sinal FI é trabalhado nos rastreadores do sinal (*signal trackers*), ou seja, nos canais.

Os canais de um receptor (Figura 10) são considerados as unidades eletrônicas primordiais, sendo divididos em multicanais (canais dedicados), seqüenciais e multiplexados. Nos receptores multicanais cada canal rastreia continuamente um dos satélites visíveis, sendo no mínimo necessários quatro canais para se obter posição e correção do relógio em tempo real. Os receptores seqüenciais alternam os canais entre os satélites visíveis dentro de intervalos regulares, normalmente não coincidentes com a transmissão dos dados. Isso faz com que a mensagem do satélite só seja recebida completamente depois de várias seqüências. Nos canais multiplexados, seqüências são efetuadas entre os satélites numa velocidade muito alta, permitindo que as mensagens do satélite sejam obtidas quase que simultaneamente e transmitidas para o microprocessador.

Canais

- **Unidade eletrônica primordial**
- **Receptores de um ou mais canais**

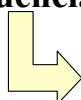
Tipos de Canais

Multicanais ou Paralelos



Cada canal rastreia um satélite visível

Seqüenciais



Alternância entre recepção do sinal e envio de mensagens de navegação

Multiplexados ou Multiplex



Alta velocidade no posicionamento inicial em torno de 30s

Hoje em dia os receptores possuem 12 canais

Figura 10- Esquema dos tipos de canais existentes no GPS

O microprocessador (Figura 11) é necessário para se obter e processar o sinal, decodificar a mensagem de navegação, bem como calcular posições e velocidades, além

de outras funções conforme o modelo. A informação obtida é transferida para o *display* onde o usuário pode fazer visualizar todas as funções do receptor.

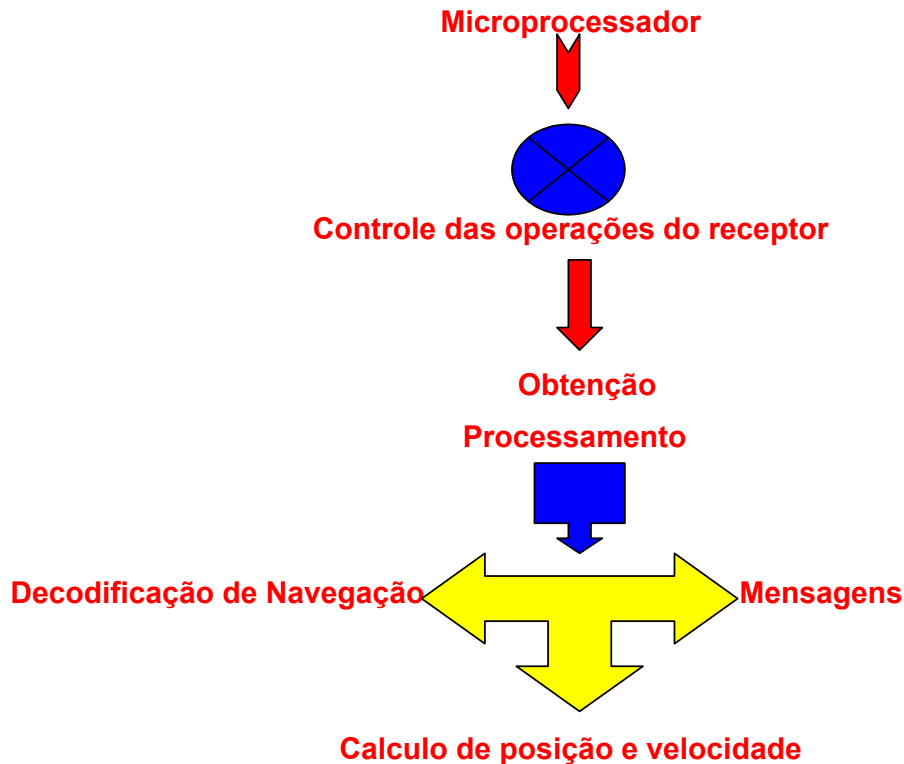


Figura 11- Esquema de entrada do microprocessador GPS

A interface com o usuário é feita por meio de comandos e do *display* que proporcionam as interações entre ambas as partes. A maioria dos receptores dispõe de um padrão de operação preestabelecido, não requerendo intervenção do usuário.

Os receptores dispõem também de uma memória interna para armazenamento das posições, distância e outros dados, que são capazes de serem descarregados através de uma porta serial do tipo RS-232, com auxílio de programas específicos.

O suprimento de energia para os GPS da primeira geração foi um fator crítico, entretanto nos aparelhos modernos foram concebidos para terem um consumo mínimo de energia. Alguns chegam mesmo a operar com pilhas, embora possam ter bateria interna recarregável.

Os receptores GPS (Figura 12) podem ser classificados de três formas segundo critérios específicos: para uso da comunidade usuária militar ou civil; para aplicação em navegação, geodésia e uso direto em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Sistema de Informação Geográfica) e, por ultimo, segundo os diferentes tipos de receptores e dados proporcionados como é o caso dos receptores com código C/A;

código C/A e portadora L1; código C/A e portadoras L1 e L2; código C/A e P e portadoras L1 e L2; portadora L1 e portadoras L1 e L2. Estas divisões ajudam os usuários na identificação do receptor adequado às suas necessidades, independentemente da classificação adotada.



Figura 12- Tipos de receptores GPS

As técnicas de processamento dos sinais são necessárias para estudos geodésicos, como é o caso da aplicação em redes com bases longas ou em regiões com forte atividade ionosférica. Quando se tem problema dessa ordem é necessário o uso das duas portadoras (L1 e L2) e ainda acesso ao código P. A técnica normalmente aplicada para acessar a portadora L1, para a correção do *Anti-Spoofing* (AS) é a correlação do código. A portadora L2 tem modulado sobre ela apenas o código P, o qual é sujeito ao AS, sendo então possível acessá-la pelas técnicas: **quadratura do sinal; correlação do código quadrado; correlação cruzada e Z tracking** (Figura 13).

Técnicas de Processamento do Sinal

Aplicação em Geodésia

- **Redes com bases longas**
- **regiões com forte atividade ionosférica**

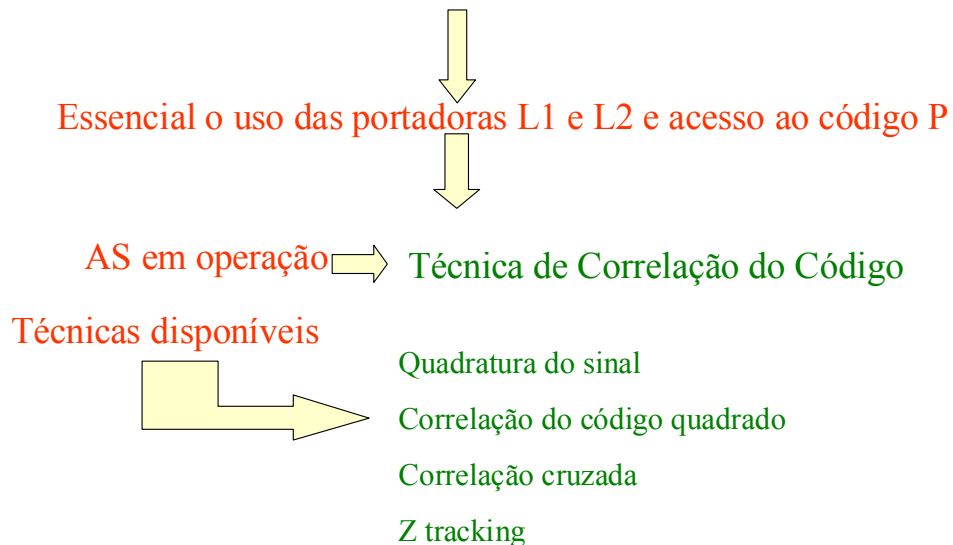


Figura 13- Esquema das técnicas usadas no GPS para o processamento do sinal emitido pelos satélites

A crescente utilização do GPS nos levantamentos geodésicos, geológicos, cartográficos e ambientais induz à necessidade de adoção de sistemas de referências geocêntricos. Para a determinação de uma posição qualquer no espaço ou na Terra, o sistema operacional GPS utiliza como referência o sistema geodésico denominado de WGS84 (*World Geodetic System* de 1984) atualmente com a denominação de (G873). Dentro deste contexto devemos ter uma série de cuidados com as **transformações de datum, escala e tipos de projeções**.

Conforme ilustra a Figura 14, existem vários tipos de projeções, datum e escalas para a representação dos mapas.

Projeção, Datum e Escala

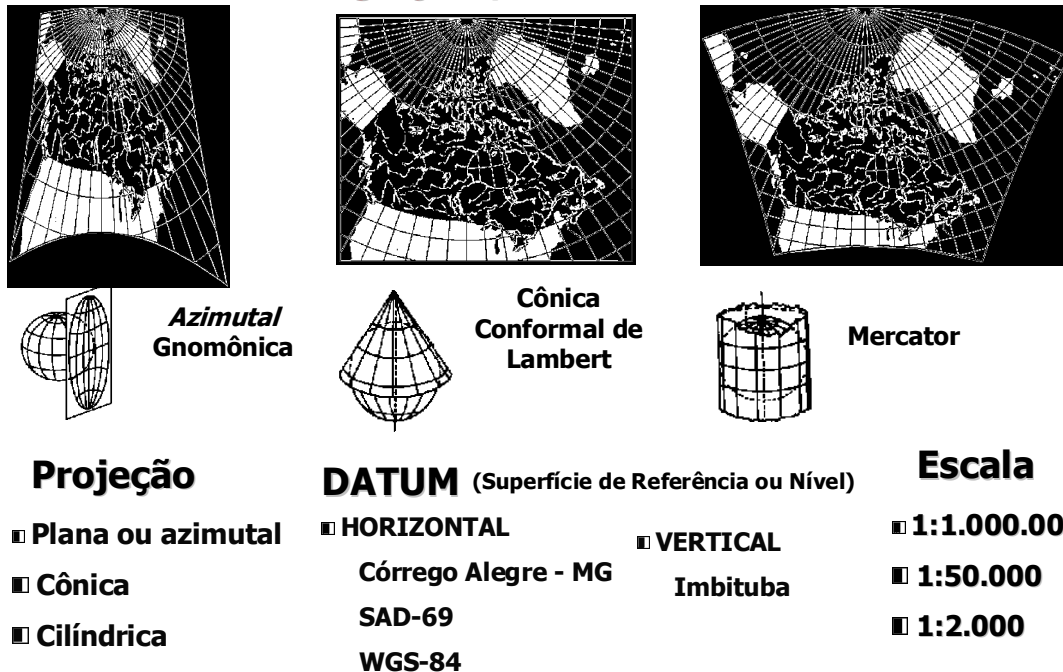


Figura 14- Projeções, datum e escalas usadas em mapas

Com a utilização deste sistema, torna-se conveniente transformar os dados quando se deseja trabalhar em outro sistema geodésico como é o caso do SAD-69 (*South America Datum* de 1969) ou ainda o nacional *Córrego Alegre Datum*. Estes dois sistemas são usados no Brasil, sendo o *Córrego Alegre* adotado nas cartas do DSG (Diretoria de Serviço Geográfico) e o SAD-69 utilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

O IBGE em cooperação com outras instituições latino-americanas e internacionais, sob o patrocínio do IAG (*International Association of Geodesy*), criou em 1993 o Projeto de Referência Geocêntrico para a América do Sul denominado de SIRGAS, com o principal objetivo de estabelecer um sistema de referência para a América do Sul. O Brasil tem participado ativamente para o estabelecimento de redes de GPS de alta precisão no continente associados à criação de um banco de dados e centros de processamento. O estabelecimento das Redes de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBCM), foi um passo de grande importância para a geodésia a nível nacional (Figura 15). Esta rede é composta atualmente por treze estações, sendo nove delas coincidentes com as estações SIRGAS, fornecendo assim todas as informações necessárias para a integração do

Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) aos sistemas de referências terrestres internacionais que serão adotados no Brasil.

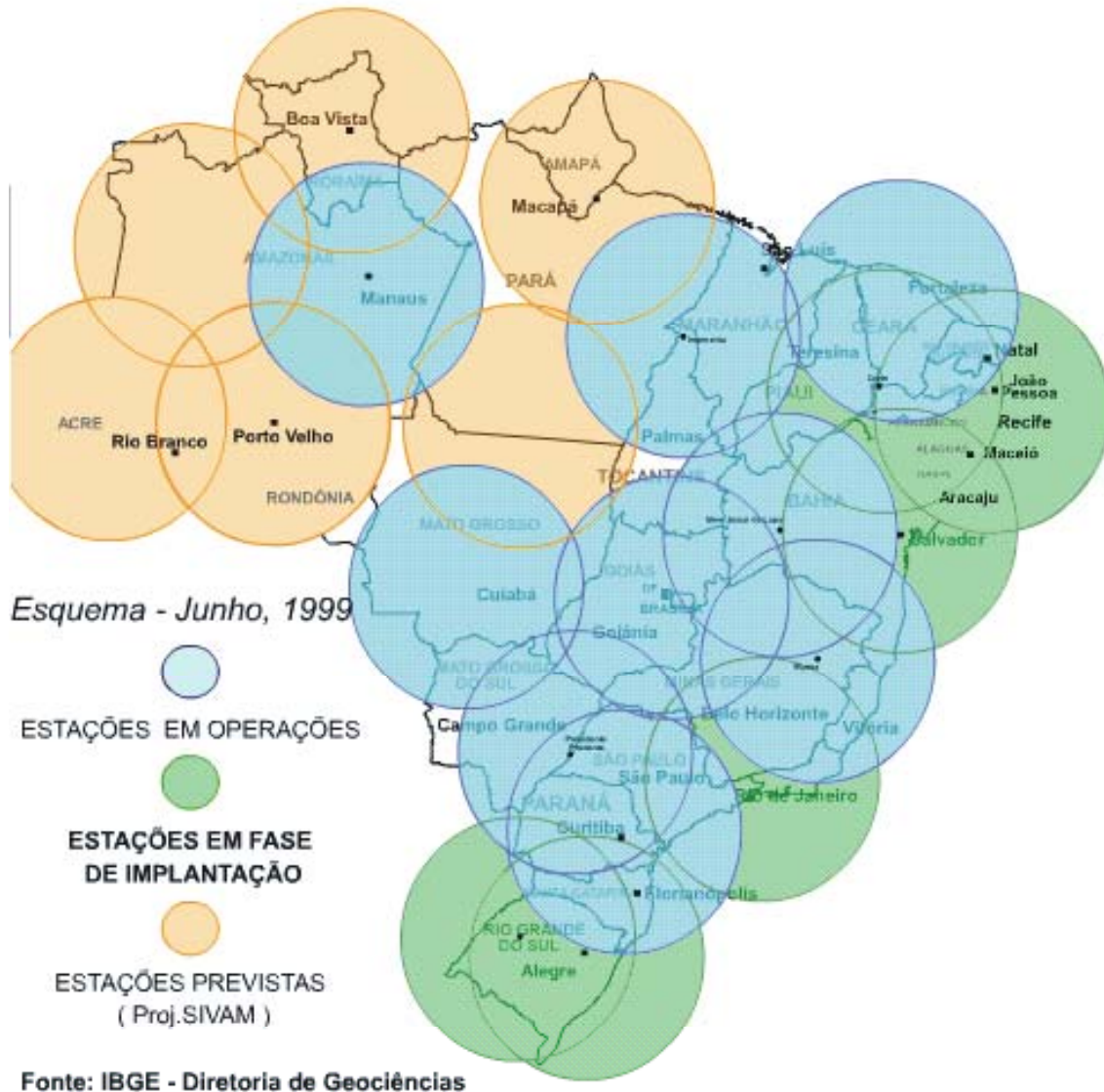


Figura 15- Localização das Redes de Monitoramento Contínuo no Brasil

Técnicas de posicionamento do GPS: fundamentos e descrições

Independentemente do estado do objeto, podem-se ter posicionamentos absoluto e relativo, e combinações com a presença ou ausência de movimento. Posicionamento é definido como sendo a posição de objetos com relação a um referencial específico. O método de posicionamento pode ser classificado como absoluto, quando as coordenadas de um objeto estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, quando as

coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. Um complemento a esta classificação refere-se ao deslocamento de um objeto, quando o posicionamento torna-se cinemático e oposição ao objeto em repouso e, desse modo, com posicionamento estático. O mesmo pode-se dizer com respeito ao posicionamento relativo e DGPS.

O posicionamento absoluto de pontos baseia-se efemérides transmitidas e o ponto é determinado em relação ao sistema de referência vinculado ao GPS, ou seja, o WGS 84. Quando a posição de um ponto é determinada em relação a outro com suas coordenadas conhecidas, referenciadas de acordo com o WGS 84, ou a um sistema compatível com este, chama-se a este posicionamento relativo. As coordenadas podem ser calculadas de acordo com as pseudodistâncias observadas, ou entre as coordenadas determinadas a partir das posições dos satélites e estações, como no caso do DGPS, onde um receptor GPS é estacionado numa estação de referência. O DGPS foi criado com o intuito de diminuir os efeitos advindos da disponibilidade seletiva (SA) implementada nos satélites GPS.

Outro conceito importante no geoposicionamento é o conceito de posicionamento em tempo real e o pós-processado. No primeiro caso, a estimativa da posição da estação de interesse ocorre praticamente no mesmo instante em que as observações são coletadas. No pós-processado, as posições dos pontos em que dados foram coletados são estimativas num processamento posterior à coleta (HOFMANN-WELLENHOF *et al*, 1997).

Cada um destes métodos possui vantagens e desvantagens. Em navegação, por exemplo, é imprescindível que as posições sejam disponibilizadas em tempo real. Já no estabelecimento de uma rede geodésica, os dados podem ser pós-processados, permitindo aplicar técnicas mais rigorosas de controle de qualidade. No entanto se os dados de navegação forem armazenados eles também poderão ser pós-processados.

No posicionamento com GPS surgiram vários métodos intermediários entre posicionamento estático e cinemático, explorando a capacidade do sistema em fornecer coordenadas altamente precisas depois de um breve período de coleta de dados, ou mesmo com o receptor em movimento. Diante disso, surgiram várias denominações para os métodos rápidos desenvolvidos. Algumas vezes, denominações diferentes são utilizadas para descrever o mesmo procedimento. Entre os vários termos surgidos destacam--se: estático rápido, semicinemático, pseudocinemático, cinemático puro ou contínuo, cinemático rápido, pseudo-estático, “stop and go”, etc (MONICO, 2000).

Existem diferentes possibilidades para subdividir os métodos estáticos e rápidos de posicionamento relativos via GPS. Os métodos utilizados neste texto foram extraídos de (HOFMANN-WELLENHOF *et al*, 1997 e MONICO, 2000). Estes métodos estão descritos em três grupos: método estático rápido; método semicinemático e método cinemático. No método cinemático, o receptor coleta dados enquanto está se deslocando, permitindo estimar as coordenadas de sua trajetória. Quando o receptor é desligado durante o deslocamento de uma estação para outra, trata-se do método estático rápido. Se o receptor tiver de manter sintonia com os satélites durante o deslocamento, mesmo sem armazenar informações, trata-se do método denominado semicinemático.

Posicionamento por ponto

O posicionamento por ponto necessita de apenas um receptor e é um método muito utilizado em navegação de baixa precisão e em levantamentos expeditos. Este tipo de posicionamento em tempo real, derivada da pseudodistância do código C/A presente na fase portadora L1, que possuía uma precisão planimétrica melhor que 100 metros, 95% do tempo. Com a eliminação do SA em 2 de maio de 2000, a qualidade citada anteriormente melhorou algo em torno de 10 vezes.

Caso esteja disponível, é possível incluir no processamento, além da pseudodistância, a medida da fase portadora. Esse método é chamado posicionamento por ponto convencional, sendo descrito na próxima seção.

Os principais erros que afetam os sistemas estão relacionados com a qualidade das observáveis utilizada, ou seja, a pseudodistância e a acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação. No que concerne ao último, enquanto a acurácia da órbita do satélite é da ordem de poucos metros, a do relógio dos satélites é de uma ordem de magnitude maior, devido à refração troposférica e ionosférica, multicaminho do sinal, dentre outros.

Quando não se tem a necessidade de posicionamento em tempo real, é possível a utilização de pós-processamento com efemérides precisas e as correções para os relógios dos satélites produzidos pelo IGS (International Geodetic System), ambos com precisões de poucos centímetros.

Posicionamento por ponto convencional

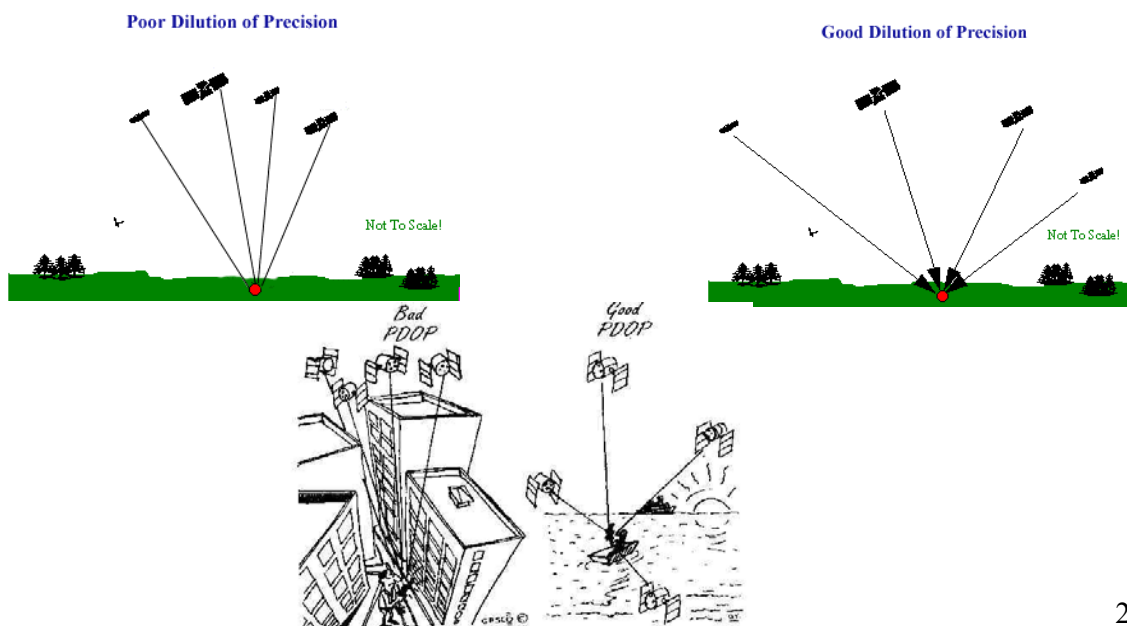
O posicionamento por ponto convencional baseia-se na inclusão no processamento dos dados, além da pseudodistância, da medida da fase da onda portadora. Tal procedimento não tem sido uma prática muito comum em levantamentos geodésicos, visto que este método não atende os requisitos de precisão.

Os principais erros que a afetam estão relacionados com a qualidade da “observável” utilizada (pseudodistância) e a acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação. Acrescenta-se a esses erros aqueles advindos da refração troposférica e ionosférica, multicaminho do sinal, dentre outros.

Diluição da precisão

Os diversos DOP's (dilution of precision), apresentados nas figuras abaixo freqüentemente usados em navegação e no planejamento de observações GPS, são obtidos a partir do conceito de posicionamento por ponto apresentado anteriormente. O DOP auxilia na indicação da precisão dos resultados que serão obtidos. Ele depende basicamente de dois fatores:

da precisão da observação de pseudodistância, expressa pelo erro equivalente do usuário (UERE: User Equivalent Range Error), que é associado ao desvio padrão das observações, e da configuração geométrica dos satélites, obtida pelos DOP's. Em resumo pode-se dizer que, quanto menor for o valor dos diferentes DOP's, melhor a configuração dos satélites para realizar o posicionamento. Tem-se que, quanto maior for o número de satélites sendo rastreados, menores seriam o DOP.



Posicionamento por ponto preciso

Neste tipo de posicionamento, podem-se diminuir consideravelmente os efeitos da refração ionosférica. Para usuários com receptores de apenas uma frequência, há duas possibilidades no que se refere à refração atmosférica: negligenciá-la, ou utilizar algum modelo disponível. Vale ressaltar que desde maio de 1998, o IGGs está produzindo um modelo global para a ionosfera.

Este método não utiliza correções das efemérides e do relógio contidos na mensagem de navegação, mas sim correções produzidas pelo IGS, IGR e IGP, apresentando precisão da ordem de 5, 10 e 50 cm, respectivamente.

Posicionamento por ponto de alta precisão

Neste método é imprescindível a utilização de dados de receptores de dupla frequência, isto é, com pseudodistância e fase da onda portadora nas duas portadoras.

Trata-se de um processamento que envolve quatro “observáveis” para cada um dos satélites visíveis em cada época. As duas de fase de batimento da onda portadora podem ser combinadas linearmente

Posicionamento relativo

O conceito fundamental do posicionamento relativo é que os dois ou mais receptores envolvidos rastreiam, simultaneamente, um grupo de pelo menos dois satélites comuns.

Para a realização do posicionamento relativo, o usuário deve dispor de dois ou mais receptores. No entanto com a criação dos chamados Sistemas de Controle Ativos (SCA), tal afirmativa não é mais verdadeira. O usuário que dispor de apenas um receptor poderá efetuar posicionamento relativo. Deverá, para tal, acessar os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA; no caso do Brasil, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Nesse caso, o sistema de referência do SCA será introduzido na solução do usuário via as coordenadas das estações utilizadas como estações de referência.

Dentro do contexto de posicionamento relativo, utilizam-se em geral as duplas diferenças como observáveis fundamentais.

Posicionamento relativo estático

A observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença da fase de batimento da onda portadora, podendo também ser utilizado a dupla diferença da pseudodistância ou ambas. Os melhores resultados em termos de acurácia ocorrem quando se tem duas observáveis. Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas. Devido ao longo período de ocupação das estações este método utiliza mais a fase de onda portadora cuja precisão é superior ao da pseudodistância, que só é utilizada no pré-processamento. Este método é o mais preciso e mais adequado para levantamentos geodésicos e geodinâmicos.

Posicionamento relativo estático rápido

O posicionamento relativo estático rápido difere do estático somente pelo tempo durante o período de ocupação da estação, que neste caso não passa de 20 minutos. A utilização deste método é propícia para levantamentos em que se deseja alta produtividade. Neste método podem-se utilizar receptores simples (L1) ou dupla frequência (L1 e L2). No campo deve-se ter um receptor fixo servindo de base, coletando dados continuamente, enquanto o outro receptor percorre as áreas e pontos de interesse, permanecendo cerca de 5 a 20 minutos para cada coleta de dados. Não há necessidade da continuidade de rastreamento durante as mudanças de pontos de interesses nem do receptor permanecer ligado durante o percurso. Os dados coletados da estação base e do receptor de caminhada são processados para que se solucione o vetor de ambigüidade e se consiga uma melhor precisão. Este método é adequado para levantamentos em torno de dez quilômetros de raio da estação base.

Posicionamento relativo semicinemático

O posicionamento relativo semicinemático baseia-se no fato de que a solução do vetor de ambigüidades, presente numa linha base a determinar, requer que a geometria envolvida entre as estações e os satélites se altere. Devem-se então coletar os dados pelo menos duas vezes em curtos períodos na mesma estação. As duas coletas devem estar separadas por um intervalo de tempo em torno de 20 a 30 minutos para proporcionar a alteração na geometria dos satélites. De acordo com MONICO(2000), durante este intervalo outras estações podem ser ocupadas por períodos de tempo

relativamente curto. Este método requer que os receptores fiquem continuamente rastreando os mesmos satélites durante as visitas às estações, embora a trajetória não seja de interesse. Quando se utiliza receptor de frequência simples, as distâncias do ponto a base não deve ultrapassar de 10 Km. Este método é também chamado de pseudo-estático ou ainda *stop and go*, ou seja, para no ponto desejado para a marcação e depois avança para a ocupação de outro ponto, sem perder a sintonia com o grupo de satélites rastreados.

Posicionamento relativo cinemático

No posicionamento relativo cinemático tem-se como observável fundamental à fase da onda portadora, muito embora o uso da pseudodistância seja muito importante na solução do vetor de ambigüidades. Os dados obtidos deste método podem ser processados em tempo real ou pós-processados depois no laboratório.

Posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK - *Real-Time Kinematic*)

Para que os dados possam ser processados em tempo real, é necessário que os dados coletados na estação de referência sejam transmitidos para o receptor móvel ou de caminhamento, necessitando de um *link* de rádio. Tratam-se de um método similar ao DGPS em tempo real, só que neste caso utiliza-se à fase de onda portadora e no DGPS as pseudodistâncias. Resumidamente este sistema consiste de dois receptores de dupla ou simples frequências com as respectivas antenas de link de radio para transmitir as correções e/ou observações da estação de referência. Uma das limitações desta técnica diz respeito à utilização de link de rádio na transmissão dos dados para as correções. Por esse motivo faz-se uso de rádio com frequências de VHF ou UHF, limitando assim, na maioria das vezes, seu uso em distâncias maiores que 4,3 Km da estação fixa. A precisão deste método é da ordem de poucos centímetros.

DGPS

Neste método se a localização de um receptor for conhecida, pode-se comparar os valores obtidos com os valores teóricos e deste modo calcular correções às medições, as quais pode ser usado para também corrigir as medições dos outros receptores que estão em pontos desconhecidos.

O receptor na posição conhecida é chamado receptor base ou de referência, o receptor ou receptores que estão em posições desconhecidas são chamados "*rover*"

(Figura 16). O receptor de referência calcula as medições para cada satélite, baseando-se na sua posição que é conhecida e na localização instantânea de cada satélite e, em seguida, compara os valores calculados com as medições reais. A diferença entre esses valores fornece a correção para cada satélite, a qual vai ser transmitida ao outro receptor. O *rover* pode então calcular a sua posição com muito melhor precisão. O DGPS é baseado na medição da distância receptor-satélite através da observação do código. Se as correções forem transmitidas desde o receptor de referência para os *Rovers* em tempo real.

Se não há necessidade de trabalhar em tempo real as medições da base e do *rover* são gravadas e mais tarde transferidas para um computador para serem efetuados os cálculos. Esta técnica é usualmente designada por DGPS em pós-processamento. Neste método de posicionamento baseado na observação do código os resultados são instantâneos, mas não são precisos.

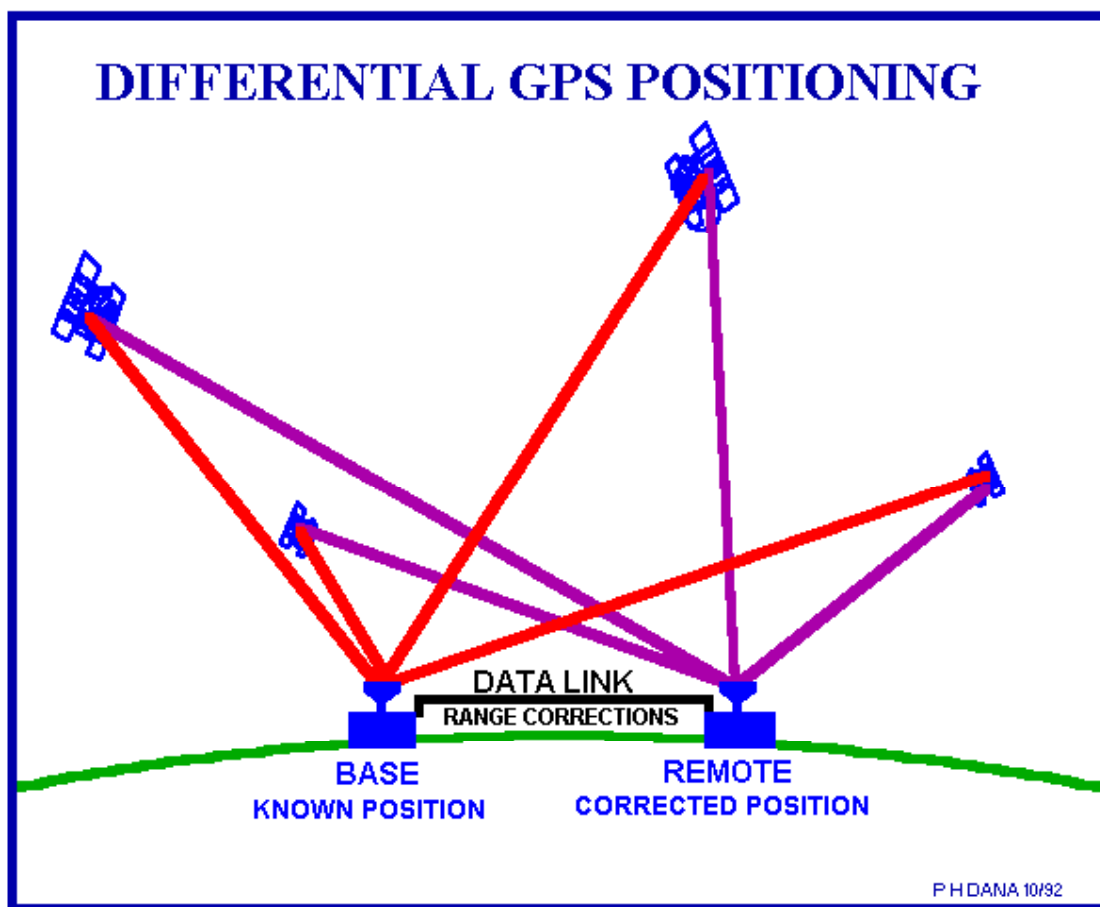


Figura 16- Método de Posicionamento GPS Diferencial

O uso correto do GPS para a elaboração de banco de dados espaciais

Como visto o GPS é um sistema multipropósitos, que permite ao usuário determinar suas posições expressa em latitude, longitude, altura geométrica ou elipsoidal, velocidade e o tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto sobre ou próximo da superfície da Terra.

Com a criação e aperfeiçoamento do GPS nas ultimas décadas houve um avanço tecnológico significativo nas áreas de geodésia e cartografia. As técnicas de posicionamento de um ponto na superfície terrestre ou fora dela em relação a um referencial tem melhorado no sentido de que precisões cada vez maiores sejam atingidas.

A grande vantagem deste sistema é a sua capacidade de integração com outros sistemas, ressaltando sua relação com o Sistema de Informação Geográfica (SIG), capaz de produzir mapas digitais em tempo real com alta precisão. A interface entre os dois sistemas permite uma maior velocidade na obtenção e tratamento dos dados georreferenciados. O GPS é o ponto chave da junção destes dois sistemas, pois permite inicialmente a aquisição dos dados, os quais constituirão a base geométrica para a análise espacial pelos SIGs. Desse modo pode-se alcançar grande velocidade e precisão na coleta de dados, conduzindo a uma significativa melhoria nos mapeamentos geológicos, geodésicos e ambientais.

Outro ponto importante, e que se deve ter muito cuidado, refere-se à questão de fornecer adequadamente os dados para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o produto de levantamentos GPS. As coordenadas obtidas pelo rastreamento de satélites do GPS referem-se a um datum geocêntrico internamente consistente, o “World Geodetic System/1984” (WGS-84), enquanto os SIG’s operam sobre coordenadas de carta, normalmente referidas a um datum continental, nacional ou local. Embora ambas tecnologias, e em especial o GPS, possam ser consideradas consolidadas em termos tecnológicos, a perspectiva futura é a de que o problema de compatibilização entre elas persista, já que o levantamento por satélites deve permanecer dominando o cenário de apoio à cartografia. Isto, por si só, confere grande importância à questão da transformação entre os sistemas de levantamentos por GPS e por carta para mapeamentos. Além desta questão de incompatibilidade de datum há, também, o problema da qualidade do dado cartográfico disponível. Qualquer banco de dados digital é, normalmente, baseado em cartas analógicas de qualidade variável, por vezes bastante precária. Isto ocorre porque as redes geodésicas convencionais, que na maioria dos

países ou continentes servem de base ao mapeamento nacional, encerram imprecisões e distorções decorrentes principalmente da diversidade de técnicas e instrumentos utilizados e do resultado de sucessivos ajustamentos a que foram submetidas. Por exemplo, no Brasil o datum de referência para o mapeamento nacional foi, até a década de 70, o Córrego Alegre. A partir de então o sistema de referência foi mudado para o SAD69, baseado no reajustamento, de duas redes de triangulação de primeira ordem. Estes ajustamentos acarretaram distorções artificiais em certas partes da rede, as quais foram por consequência transferidas para a base cartográfica. Como o Brasil apresenta uma grande extensão territorial o problema pode tornar-se ainda mais crucial.

Nos últimos anos o GPS tem sido utilizado no estabelecimento e adensamento de redes geodésicas com diferentes finalidades, tornando disponíveis coordenadas de qualidade em WGS-84. Ao mesmo tempo seu emprego em um número grande de projetos de geologia, ecologia, geografia, engenharia cartográfica, urbanização, cadastro de utilidades públicas, transportes e tantos outros assumiram um caráter praticamente cotidiano. Como consequência, a inclusão destes levantamentos na base de dados existentes se apresenta como uma necessidade vital, para que o manuseio dos dados possa ser realizado por meio de um SIG. Esta inclusão, entretanto, não deve acarretar descontinuidade e nem tampouco perda de precisão, já que as bases de dados, como discutido acima, contem distorções locais ou regionais. Se a base de dados que vai alimentar o SIG não apresentar características mínimas de homogeneidade, pouco resultado prático deverá ser esperado dos recursos oferecidos pelo SIG.

O pesquisador de um banco de dados se depara, então, com três opções de ação: **1)** mantém a base dados obtida exclusivamente a partir das cartas antigas e não incluir os dados GPS; **2)** passar a construir sua base de dados totalmente a partir dos levantamentos GPS (em WGS-84) e abandonar os dados antigos ou **3)** buscar uma solução intermediária que possa incluir os dois tipos de dados, com o menor prejuízo possível para o desempenho do GIS. Claramente a opção **(3)** é a que deve ser adotada no momento, tornando crucial a questão da transformação entre o sistema do levantamento e o da base de dados para o SIG. Espera-se, entretanto, que no futuro a tendência seja para a escolha da opção **(2)**.

A transformação utilizada para viabilizar a inclusão dos novos levantamentos deve ser capaz de modelar corretamente as distorções da base cartográfica e sua escolha pode ser tratada segundo enfoques conceitualmente distintos. Uma abordagem pode ser adoção de um modelo de transformação, assumido como adequado, mas por vezes

estabelecido com outra finalidade. Por exemplo, no caso brasileiro adotou-se o método de Helmert, com base em três parâmetros de translação, para a transformação entre os datum WGS-84 e SAD-69 (datum de referência da base cartográfica). Conseqüentemente, esta mesma transformação tem sido automaticamente utilizada, em todo o território nacional, para incluir dados de levantamentos por GPS na base de dados existente. Sabe-se, porém, que esta transformação funciona bem em termos globais, mas que não se deve esperar bons resultados quando aplicada localmente, especialmente quando se está afastado da origem do datum SAD-69.

Torna-se, portanto, importante buscar uma outra forma de enfocar o problema. Ao contrário de adotar-se diretamente um modelo, submetem-se diferentes modelos de transformação a uma análise de desempenho, realizada sobre dados representativos da área de interesse. O objetivo é definir o método mais adequado para solucionar o problema específico em questão. Isto é atingido graças à avaliação das respostas de cada método a um conjunto de critérios, estabelecidos para avaliar propriedades específicas da transformação. Por exemplo, é desejável que a transformação reversa conduza ao mesmo resultado de partida e que em qualquer dos sentidos um resultado único seja produzido. Ou ainda, que formas sejam mantidas após a transformação, ou que a transformação possa ser aplicada fora da área para a qual ela foi definida.

Os mapeamentos geológicos e ambientais feitos anteriormente à adoção do Sistema Geodésico Mundial (WGS-84), encontram-se defasados no que se refere ao posicionamento das coordenadas. Por este motivo torna-se necessário adotar rapidamente esta tecnologia, para a devida adequação de maneira a obter uma ótima precisão e acurácia no posicionamento de pontos de amostragem ou de referenciamento.

Isso significa que, tendo em vista o desenvolvimento da tecnologia GPS, os novos mapeamentos nas áreas de geologia e ambiental necessitam se adequar a ela, para a obtenção de mapas que contenham informações as mais precisas possíveis.

Referências Bibliográficas

- BLITZKOW, D. Navstar/GPS: um desafio tornado realidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 3, 1995, São Paulo. Anais. São Paulo, 1995.
- HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. e COLLINS, J. 1997. Global Positioning System: theory and practice. Springer Wien New York. p.386.
- LETHAM, L. GPS Made easy: using global positioning systems in the outdoors. Seattle: Published by The Mountaineers, 1996. p 112.

MONICO, J.F.G. 2000. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UNESP, p287.

SEEBER, G. Satellite geodesy: foundations, methods and applications. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. p 356.

SEGANTINE, P. C. L. 1999. GPS – Sistema de Posicionamento Global. Apostila didática da Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. p 181.