

GPS (*GLOBAL POSITIONING SYSTEM*) – SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

Ricardo José Vaz Tolentino

GPS é um sistema de radio-navegação baseado no uso de satélites na órbita da Terra, estações fixas de monitoramento e receptores

móveis, desenvolvido e controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte (DOD - *Department of Defense*), que

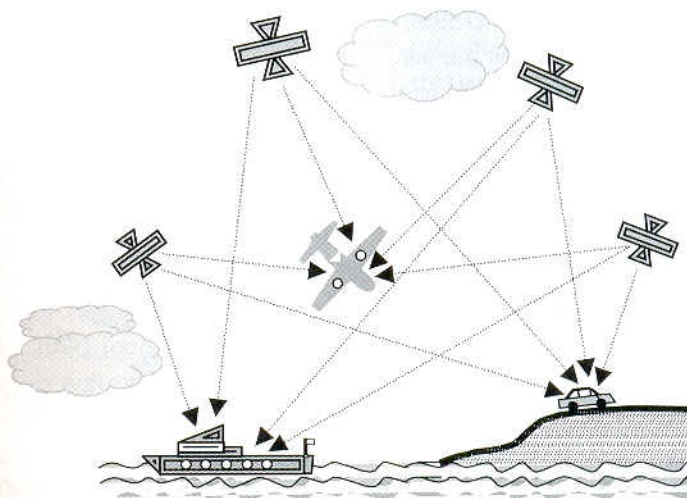


Fig. 1: Navegação com GPS: no ar, na terra e no mar

permite, em qualquer parte do planeta, aos usuários que estejam no ar, terra ou mar, determinar (para orientação da navegação) sua posição tridimensional (latitude, longitude e altitude), velocidade de deslocamento, distância percorrida e tempo, além de outras informações, 24 horas por dia, livre de taxas e em qualquer condição climática.

O nome GPS originou-se da simplificação da sigla do projeto militar norte-americano Navstar GPS (*NAVigation satellite timing and ranging – global positioning system*).

Segundo Rocha (2000), GPS é um sistema de posicionamento global via satélite elaborado inicialmente para aplicação no mundo militar (lançamento de bombas, direcionamento de mísseis balísticos, etc.), introduzido em 1973.

De acordo com Silva (1995), o sistema é composto de três partes ou segmentos, a saber: segmento espacial, segmento de controle e segmento do usuário.

Segmento espacial

Formado por uma constelação de 24 satélites não geostáticos, ou seja, que se movimentam girando ao redor da Terra, em seis órbitas diferentes, com quatro satélites por órbita. Os satélites GPS, também conhe-

cidos como SV (*Space vehicles* – veículos espaciais), perfazem a órbita a cada 12 horas, ou seja, duas vezes ao dia, a uma altitude de 20.200 km (aproximadamente 11.000 milhas náuticas) e estão inclinados 55 graus em relação à linha do Equador.

A velocidade orbital da Terra é 29,8 km/s e a dos satélites GPS de aproximadamente 60 km/s, fazendo com que estes percorram duas voltas em torno da Terra a cada 24 horas.

Os satélites GPS estão espaçados de forma organizada nos planos de órbitas, de modo a proporcionar uma cobertura de pelo menos seis satélites na área de visão do receptor GPS, mesmo nos lugares mais remotos do planeta. Isso é mais que suficiente, pois apenas quatro satélites são requeridos para uma determinação tridimensional (latitude, longitude e altitude) de posição.

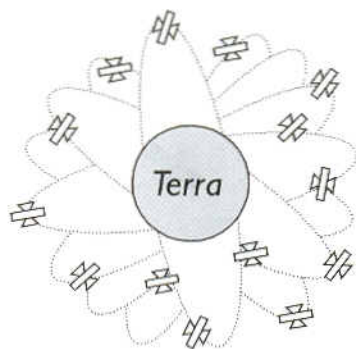


Fig. 2: Constelação de satélites GPS: 24 satélites em órbita da Terra a 20.200 km de altitude.

Os satélites GPS foram fabricados pela *Rockwell International*, *General Electric Astrospac*e e outras grandes empresas do ramo.

Cada satélite possui painéis solares para fornecimento de energia, quatro relógios atômicos, equipamentos de computação e comunicação e baterias recarregáveis para os períodos de eclipse.

O sistema GPS opera com relógios atômicos que consistem no ponto principal do projeto. O tempo é controlado por relógios atômicos instalados a bordo dos satélites e nas estações de monitoramento em terra. Quatro relógios por satélite mantêm tudo funcionando com a mais absoluta precisão. Esses relógios não funcionam com energia atômica, mas usam a precisão das oscilações atômicas do rubídio e do césio para manter a precisão de funcionamento.

Os satélites GPS transmitem continuamente sinais de rádio (que viajam à velocidade da luz) que levam somente seis centésimos de segundo para atingir o receptor GPS no solo. Os sinais são emitidos em duas frequências diferentes na faixa UHF (*Ultra High Frequency*) e, até 1º de maio de 2000 (conforme veremos adiante), o sistema funcionou em dois níveis diferentes de serviço (diferenciados pela precisão), definidos para duas áreas específicas: militar e civil.

Militar: nível conhecido como “posicionamento de precisão”, que usa as duas frequências UHF transmitidas pelos satélites. Esse posicionamento é bastante preciso e somente acessado por usuários com autorização munidos de receptores especialmente equipados para decifrar a criptografia específica da segurança desse nível de sistema. É utilizado pelo Departamento de Defesa dos EUA em operações bélicas, além de algumas agências de Estado e usuários civis especificamente aprovados (laboratórios, observatórios) pelo governo americano.

Civil: nível conhecido como “posicionamento standard ou padrão”, que usa apenas uma frequência UHF. É utilizado por usuários civis em todo o mundo sem cobrança ou restrições. Esse posicionamento tinha sua precisão intencionalmente afetada (precisão até 10 vezes menor que no uso militar, chegando a 100 metros horizontalmente e 156 metros verticalmente) por um erro artificial inserido, através de um recurso chamado SA (*Selective availability* – disponibilidade seletiva), tecnicamente imposto por motivos de segurança nacional, para evitar o uso do sistema GPS por terroristas ou nações inimigas, no lançamento de bombas e mísseis balísticos.

Como veremos adiante, o erro de “disponibilidade seletiva” já não mais existe, pois foi revogado por

um decreto do então Presidente dos Estados Unidos, Bill Clinton, em 1º de maio de 2000. Isso fez com que a exatidão da determinação de posicionamento para receptores civis melhorasse na ordem de 10 vezes (exatidão de cinco a 10 metros horizontalmente e oito a 15 metros verticalmente), dependendo do local e da qualidade de captação dos sinais, da geometria dos satélites e da qualidade do equipamento utilizado.

Segmento de controle

Todos os 24 satélites são controlados pelo segmento de controle (estações de monitoramento) em ter-

ra. As estações terrestres, sob o controle do DOD, têm o objetivo de monitorar, corrigir e garantir o perfeito funcionamento do sistema GPS, podendo, inclusive, modificar parâmetros orbitais.

O controle é feito por uma estação *master*, localizada no Estado do Colorado, nos EUA. Essa estação é responsável por monitorar o rastro dos satélites com o auxílio de mais cinco estações secundárias de apoio, espalhadas pela Terra, processando os dados e enviando a correção e sinais de controle para os satélites. O segmento de controle monitora a performance total do sistema, corrige posições dos satélites e reprograma o sistema com o padrão necessário.

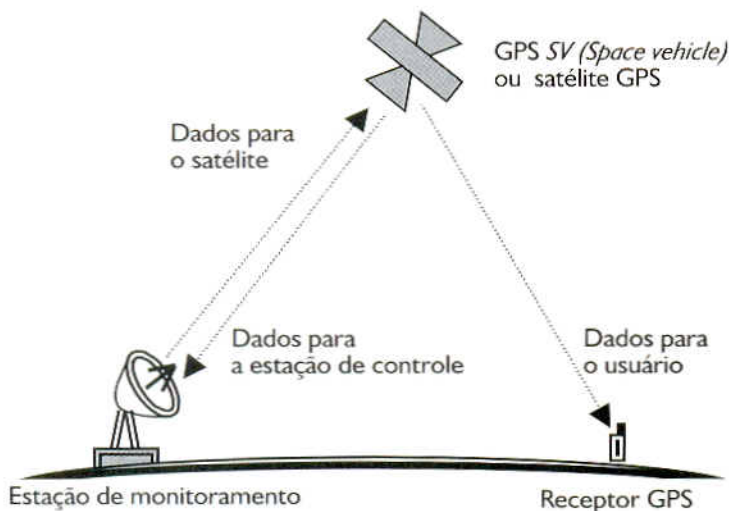


Fig. 3: Controle e uso do sistema GPS

De acordo com Silva (1995), os locais onde estão instaladas as estações de monitoramento são: Colorado Springs (EUA - Estação *master*), Ilha de Ascención (Atlântico Sul), Diego Garcia (Oceano Índico), Kwajalien (Oceano Pacífico), Cabo Kennedy (Flórida - EUA), Hawaí (EUA - Oceano Pacífico).

As posições geográficas das estações de monitoramento foram estrategicamente escolhidas para oferecer um acompanhamento constante de cada satélite do sistema GPS.

Segmento do usuário

Esse segmento é formado pelos receptores GPS (*GPS receivers*), que podem variar de tamanho, modelo, fabricante e qualidade de recepção, e a comunidade de usuários. O receptor GPS é um equipamento que converte sinais de rádio vindos dos satélites para determinar a posição geográfica de um ponto no globo terrestre, de forma a orientar a navegação, que pode ser terrestre, aérea ou náutica.

Os sinais de rádio são codificados, gerados na mesma velocidade de propagação e emitidos simultaneamente pela constelação de 24 satélites das forças armadas americanas que orbitam o planeta Terra. Pelo menos três satélites são necessários para o cálculo da localiza-

ção bidimensional (2D - latitude e longitude) e um quarto satélite para o cálculo tridimensional (3D - latitude, longitude e altitude). Como o receptor GPS conhece as exatas localizações dos satélites transmissores de sinais, a velocidade das ondas de rádio e o lapso de tempo entre a emissão e recepção de sinais, consegue, então, através desses parâmetros, calcular sua localização usando um processo matemático conhecido como triangulação.

O cálculo é executado no receptor GPS através de um microprocessador interno. Como os sinais são captados a cada instante, através do processo de triangulação e da relação tempo/distância/deslocamento, muitas informações poderão ser obtidas e calculadas pelo receptor GPS, tais como velocidade de deslocamento, tempo estimado de chegada a um determinado ponto (*ETA - Estimated time of arrival*), distância da posição atual até o próximo ponto da rota (*Dist to next*), hodômetro (distância viajada corrida baseada nas posições lidas segundo a segundo) e muito mais.

História do desenvolvimento do sistema GPS

Durante a segunda guerra mundial foi desenvolvida a capacidade de medir lapsos de tempo en-

tre emissão e recepção de ondas de rádio, o que permitiu a criação do Radar (*Radio detection and ranging*). A partir daí, novas pesquisas foram desenvolvidas.

Como já dito, o sistema GPS teve sua origem num programa militar americano. Desde 1960 a força aérea americana (USAF) e a marinha americana (USN) têm trabalhado em estudos e pesquisas com o objetivo de desenvolver um novo e sofisticado meio de navegação utilizando sinais emitidos por satélites.

A marinha patrocinou dois programas denominados Transit e Timation, que tinham como princípio o uso de coordenadas planimétricas (2D - latitude e longitude).

Na mesma época, a força aérea desenvolveu estudos no uso de coordenadas espaciais (3D - latitude, longitude e altitude), denominando o projeto de 621B.

Em 1973 determinou-se a fusão dos programas Timation (marinha) e 621B (força aérea), originando, assim, o Navstar GPS (*NAVgation satellite timing and ranging global positioning system*). A partir daí, definiram-se três fases para o programa:

1ª fase: iniciou-se em dezembro de 1973 e concretizou-se com a concepção final dos estudos, o projeto de performance do siste-

ma e a real viabilidade do projeto. Essa fase finalizou-se em 1979.

2ª fase: iniciou-se em 1979 com o desenvolvimento e teste dos equipamentos GPS. Essa fase durou até 1985.

3ª fase: iniciou-se em 1985 e caracterizou-se pela produção dos aparelhos GPS e a finalização da rede de satélites. A constelação completou-se com os 24 satélites e, dessa maneira, o sistema passou a proporcionar uma cobertura completa (conhecida como FOC - *Full operational capability*) pela operação simultânea de todos os satélites. Attingiu a sua configuração final em 1994.

O sistema, originalmente projetado para uso militar, foi liberado para o uso civil em 1980, por uma decisão do então presidente dos EUA, Ronald Reagan. Nessa época, para resguardar a segurança interna do país, o Departamento de Defesa dos EUA implantou um erro artificial no sistema chamado "disponibilidade seletiva", especificamente para os GPS de uso civil, criando assim dois tipos de precisão, um para uso militar e outro para uso civil. Os receptores GPS militares ficaram com precisão abaixo de um metro e os de uso civil, de aproximadamente 100 metros para localizar um ponto sobre a superfície da Terra.

O constante desenvolvimento tecnológico permitiu ao Departamento

mento de Defesa dos EUA degradar o sinal do sistema GPS onde e quando os interesses americanos exigissem, enquanto o restante dos usuários, em outras regiões, continuariam a operar normalmente. Isso fez com que em 1º de maio de 2000, o erro de “disponibilidade seletiva” fosse cancelado por um decreto do então presidente Bill Clinton. A partir de então, o erro na localização dos receptores GPS (também conhecido como erro de posição estimado – *Estimated position error* ou EPE) de uso civil passou para a faixa dos cinco a dez metros.

Os motivos apresentados pelo governo americano para eliminar o erro de “disponibilidade seletiva” foram: aumentar a base de usuários civis do sistema (interesse comercial), aumentar a segurança da navegação global aérea, marítima e terrestre, além dos interesses de caráter científico.

Quem acaba lucrando com isso é o mercado americano na forma de mais empregos nesse segmento. Além disso, trata-se de uma atitude estratégica, consolidando ainda mais, através da difusão internacional, a arquitetura GPS como um padrão mundial, exigindo maior esforço de outros países na implantação e consolidação de seus sistemas de posicionamento global como o Glonass (*GLOBAL NAVIGATION satellite system*) da Rússia e o sistema Galileo (ainda em fase inicial) da União Européia.

De acordo com Rocha (2000), o Glonass foi desenvolvido pela antiga União Soviética também com finalidades bélicas. Porém, desde 1988 os dados desse sistema têm sido usados internacionalmente por civis. Mas nem todo o potencial do sistema tem sido devidamente explorado, devido a fatores políticos e comerciais (não há investimento na disseminação de informações para criar credibilidade perante empresas e usuários). Tecnicamente existem poucos receptores no mercado habilitados a receber os seus sinais.

Os satélites Glonass foram lançados em órbitas circulares, inclinadas em 64,8º, na altitude aproximada de 19.100 km ou 11.000 milhas náuticas acima da superfície da Terra. A partir de 1995 a constelação passou a ser formada por 24 satélites, distribuídos em três planos orbitais.

Segundo Kazmierczak & Escada (1995), um estudo comparativo entre os dois sistemas realizado na Europa, em 1994, demonstrou que, para aquela região, a precisão do Glonass era superior à do GPS.

Segundo Rocha (2000), a União Européia iniciou o desenvolvimento do sistema Galileo em 2000, com financiamento da Agência Espacial Européia – ESA e da Rede de Transportes da Europa – *Trans european networks*, cooperação da

Rússia, Canadá, Japão e parceria de empresas privadas.

Potência dos sinais e antenas receptoras

Os sinais de rádio emitidos pelo satélite são de alta frequência, modulados e enviados através de duas ondas portadoras senoidais (1.575,42 MHz e 1.227,60 MHz), geradas pelo relógio do satélite. A potência de transmissão dos sinais é de apenas 50 watts. Esses sinais de baixa potência emitidos continuamente e que portam poucas informações são receptados a cada instante pelos GPS. Quando em deslocamento, o aparelho GPS reposiciona-se a cada instante, criando uma seqüência de posições ou *waypoints*, permitindo, assim, navegando em tempo real, a "plotagem" da trilha percorrida (*track log*) em sua memória e a definição da direção de deslocamento. Os sinais dos satélites são captados através de antenas com dimensões reduzidas, do tamanho de um batom. As antenas dos receptores GPS podem ser de dois tipos:

- *Quadrifilar helix*: tem formato retangular e localização externa, podendo ser giratória, detectando melhor os satélites localizados bem próximos ao horizonte.
- *Patch ou microstrip*: menor que a *helix* e com localização interna, po-

dendo detectar satélites na vertical e a 10° acima do horizonte.

Antenas externas podem ser conectadas através de uma extensão à maioria dos receptores. Isso é muito útil para instalação num automóvel, evitando que um GPS sem antena externa tenha que ser posicionado para fora do veículo ou bem próximo ao pára-brisa.

Conteúdo informacional dos sinais gerados pelos satélites

Os sinais contêm um "código de identidade" (*pseudo-random code* - PRN - código pseudo-randômico) do satélite, dados de status do sistema, hora-padrão e dados do "almanaque". Os dados de "almanaque" informam ao microprocessador do receptor parâmetros de órbitas e onde procurar cada satélite a qualquer momento do dia. A hora-padrão é altamente precisa, porque cada satélite possui quatro relógios atômicos.

O bom funcionamento dos sinais enviados pelos satélites é garantido pelas estações terrestres de controle e monitoramento, que captam seus sinais enviando-lhes correções se necessário, cooperando, assim, na atualização dos almanaques.

Com base nos sinais enviados pelos satélites, cujo bom funcio-

namento é garantido pelas estações terrestres de controle, um receptor consegue determinar sua posição (latitude, longitude e altitude) e o instante de tempo.

Com um mínimo de três satélites, o receptor GPS pode determinar uma posição fixa 2D, ou seja, bidimensional (latitude e longitude). Com a recepção de quatro ou mais satélites, o GPS pode determinar uma posição fixa 3D, isto é, tridimensional (latitude, longitude e altitude).

Fatores que afetam a precisão

Erro de precisão do receptor GPS / EPE (*Estimated position error*)

A maioria dos receptores GPS possui uma tela com o índice EPE (*Estimated position error* - erro estimado de posição). EPE é o erro entre a posição fornecida pelo GPS e a real, em função de fatores como erros de natureza técnica nos receptores (qualidade), quantidade e nível dos sinais recebidos, fatores atmosféricos e ionosféricos (o pôr-do-sol provoca uma alta atividade ionosférica) e qualidade geométrica (DOP) dos satélites. Os erros ocorrem em um raio correspondente ao valor do EPE, que é oscilante, ou seja, em um raio de X metros. O ponto poderá se localizar em qual-

quer posição dentro desse raio, alterando-se a cada segundo.

Segundo Blackwell (1986), alguns dos erros que afetam os dados GPS são os seguintes:

Ionosfera: erro devido aos elétrons livres da ionosfera, região da atmosfera que se estende de 100 a 1000 km acima da superfície terrestre.

Troposfera: atraso na transmissão de sinal, devido aos componentes secos e úmidos dessa região da atmosfera. Segundo Leick (1994), a troposfera é a região gasosa da atmosfera, que se estende da superfície terrestre até próximo dos 40 km de altura e pode ser entendida como uma mistura de dois gases ideais, ou seja, vapores de água seca e úmida. Isso posto, o atraso na transmissão depende da temperatura, umidade e pressão, que variam com a altitude do local.

Erro do relógio do satélite: diferença entre o tempo do satélite e o tempo do sistema GPS.

Erro do relógio do receptor: diferença entre o tempo recebido e o tempo do sistema GPS.

Ruído do código no receptor: imprecisões na interpretação do código, devido ao ruído no receptor.

A leitura da altitude de um ponto (altitude em relação ao nível do mar), fornecida pelo receptor GPS, também é afetada pelo erro estima-

do de posição. O valor da diferença é de aproximadamente 1,5 vezes do EPE no ponto. Experiências mostram que quanto mais perto do nível do mar, maior será a variação do erro (as frequências dos sinais dos satélites serão afetadas / refratadas pela ionosfera e pela atmosfera em suas diversas camadas). Quanto mais alto for o ponto, menor será a variação do erro (os sinais atravessarão menos camadas da atmosfera).

O EPE pode ser medido em metros (*metric*), milhas náuticas (*nautical*) ou terrestres (*statute*).

DOP (*Dilution of precision*)

Um fator importante que afeta a precisão dos receptores GPS é a “geometria dos satélites”, ou seja, a localização dos satélites em relação uns aos outros sob a perspectiva do receptor GPS. Esse fator é conhe-

cido como “diluição de precisão” e é quantificado por um coeficiente DOP (*Dilution of precision*) ou GDOP (*Geometric DOP*). Quanto mais baixo for o coeficiente DOP (que varia de 1 a 10), melhor para a precisão, significando que os satélites estão “espalhados” pelo céu.

O DOP ou diluição de precisão quantifica a influência da geometria da constelação de satélites na precisão das coordenadas obtidas pelos receptores. Os valores do coeficiente DOP são dispostos numa escala de 1 a 10, sendo 1 a melhor posição e 10 a pior. Apesar disso, o DOP é uma grandeza adimensional, ou seja, sem unidades associadas aos valores.

O objetivo é a contínua avaliação da melhor ou pior distribuição de satélites acima do horizonte, indicando o melhor ou pior momento

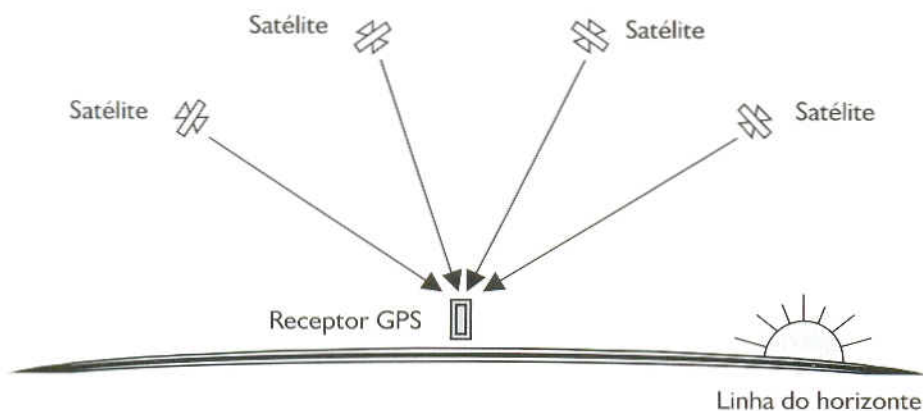


Fig. 4: Receptor GPS captando sinais dos satélites.

para a obtenção de uma posição. Por exemplo, se um receptor GPS estiver localizado sob quatro satélites e todos estiverem na mesma região do céu, sua geometria é pobre. Pode ocorrer a incapacidade de definição da localização por parte do receptor, pois todas as medidas de distância provêm da mesma direção geral, definindo, assim, uma triangulação pobre. Com os mesmos quatro satélites espalha-

dos em várias direções, a precisão aumentaria drasticamente.

Quanto maior o ângulo entre sinais (satélites mais próximos ao horizonte com outros mais altos), melhores serão a recepção e a precisão da posição de um ponto.

Normalmente, a “tela de visualização de captura de satélites” presente nos GPS informa o seguinte:

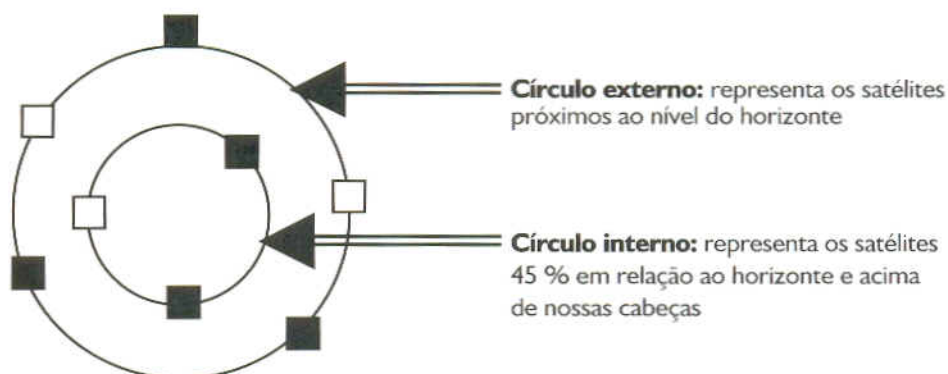


Fig. 5: Tela de “visualização de captura de satélites” num receptor GPS.

As barras correspondem aos satélites capturados com sucesso e à força dos sinais.

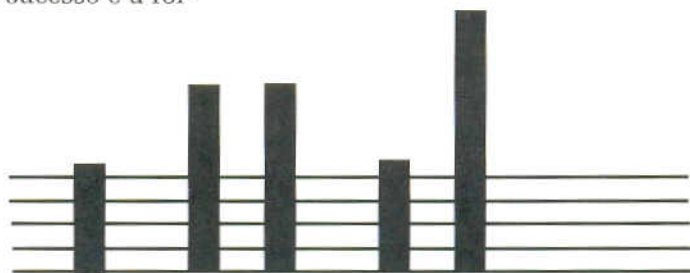


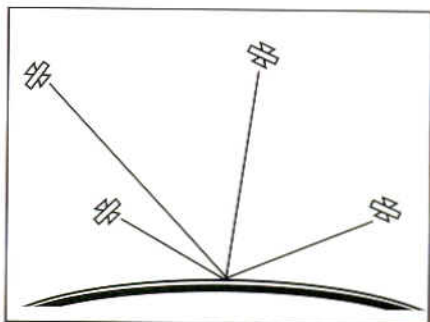
Fig. 6: Tela de visualização de “forças de sinais” dos satélites capturados num receptor GPS.

A geometria dos satélites torna-se importante principalmente quando se utiliza o receptor GPS próximo a edifícios, montanhas, vales, cânions ou florestas. Um receptor GPS de qualidade, em sua tela de status de recepção de satélite, indica não apenas os satélites disponíveis, mas também onde estão no céu (azimute e elevação), permitindo ao operador visualizar se um sinal de um determinado satélite está sendo obstruído.

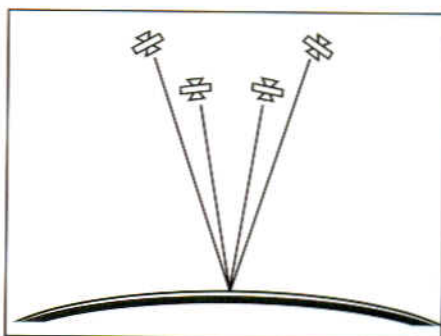
É desejável que um receptor rastreie mais de quatro satélites simultaneamente. Como o usuário se desloca, o sinal de algum satélite pode ser bloqueado repentinamente por algum obstáculo, restando satélites suficientes para orientá-lo. A maioria dos receptores pode rastrear até 12 satélites ao mesmo tempo. Rastrear satélites significa conhecer suas posições, mas não significa que o sinal de um determinado satélite está sendo usado no cálculo da posição. Muitos receptores calculam a posição com quatro satélites e usam os sinais de um quinto para verificar se o cálculo está correto.

DGPS (Differential GPS)

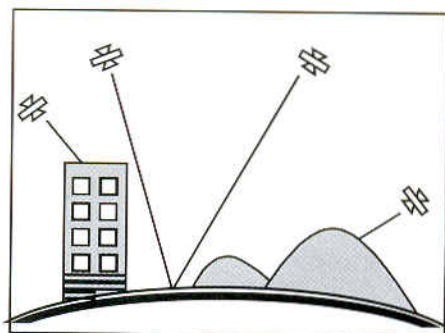
O DGPS ou GPS diferencial é um processo que permite ao usuário civil obter uma precisão de milímetros pelo processamento contínuo



DOP bom (baixo): satélites bem espalhados no céu.



DOP ruim (alto): satélites agrupados no céu



DOP bom mas "visibilidade" ruim. Más condições de "visibilidade" dos satélites prejudicam sua boa disposição geométrica.

de correções nos sinais dos satélites. É um sistema de aprimoramento de precisão do GPS, baseado em estações corretoras terrestres.

É uma técnica que faz uso de um receptor chamado "de referência" ou "base", estático, num ponto cuja posição (coordenadas) foi previamente determinada, para refinar a precisão da posição de outro receptor, no local de interesse, chamado de receptor "remoto". O esquema consiste em comparar constantemente a posição da estação "de referência" que é precisamente conhecida com a posição computada pelo receptor GPS da própria estação. Com base nisso é calculado o erro no sinal de navegação de cada satélite, e o fator de correção de erro é transmitido para o receptor usuário remoto, através de um canal específico. Em outras pala-

avras, a antena da estação-base recebe os sinais dos satélites, calcula os erros e os envia ao receptor remoto.

De acordo com Blitzkow (1998), podem ser derivadas correções para a posição ou para a distância.

Um provedor de correções para DGPS pode ser um receptor diferenciado e específico privado ou comercial (no caso do comercial, em alguns países, existem serviços de subscrição taxados) ou rádio-faróis da marinha. Em ambos os casos é necessário ter uma antena especial receptora DGPS conectada ao receptor GPS convencional ou um aparelho específico de custo maior. No Brasil, empresas privadas como a Omnistar, Racal e Fugro estão disponibilizando o DGPS através de redes de estações no país e na América do Sul.

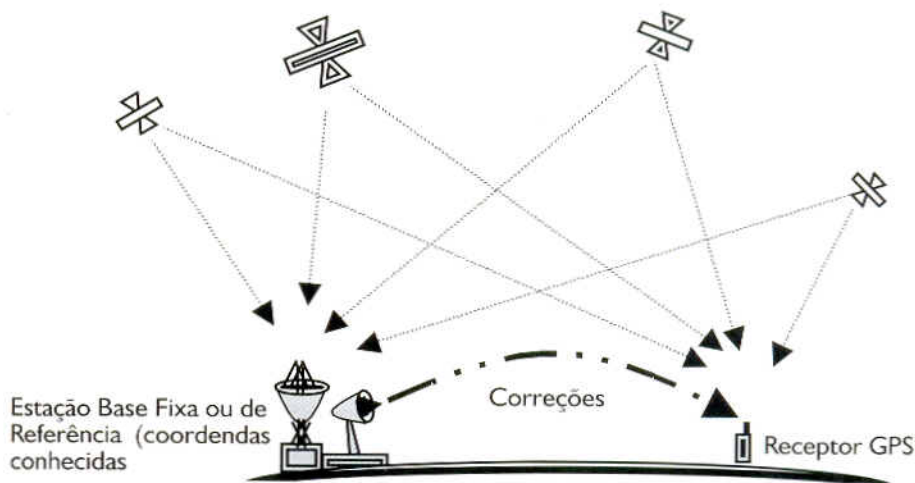


Fig. 8: Esquema de um sistema DGPS.

Segundo Rocha (2000), temos como aplicações para o sistema DGPS: agricultura de precisão; hidrografia; navegação aérea (em paralelo); navegação precisa em águas costeiras e aproximação ao porto; mapeamento do fundo oceânico; levantamentos sísmicos e gravimétricos; posicionamento de sensores submersos na prospecção mineral no mar; calibração de sistemas de retransmissão e outras aplicações.

Vantagens do GPS sobre os outros sistemas de navegação

- Funcionamento sob quaisquer condições meteorológicas;
- Funcionamento 24 horas por dia;
- Abrangência de todo o planeta;
- Baixo custo do aparelho receptor;
- Uso livre e gratuito dos sinais;
- Facilidade de operação e manutenção;
- Possibilidade de precisão milimétrica.

Aplicações do sistema GPS

- Navegação aeronáutica;
- Navegação náutica;
- Navegação terrestre no campo

(*trekkings*, expedições em veículos 4 x 4);

- Navegação terrestre urbana (carros com sistema GPS para orientar o deslocamento em grandes cidades, com mapas detalhados da cidade e pontos úteis como restaurantes, hotéis, *shoppings*, etc.);
- Agrimensura;
- Agricultura (máquina agrícola dotada de sistema gps armazena dados relativos à produtividade da lavoura da área trabalhada);
- Guarda de florestas;
- Trabalhos de prospecção e exploração de recursos naturais;
- Geólogos;
- Arqueólogos;
- Bombeiros;
- Localização para resgates e buscas (guiar helicópteros e ambulâncias);
- Lazer (caminhantes, ciclistas, balonistas, pescadores, ecoturistas e viajantes em geral).

Limitações do sistema GPS

O receptor GPS precisa de visão do céu para operar. Os sinais de satélite não penetram em vegetação densa, vales estreitos, cavernas ou na água. Montanhas próximas ou edifícios também afetam a precisão.

Para o uso em veículos, deve-se providenciar uma extensão para fixar antena externa ou posicionar o receptor junto ao pára-brisa, sendo desejável um adaptador para ligá-lo ao acendedor de cigarros.

Principais características de um receptor GPS

Os receptores GPS podem ser do tipo simples e portáteis, do tamanho de telefones celulares (como os do tipo *personal navigator*) ou os mais sofisticados, que equipam os carros modernos e aqueles mais específicos com computadores de bordo em aviões e navios.

Além de receber e decodificar os sinais dos satélites, os receptores permitem (devido ao microprocessador, memória e *software* internos) o uso de sistemas de medidas, sistemas de coordenadas, armazenagem de dados, troca de dados com outro receptor ou com um computador, armazenamento de mapas em sua memória, etc.

Mais do que indicar a localização de um ponto do globo terrestre, definida a partir de coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), um receptor GPS pode também fornecer outras informações importantes ao usuário. Algumas delas estão listadas a seguir:

- Velocidade de deslocamento (*speed*);
- Velocidade média desde o início do deslocamento (*average speed*);
- Velocidade máxima desde o início do deslocamento (*max speed*);
- Direção de deslocamento ou proa (*heading*);
- O rumo que se deve manter para chegar ao destino (sistema com “seta direcional”);
- A direção angular entre sua localização e o destino (*brg - bearing*);
- Hora e data com precisão de relógio atômico;
- Hora, minuto e segundo do nascimento do sol no ponto em que se está (*sunrise*);
- Hora, minuto e segundo do pôr-do-sol no ponto em que se está (*sunset*);
- Tempo de viagem desde o início do deslocamento (*trip time*);
- Distância percorrida desde o início do deslocamento (*trip odometer*);
- Tempo estimado requerido para alcançar um destino (*eta - estimated time of arrival ou time to dest*).

A figura 9 mostra o esquema da arquitetura interna (*hardware* genérico) de um receptor GPS.

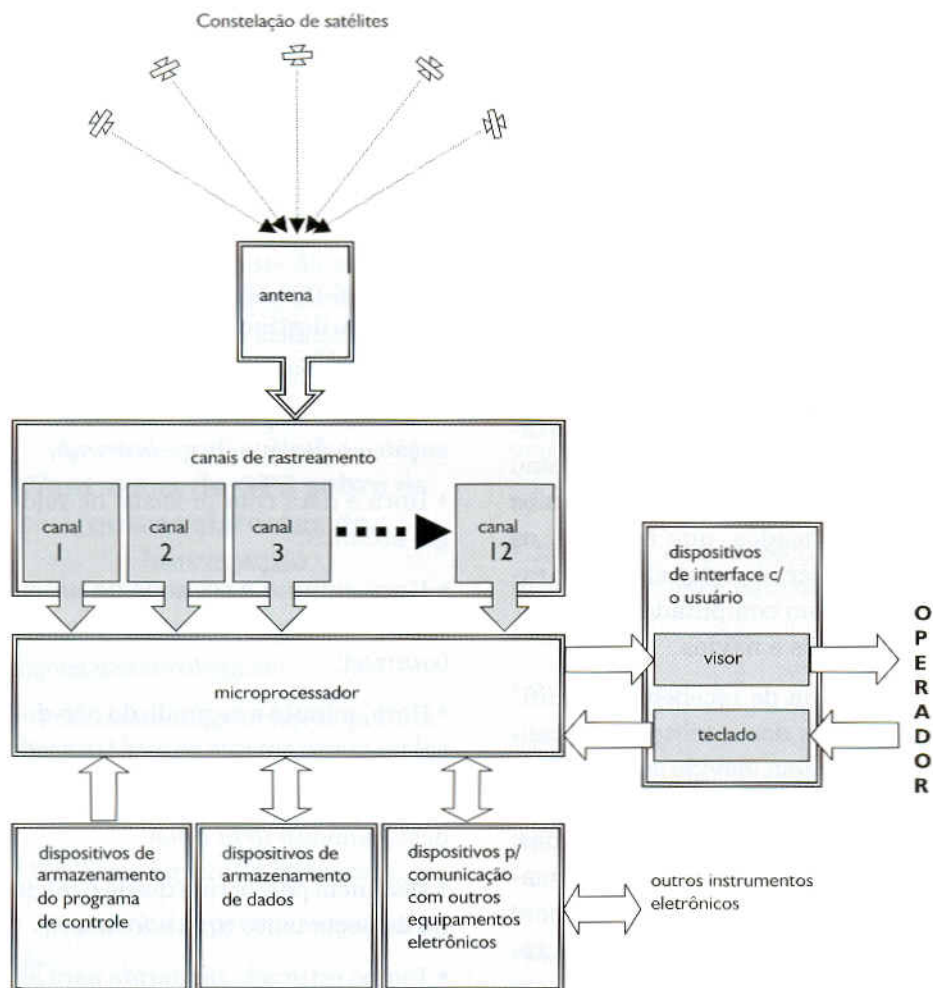


Fig. 9: Arquitetura de um receptor GPS

Bearing (BRG)

o ângulo formado entre o norte de referência (que pode ser o norte magnético ou o verdadeiro) e a direção correta de deslocamento diretamente para o ponto-alvo. Varia de 0° a 360° no sentido dos ponteiros do relógio. Em outras palavras, é o rumo ou caminho exato para o alvo. É o rumo para onde se deve navegar para atingir o ponto (*waypoint*) planejado

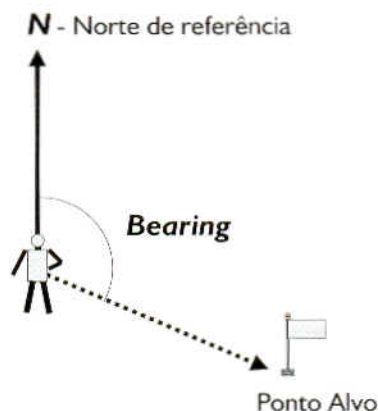


Fig. 10: Bearing

Heading (HDG)

Direção de deslocamento ou "proa". É o ângulo formado entre o norte de referência (que pode ser o norte magnético ou o verdadeiro) e a direção que se está tomando. Em outras palavras, é a direção de deslocamento (direção da "proa") em relação ao ponto-alvo. Também varia de 0° a 360° no sentido dos ponteiros do relógio.

Quando a marcação (ou ângulo) do *heading* coincide com o *bearing* ($HDG = BRG$), significa que se está no rumo correto para atingir o ponto-alvo.

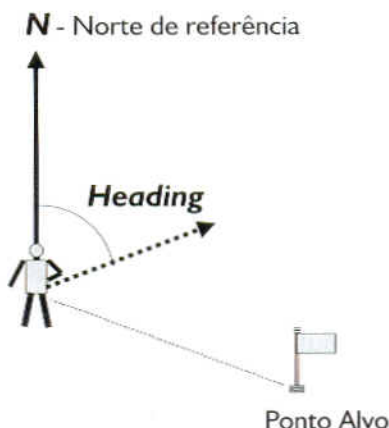


Fig. 11: Heading.

Entrada e saída de dados no GPS

Um receptor GPS armazena de forma automática as coordenadas obtidas pela leitura direta de sua posição. Além disso, o usuário também pode incluir diretamente na memória do receptor coordenadas lidas em uma carta topográfica ou vindas de publicações existentes em revistas de aventuras. Mas, devido à ausência de teclado, incluir pontos num receptor GPS é um processo relativamente cansativo. Para solucionar esse problema, pode-se usar o GPS associado a um microcomputador, o que permi-

tirá, através de um editor, a rápida entrada das coordenadas dos pontos.

A interface entre os dois equipamentos ocorre através de um cabo especial. Porém, o uso associado do GPS ao microcomputador requer um programa específico, como o *software TrackMaker* ou *MapSource*.

Além da possibilidade de digitar as coordenadas dos pontos ou rotas no computador e depois transferi-las para o receptor GPS, pode-se também, através dos *softwares* já citados, usar um mapa na tela do computador e selecionar, através do *mouse*, os pontos em que se deseja transferir as coordenadas para o receptor GPS. Essa transferência é feita automaticamente. Também é prática comum a transferência dos dados armazenados no receptor GPS para o computador, liberando assim a memória do receptor.

Datum de mapas e cartas

Quando o usuário for capturar pontos vindos de mapas ou cartas topográficas para o receptor GPS, deve ter certeza de que a fonte de coordenadas é a mesma na qual o GPS está configurado. Essa opção de configuração no GPS chama-se Datum e é uma referência geográfica de construção de uma carta náutica ou terrestre.

Em outras palavras, as cartas são confeccionadas de forma que todos os pontos estão a determinada distância de um ponto de referência padrão chamado Datum. No GPS utiliza-se normalmente o *WGS84* (*World geodetic system 1984*) como padrão de referência. Entretanto, a maioria das cartas e mapas do Brasil é editada com o *Datum SAD69* (América do Sul).

Os receptores GPS mais avançados possuem um recurso chamado *Base map*, que são mapas armazenados na memória do receptor para facilitar a orientação. Com a existência de mapas internos ao receptor, o usuário pode saber com grande certeza onde exatamente se encontra, pois são providos de estradas, cidades, oceanos, etc.

Sistema direcional do receptor GPS

O sistema direcional do receptor GPS informa a direção de deslocamento (*heading* - HDG) e a direção correta que devemos seguir (*bearing* - BRG) para atingir um ponto-alvo no globo terrestre.

Ambas as direções (HDG e BRG) são medidas em graus e baseadas na convenção que considera o receptor GPS/usuário no centro de um círculo imaginário (0° a 360°), es-

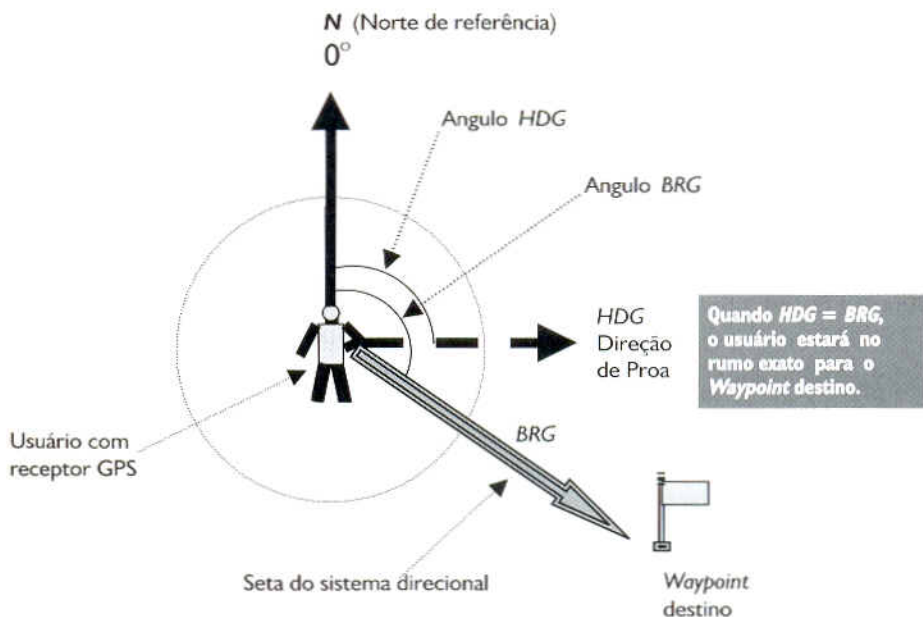


Fig. 12: Sistema direcional de um receptor GPS.

tando o norte de referência (verdadeiro ou magnético) a 0°.

O sistema direcional usa uma "seta" para indicar a direção exata a ser seguida para atingir o ponto-alvo (BRG). O direcionamento do GPS não é baseado em um sistema magnético como as bússolas convencionais, ou seja, não é utilizado o magnetismo terrestre para orientar a "seta". Isso posto, o sistema direcional do receptor GPS não funciona quando ele está parado, necessitando de uma velocidade acima de 3 km/h para operar.

As três principais entidades do GPS: *waypoint*, *route* e *track log*

Waypoint (WPT)

Um *waypoint* é um ponto de navegação registrado no receptor GPS através de sua latitude e longitude, ou seja, é um endereço geográfico. O GPS permite associar um símbolo gráfico, além de um nome ou número para a identificação do *waypoint*.

O receptor GPS, quando em deslocamento, coleciona automática-

mente uma seqüência de *waypoints* dos locais por onde passa e reposiciona-se a cada segundo. Assim, essas seqüências de posições permitem estabelecer a direção de deslocamento.

Em função de uma programação de “vá para” (*goto*) ou “rota” (*route*), o sistema GPS determinará se o usuário está na direção correta para o ponto-alvo (ou *waypoint* alvo) e, se não estiver, informará quantos graus o usuário terá que girar para alinhar-se ao ponto-alvo. Isso significa que o sistema direcional do GPS não funciona quando o receptor está parado, necessitando de uma velocidade superior a 3 km/h (caminhada normal) para funcionar, sendo o ideal acima de 5 km/h.



Fig. 13: representação simbólica de um waypoint

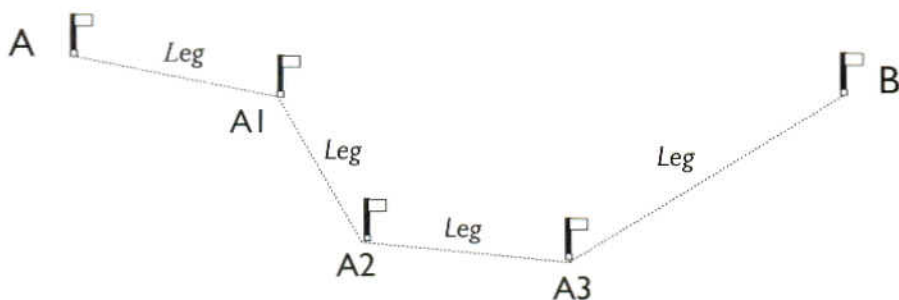


Fig. 14: representação simbólica de uma rota (route).

Route (RTE)

Chama-se *route* (rota) ao conjunto de *waypoints* predefinidos que formam um trajeto a ser seguido para se chegar a um ponto-destino, isto é, um curso planejado de viagem definido por uma seqüência de pontos (utiliza a definição de que o melhor caminho entre dois pontos é uma reta).

Uma rota é dependente dos seus *waypoints*, ou seja, se os *waypoints* são apagados do GPS, a rota será automaticamente apagada. Porém, quando uma rota é apagada, os seus *waypoints* não o são.

O exemplo abaixo mostra o esquema de uma rota com cinco *waypoints* e quatro *legs* (também conhecido como “derrota com cinco pontos e quatro pernadas”). Dá-se o nome de *leg* (“pernada”) a um trecho entre dois *waypoints* de uma rota.

A função *route* do GPS é importante porque permite que o receptor guie o usuário do primeiro ponto ao próximo e assim sucessivamente até o destino. Quando o usuário atinge um ponto, o receptor GPS busca automaticamente o próximo (sem a interferência do usuário). A função *goto* ("vá para") é similar, sendo o ponto-alvo selecionado considerando o próprio destino, ou seja, navega-se de onde se está diretamente ao destino.

Track log

No deslocamento através da rota, o GPS traça (ou plota) o caminho real percorrido entre os pontos. Esse recurso é conhecido como *track log* e significa um traçado do caminho real ou possível que pode ser executado por sobre uma rota anteriormente definida. Os waypoints pertencentes a um traçado são denominados *trackpoints*.

A execução do *track log* faz

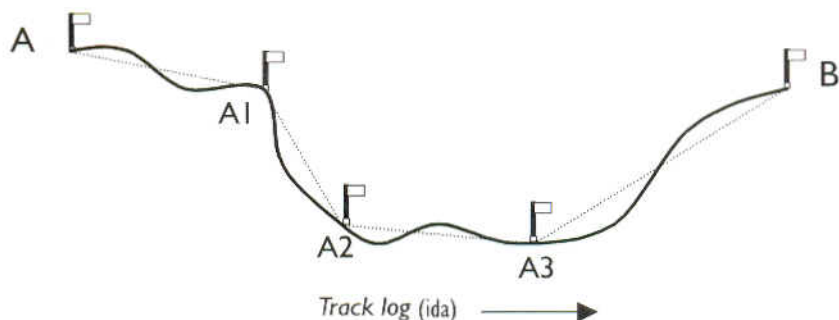


Fig. 15: representação simbólica de um track log.

parte dos recursos do *software* que habita o receptor GPS. Sempre que habilitado, o marcador de percurso inicia a memorização e o traçado do deslocamento efetuado pelo usuário com o receptor. Essa demarcação ou traçado do caminho percorrido num deslocamento pode ser armazenado no GPS para posterior transferência a um computador e disponibilização na Internet, por exemplo.

O percurso memorizado e traçado pelo GPS pode ser refeito ao contrário (de volta), num recurso chamado *track back*. Isso garante um retorno correto exatamente pelo mesmo caminho executado na ida e que originou o *track log*.

Um detalhe importante é que o caminho armazenado é uma seqüência de coordenadas determinadas automaticamente pelo receptor GPS e, devido a isso, erros podem estar "embutidos" em virtude da má captação dos sinais dos satélites no momento em que a trilha foi percorrida.

Track back

O GPS grava em sua memória o deslocamento, permitindo re-traçar o caminho de volta ao ponto

de partida, ou seja, refazer o caminho de retorno em cima do traçado original (track log). Esse recurso, conhecido como track back, é fundamental para o uso em barcos, trekkinings e expedições off-road.

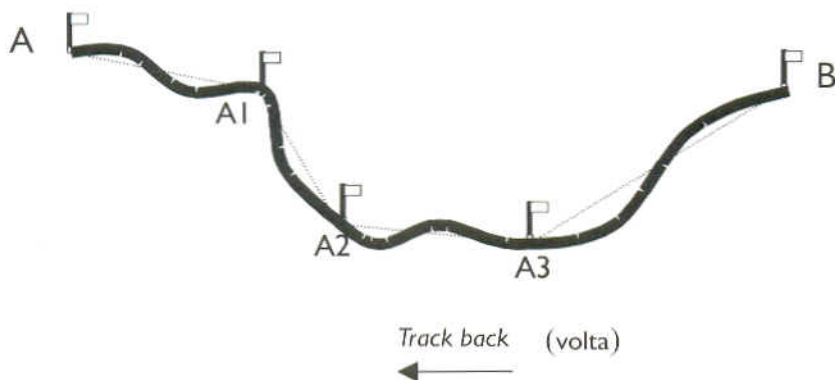


Fig. 16: representação simbólica de um track back.

GPS GARMIN eTrex

Teclas Operacionais:



Fig. 17: teclas operacionais do receptor GPS Garmin modelo eTrex.

As quatro páginas principais do eTrex



Fig. 18: As quatro páginas principais do receptor GPS Garmin modelo eTrex.

Conclusão

Estamos, pois, diante de uma tecnologia utilitária da era espacial, com aplicação em vários ramos da atividade humana, que aparece no cenário mundial para facilitar e ampliar a abrangência de atuação de profissionais de diversos segmentos, viajantes e amantes da natureza.

A interface com sistemas computacionais permite a maximização das aplicações das informações oriundas do receptor GPS, gerando cada vez mais vantagens para o usuário e definindo outras atividades paralelas provenientes desse aparato.

Muita coisa no sistema GPS ainda precisa ser corrigida e desenvolvida para uma utilização mais precisa e confiável. Outros sistemas de posicionamento global, como o russo Glonass e o europeu Galileo, prometem surpreender com novos avanços tecnológicos, proporcionando aos usuários outras opções de "ambientes de navegação". Quem viver verá!

Referências bibliográficas

BLACKWELL, E. G. Overview of differential GPS methods. Global Positioning System papers published in Navigation. *Journal of the Institute of Navigation*, 1986, v. III, p. 89-100.

BLITZKOW, D. *Navstar/GPS: um desafio tomado realidade*. III Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo, 1995, p. 427-462.

LEICK, A. *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons Inc. First Edition, 1994.

KAZMIERCZAK, M. L.; ESCADA, M. I. S. *Curso de geoprocessamento*. Funceme, Fortaleza, CE, 1995.

ROCHA, César Henrique Barra. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Edição do autor. Juiz de Fora / MG, 2000, 220 p.

SILVA, I.; SEGANTINE P. C. L.; ERWES, H. et al. *Curso de atualização em topografia e GPS segundo a norma NBR-13.133*. Fipai, USP, EESC, São Carlos, SP, 1995.

Ricardo José Vaz Tolentino é professor, Mestre em Tecnologia e Coordenador do Curso de Ciência de Computação da Face-Furnec
