

CONCEITOS INICIAIS DE GPS

RESUMO

Este trabalho constitui uma síntese dos conceitos básicos do sistema GPS, abordado no I SEMINÁRIO REGIONAL SOBRE TOPOGRAFIA CONTEMPORÂNEA, realizada nesta capital no período de 18 a 22/08/97. A divulgação destas primeiras noções sobre o GPS, visto naquele evento, tem a intenção de contribuir para despertar maior interesse por esta nova tecnologia, pois observa-se no meio universitário que não foi dada ainda a importância que este assunto merece.

O avanço da eletrônica aliado ao desenvolvimento de medidas de distância através de sinais emitidos por satélites, permitiu que o GPS (Global Positioning System) exercesse a grande importância alcançada em todos os campos de atividades que necessitam da posição de pontos. Pode-se dizer que o sistema superou as expectativas iniciais e hoje representa um grande sucesso em diversos setores, como navegação, mapeamento, hidrologia, cadastro, levantamentos geodésicos, topográficos e muitos outros.

ABSTRACT

This work constitutes a synthesis of the basic concepts of the system of GPS, introduced in the FIRST REGIONAL SEMINAR IN CONTEMPORARY TOPOGRAPHY, accomplished in Fortaleza in the period of 18 to August 22, 1997. The publication of these first notions in GPS, shown in that event, has the intention of contributing to wake up larger interest for this new technology, because it is observed in the university community that was not still given the importance that this subject deserves.

**Francisco Carvalho de
Cerqueira**

Engenheiro Civil
Professor da UNIFOR
Disciplinas: Topografia
Técnica e Economia dos
Transportes
Especialização: Pavimen-
tação Rodoviária
Economia Rodoviária.

INTRODUÇÃO

A necessidade de posicionamento para fins de navegação

dos navios de guerra dos Estados Unidos, contribuiu para o estabelecimento de programas de pesquisa, resultando em 1964, na

criação do sistema de navegação por satélites artificiais, que foi denominado de programa **Transit**.

O posicionamento pelo sistema **Transit** baseia-se no efeito Doppler, isto é, no fenômeno que acontece quando uma fonte geradora de sinal (ondas sonoras ou eletromagnéticas) e o seu receptor se aproximam ou se afastam um do outro, onde se observa que a frequência será respectivamente maior ou menor do que aquela emitida pela fonte. Este sistema é constituído por uma constelação de 6 a 7 satélites, sendo utilizados 3 em cada operação.

O transit apresentou a desvantagem de necessitar um longo tempo de espera, sendo que para fins de levantamento ocupava período de 4 a 6 dias em um ponto.

Face às limitações existentes no sistema Transit, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, em parceria com outros órgãos de interesses comuns, se organizaram com o objetivo de investigar a viabilidade de sistemas de satélites para comunicação, transferência precisa de tempo e controle de tráfego aéreo.

Em 1973 a Marinha Americana e a Força Aérea formularam os projetos **Timation Program** e **System 621-b**. A união dos dois programas deu origem a um projeto final, denominado **NAVSTAR – GPS** (NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System), mais conhecido por **GPS**.

SISTEMA GPS

O GPS é formado por uma constelação de 24 satélites, distribuídos em 6 planos orbitais (4 satélites em cada), inclinados 55° em relação ao Equador, realizando voltas completas ao redor da terra a cada 12 horas. Foi projetado de modo que em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento, no decorrer das 24 horas, existam pelo menos 4 satélites acima do plano horizontal que passa pelo receptor. Esta situação garante a condição geométrica mínima necessária para possibilitar o posicionamento durante as 24 horas do dia.

O GPS tem a grande vantagem de determinar, em repouso ou em movimento (GPS estático ou cinemático), as coordenadas da posição de pontos, medidos em tempo real, com dispositivos que podem até ser portados na

mão. Seu princípio básico é a triangulação, tendo como objetivo calcular as coordenadas de um ponto desconhecido, medindo a sua distância a partir de pontos de coordenadas conhecidas. O ponto desconhecido é aquele onde se encontra o receptor GPS e os pontos de coordenadas conhecidas são os satélites, que giram a uma distância superior a 20 mil quilômetros acima da superfície da terra.

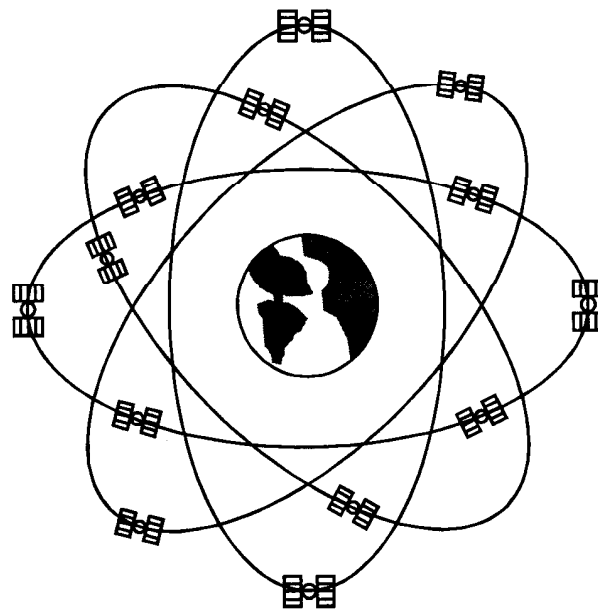


Figura 1

As coordenadas são referidas a um sistema global, que tem por origem o centro da terra, com o eixo **X** e o eixo **Y** contidos no plano do equador, sendo que o eixo **X** tem longitude 0° , e o eixo **Y** longitude de 90° E e o eixo **Z** coincide com o eixo polar (eixo de rotação da terra).

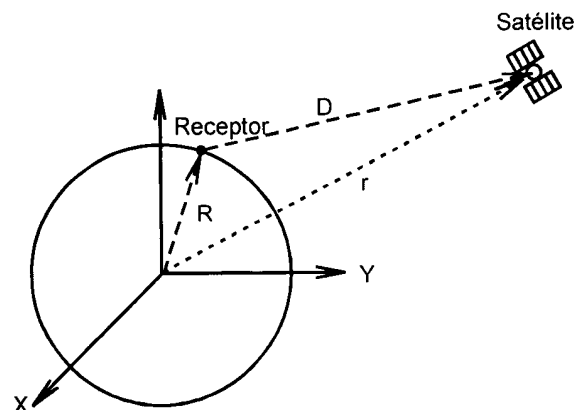


Figura 2

De cada satélite pode-se conceber um triângulo constituído de 3 vetores, conforme representado na figura 2. O vetor **R** liga a origem a antena do receptor, o vetor **r** liga a origem ao satélite e o vetor **D** liga a antena do receptor ao satélite (distância medida através do sinal emitido pelo satélite é captado pelo receptor).

O cálculo do comprimento do vetor **D** baseia-se na fórmula $d = vt$ (distância = velocidade x tempo), onde v é a velocidade com a qual se deslocam as ondas eletromagnéticas, a mesma da velocidade da luz (299.792,458 km/s). Para calcular o tempo, torna-se necessário saber quando foi emitido o sinal pelo satélite e quando este chegou ao receptor GPS. As medidas de tempo devem oferecer alta precisão, pois a diferença de um milésimo de segundo causaria um erro de 300 quilômetros. Os satélites são equipados com relógios atômicos que oferecem precisão de 10^{-13} s; já os relógios dos receptores que normalmente são de quartzo (pois os relógios atômicos são pesados e caros), não oferecem a mesma precisão, surgindo em decorrência, um erro de sincronismo entre eles.

Conhecendo-se os vetores **r** e **D** calcula-se o vetor **R**

$$\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{D}$$

Com um único satélite não é possível definir a posição exata do observador, pois o receptor pode ser um ponto qualquer da superfície de uma esfera que tem por centro o satélite e por raio a distância **D** (medida através do sinal). Para se obter a solução geométrica, precisa-se realizar medidas do receptor a três satélites, cada uma dessas medidas gera uma equação, portanto com os três satélites forma-se um sistema de três equações com três incógnitas. A solução deste sistema permite determinar as coordenadas tridimensionais do receptor, só que os valores obtidos não estão corretos, pois os respectivos tempos medidos em relação a cada satélite, apresentam uma defasagem devido a falta de sincronismo entre os relógios dos satélites e o do receptor. Para corrigir o erro de sincronismo, torna-se necessário realizar a medida de tempo em relação a um quarto satélite. Feita a análise do conjunto, verifica-se que não existe nenhuma posição que atenda simultaneamente as quatro medidas. O receptor GPS procura anular este erro recalculando o tempo com base na informação obtida do quarto satélite.

Para cada satélite, a equação que relaciona as coordenadas do receptor (X_r, Y_r, Z_r), a distância "D" entre o receptor e o satélite, e as coordenadas do satélite (X_s, Y_s, Z_s) são dadas por:

$$D^2 = (X_r - X_s)^2 + (Y_r - Y_s)^2 + (Z_r - Z_s)^2$$

Os três satélites geram três equações semelhantes a esta. Resolvendo o sistema, obtêm-se os valores de X_r, Y_r e Z_r .

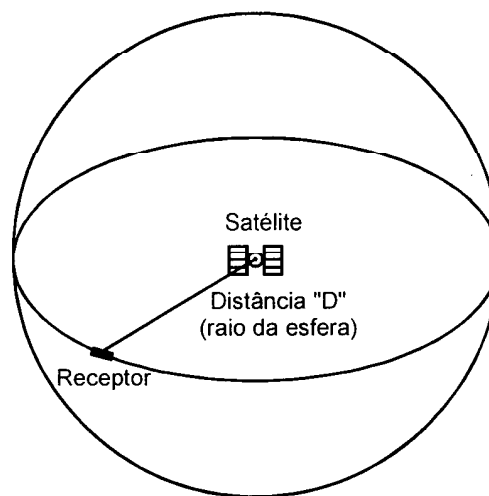


Figura 3

O SINAL GPS

O sinal GPS gerado e transmitido pelos satélites é formado de códigos e ondas portadoras. As ondas portadoras são oscilações eletromagnéticas que chegam às antenas dos receptores em duas frequências básicas de 1575 Mhz e 1227 Mhz, conhecidas como L1 e L2 respectivamente. Os códigos são seqüências binárias (zero e um) impressas sobre as portadoras por um processo conhecido como modulação em fase.

Os dados emitidos pelos satélites contêm muitos tipos de informações, como a posição dos satélites, parâmetros de correção das influências atmosféricas e outras necessárias ao posicionamento do usuário (antena do receptor). Grande parte dos receptores não estão capacitados a armazenar todo o conteúdo das informações disponíveis, limitando-se a receber somente aquelas exigidas para determinar o posicionamento, adequado para as aplicações

visadas. Alguns receptores comuns estão aptos a receber somente dados de códigos, outros mais sofisticados, possibilitam receber dados de ondas portadoras e dados de códigos. Na obtenção de dados através de um receptor GPS, é importante considerar a existência do relacionamento entre o tempo de coleta, a precisão desejada e o custo do equipamento. A escolha do receptor deve ser feita objetivando a natureza da aplicação e considerando-se o intercâmbio entre estes três fatores.

GPS DIFERENCIAL

O posicionamento de pontos através do GPS, feito com um único receptor, não é exato, devido a efeitos que degradam a sua precisão. As influências ionosférica e troposférica podem afetar a velocidade do sinal (a velocidade da luz só é constante no vácuo). Erros nos relógios atômicos dos satélites fazem com que os sinais sejam emitidos incorretamente.

Muitos tipos de erros podem ser corrigidos pelo receptor em tempo real ou na fase de pós-processamento através de software adequado. Porém existe um tipo de erro que não pode ser corrigido quando se emprega um único receptor, pois decorre de uma degradação intencional, introduzida pelos próprios responsáveis do sistema.

O GPS foi construído pelo Departamento de Defesa dos EUA com o objetivo inicial puramente militar. Observou-se, no entanto, que esta tecnologia poderia servir para aplicações de interesse comercial o que de fato ocorreu. Devido as suas características estratégicas, o sistema foi submetido a algumas restrições para distinguir a precisão alcançada pelos militares das que seriam obtidas pelos usuários civis. Com este objetivo os satélites GPS transmitem dois tipos de sinais: um código de precisão (código P), disponível somente para uso militar e um código menos preciso (código C/A), disponível para a comunidade civil. Pretendendo proteger o sistema contra nações inimigas o Departamento de Defesa degradou mais ainda o código C/A utilizando uma técnica chamada de disponibilidade seletiva, conhecida como SA (Selective Availability), que consiste em falsear a mensagem transmitida, ocasionando erro na precisão das órbitas e nos relógios dos satélites.

Embora o SA seja um erro que pode resultar numa diferença de ordem de 100 metros, existem métodos capazes de realizar medições de alta precisão. Esses métodos podem variar em termos de sofisticação e técnica, mas todos têm por base um mesmo conceito, o GPS Diferencial (DGPS).

O princípio de funcionamento do DGPS consiste em realizar correções nos erros do sistema utilizando dois receptores, sendo um fixo em um ponto de coordenadas conhecidas, geralmente denominado de estação base e outro móvel (estação itinerante), passando pelos pontos que se pretende medir. Considerando que o erro verificado nas duas posições (fixa e móvel) são iguais, pode-se eliminar o da estação itinerante por diferença das observações. O DGPS calcula os erros resultantes ao medir a posição do ponto da estação base (de coordenadas conhecidas) e em seguida aplica a diferença verificada na correção dos pontos que estão sendo medidos.

A precisão que será obtida vai depender do tipo de receptor empregado. Se o receptor itinerante gravar dados de código, após o processamento simultâneo dos dados da base e do itinerante, pode-se obter precisão de 5 a 0,3 metros, dependendo da qualidade do instrumento. Para aplicações que necessitem de maior precisão, como levantamentos geodésicos e topográficos, deve-se empregar receptores que possam receber as duas ondas portadoras, L1 e L2.

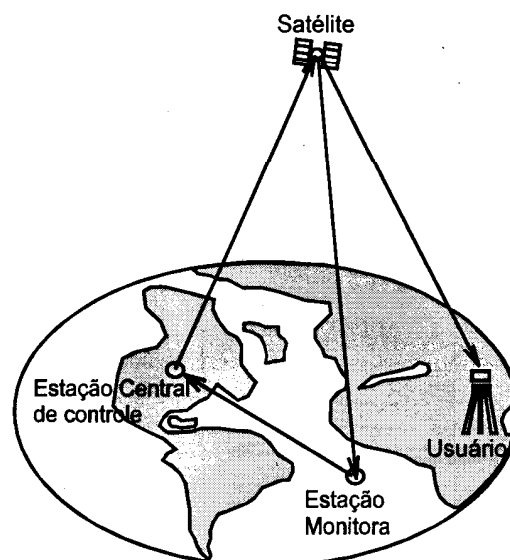


Figura 4

SEGMENTO DE CONTROLE

Para melhor identificar os parâmetros que afetam o funcionamento do sistema, o GPS foi dividido em três segmentos: espacial, de controle e do usuário.

Os conceitos até aqui abordados referem-se: ao segmento espacial, constituído da constelação dos 24 satélites e do segmento do usuário, formado por todos os usuários do sistema. O segmento de controle é constituído de estações monitoras distribuídas adequadamente sobre a superfície terrestre e uma estação central de controle localizada em Colorado Springs nos EUA. O objetivo deste segmento consiste em monitorar as condições de operação dos satélites e coletar dados meteorológicos para encaminhá-los à estação central de controle. Esta se encarrega da predição das órbitas, calcula a correção aos relógios dos satélites e das condições ionosféricas. A mensagem atualizada é, então, transferida para os satélites e destes para os receptores dos usuários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso do GPS vem se consolidando mundialmente como um poderoso sistema

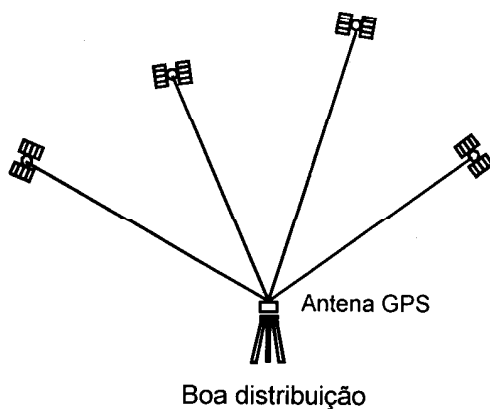


Figura 5

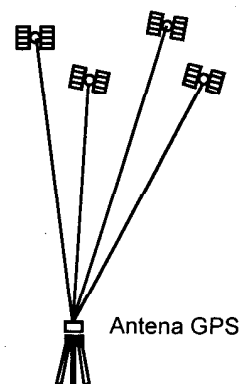
O posicionamento de pontos na superfície terrestre através de suas coordenadas (latitude, longitude e altitude) utiliza como elipsóide de referência, o WGS-84 (World Geodetic System). O elipsóide de referência adotado no Brasil é o SAD-69 (South American Datum). Este fato traz como consequência a necessidade de transformar os resultados obtidos para o siste-

de posicionamento, especialmente nas aplicações geodésicas e topográficas. Entretanto, para que o sistema possa funcionar a contento, algumas exigências devem ser atendidas, tais como:

- Apresentar janelas de observação com disponibilidade de satélites em quantidade suficiente, possibilitando o rastreamento simultâneo de pelo menos quatro.
- Contar com satélites "saldáveis", isto é, em plenas condições de operação.
- Evitar a aproximação de objetos altos que possam refletir os sinais, tais como edifícios e torres, para evitar o problema conhecido por multicaminhamento.

O posicionamento com o GPS não exige intervisibilidade entre os pontos, mas exige que não haja obstrução acima de 20°, para que não ocorram prejuízos nas recepções dos sinais.

Uma das condições de grande importância na avaliação da qualidade do posicionamento GPS, consiste na influência da geometria dos satélites localizados acima do horizonte do observador. Quanto mais bem distribuídos estiverem em relação ao receptor, melhor será a definição geométrica da estação.



Má distribuição

ma SAD-69, o que é feito na fase de processamento dos dados coletados. A determinação de altitude pelo GPS fornece resultados em relação ao elipsóide, como a forma da terra, que serve de referência para determinação de alturas, é o geóide, deve-se realizar transformações utilizando o mapa Geoidal do Brasil, publicado pelo IBGE.

Comparação entre os elementos dos elipsóides WGS-84 e SAD-69.

a = semi-eixo maior

b = semi-eixo menor

f = achatamento = (a-b)/a

ELEMENTOS	WGS-84	SAD69
a	6.378.137,00m	6.378.160,00m
b	6.356.752,31m	6.356.774,72m
1/f	298,2572235630	298,25

Finalizamos transcrevendo as perspectivas do Engenheiro Cartógrafo Luciano Monteiro C. Pessoa, feitas a revista **FATOR GIS**, nº 2, setembro de 1993: "Não temos dúvida sobre o caráter revolucionário do GPS em relação a tudo que tem a ver com posicionamento de alta precisão. Assim, em futuro próximo, estarão sendo substituído em sua totalidade os métodos convencionais de levantamento geodésico e topográfico".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PESSOA, Luciano M. Cunha. GPS Na Selva

Amazônica. Revista **FATOR GIS**, nº 02, 1993. Sagres Editora, Curitiba – Pr.

CURSO GPS. Revista **RELATO GPS**, nº 02, julho/67, Editora e Livraria Luana Ltda.

GODOY, René Zepeda. GPS – Conceitos Básicos. **Apostilha sobre GPS** do I Seminário Regional Sobre Topografia Contemporânea, realizado em Fortaleza (Ce) de 18 a 22/08/97.

LOCH, Carlos – CORDINE, Jucilei. **Topografia Contemporânea (Planimetria)**, Editora da UFSC, 1995.

PESSOA, Luciano M. Cunha. Efeitos que Degradam a Precisão do GPS. Revista **FATOR GIS**, nº 17, Janeiro/Fevereiro – 1997, Sagres Editora, Curitiba – Pr.

PESSOA, Luciano M. Cunha. Desvendando o Sinal GPS. Revista **FATOR GIS**, nº 18, Março/Abril – 1997, Sagres Editora, Curitiba – Pr.

KRISHOCK, Dan. A odisséia e o GPS. Revista **CADXPRESS**, nº 6, 1997. VM Planejamento Editorial Ltda, São Paulo – SP.

PESSOA, Luciano M. Cunha. Questão de Hora e Lugar. Revista **FATOR GIS**, nº 20, Ago/Set/Out. – 1997, Sagres Editora, Curitiba – Pr