

## A IMPORTÂNCIA DO GPS NO MAPEAMENTO CADASTRAL

JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE  
REGINA DO ROCIO DE ANDRADE  
REYNALDO BITTENCOURT SOUTO  
LÍVIO ALARMA ZUNINO

Geokosmos, Geodésia e Consultoria Ltda  
Rua Frei Francisco Mont'Alverne, 844  
81540-410 Curitiba, PR  
Brasil

**Abstract.** The goal of this paper is to show, up today, some of the most important applications, already experimented with success, throughout the use of GPS technology as applied to cadastral mapping.

**Resumo.** Este trabalho visa mostrar algumas das mais importantes aplicações, até hoje experimentadas com sucesso, da tecnologia GPS aplicada ao mapeamento cadastral.

### 1. Introdução

O sistema de posicionamento geodésico, navegação e difusão da hora NAVSTAR-GPS tem provocado, como era esperado, revoluções nas áreas onde pode ser aplicado.

Em termos de exatidão o impacto foi tão grande que diversos conceitos teóricos estão sendo discutidos e revistos.

Na área da geodésia, o que havia de melhor eram as redes geodésicas de primeira ordem (1:100.000). Com o advento do GPS, precisões relativas de 1:1.000.000 e até melhores são obtidas. Entretanto, fenômenos como marés terrestres, podem fazer com que um ponto da superfície terrestre oscile de posição em até 50 cm; a altitude ortométrica, referida a datums altimétricos baseados em observações de marégrafos pode afastar-se significativamente de sua definição pelo fato de que o nível médio dos mares em diversos locais estão em superfícies equipotenciais diferentes. Deriva continental e outros fenômenos de movimento de partes da crosta terrestre, juntam-se ao problema, evidenciando que as coordenadas de um ponto da superfície terrestre, se determinadas com um certo grau elevado de exatidão, são válidas apenas para o instante da determinação. Como grau de precisão que GPS oferece, as coordenadas de um ponto passam a ser função do tempo, ou en-

tão, são válidas para uma determinada época, para a qual todos os valores teriam que ser referenciados. Na ordem prática surgiu o problema de ligar os levantamentos GPS, melhores que primeira ordem, numa rede geodésica de primeira ordem. Ver ANDRADE (1985 e 1987), ANDRADE (1990) e ANDRADE (1991c).

A navegação que satisfazia-se com resultados que permitissem a visualização de pontos de passagem e destino de uma rota, algo como 300 metros ou mais, passa a contar com possibilidades de erros de alguns centímetros apenas, deixando vislumbrar até a possibilidade do controle automático de aeronaves para decisões em quaisquer condições de visibilidade. Esse fato provoca mudanças radicais nas conceituações existentes com respeito a navegação. Teria o sistema NAVSTAR-GPS confiabilidade para tal? Dentro dos limites de precaução que o bom senso exige, GPS tem sido utilizado em navegação de todo o tipo, incluindo a de sensores já causando uma verdadeira revolução. Mas, as aplicações do GPS em navegação são inúmeras, podendo-se vislumbrar, num futuro bem próximo, a otimização segura das mesmas. Os avanços conseguidos na área de navegação foram de tal ordem que passaram a ser aplicáveis no posicionamento geodésico ultra-rápido e ultra-preciso.

São inúmeras as instituições cujos trabalhos,

de rotina ou de pesquisa, dependem da hora exata. Com o sistema NAVSTAR-GPS, em qualquer ponto da superfície terrestre pode-se contar, hoje com o mais preciso sistema de difusão do tempo. Uma estação de pesquisas localizado na Antartica, por exemplo, pode hoje contar com a hora tão precisa como dispõe o Observatório Nacional no Rio de Janeiro. O próprio lançamento de satélites artificiais exige rigor no conhecimento da hora. O benefício, portanto, é o mais amplo possível.

Em termos de velocidade a revolução não foi menor. O sistema NNSS, precursor do NAVSTAR-GPS exigia tempos variados de coleta de dados, dependendo da latitude do lugar, diminuindo este do equador para os polos terrestres. Nas regiões equatoriais eram necessários três dias de observações para obter-se os melhores resultados, o que já era um avanço grande em comparação com outras tecnologias. Os tempos de observação para a tecnologia NAVSTAR-GPS independem da posição geográfica e passam a ser função da metodologia aplicada. Este fato vem permitindo que uma metodologia altamente precisa seja também a mais barata. Os preços de pontos determinados com tecnologia GPS caíram na ordem de dez vezes quando comparados com aqueles medidos com a tecnologia do NNSS.

Os métodos anteriores de transporte de coordenadas geodésicas exigiam um trabalho preliminar de reconhecimento para a verificação da necessária intervisibilidade entre os pontos. Os trabalhos só poderiam ser executados se houvesse boas condições atmosféricas que permitissem a visualização entre os pontos envolvidos no levantamento. O sistema NAVSTAR-GPS exige apenas que se ocupe o ponto e que não exista obstáculos entre as antenas dos receptores e os satélites que estão acima do horizonte. Isso diminuiu o esforço e o tempo necessários para um levantamento.

Outro aspecto marcante nos ganhos que se obteve com a tecnologia NAVSTAR-GPS foi, sem dúvida a facilidade de operação de um receptor GPS - leve e fácil de operar, deixando de exigir acuidade visual e grande treinamento na instalação e operação que um teodolito, por exemplo, requer.

## 2. O Sistema NAVSTAR-GPS

O impacto que GPS trouxe para a área tecnológica,

e até para atividades de lazer, tornaram esse sistema de posicionamento geodésico, navegação e de difusão da hora tão divulgado e conhecido, que preferimos destacar aqui apenas os aspectos de interesse mais imediato ao usuário que o aplica em mapeamento, e remetendo-o para publicações onde outros detalhes são devidamente abordados. Ver FELL (1980), ASHKENAZI et alii (1985), ANDRADE (1988a).

O sistema NAVSTAR-GPS conta, hoje, com toda a sua constelação de 24 satélites, percorrendo órbitas quase circulares, a uma altitude de aproximadamente 20.000 km, distribuídas em seis planos inclinados, em relação ao equador, de cerca de 54 graus e espaçados longitudinalmente de 30 graus. Esta configuração permite a "visualização" de 5 a 12 satélites em qualquer tempo em qualquer lugar da Terra.

Cada satélite transmite sinais de rádio em duas ondas portadoras de alta freqüência - 1200 e 1500 MHz - moduladas em fase com sinais binários. Tais sinais binários podem ser códigos, que identificam cada satélite e permitem a medida de distâncias entre as antenas de um satélite e de um receptor adequado, ou mensagens. Parte dessas mensagens dizem respeito aos elementos orbitais do satélite que está transmitindo - são as efemérides do referido satélite; parte refere-se a elementos orbitais simplificados de todos os satélites - constituindo o almanaque GPS; e parte trazem informações militares secretas e, por isso, não são decodificadas por receptores civis.

A razão da existência de duas portadoras é para permitir a correção de uma das fontes de erros sistemáticos - a refração ionosférica.

Os métodos diferenciais - que são utilizados nos procedimentos geodésicos - eliminam todos os erros sistemáticos do sistema quando os receptores estão próximos. Na medida em que estes se afastam, o processo de eliminação dos erros sistemáticos deteriora-se. Para a medida precisa de bases muito grandes (acima de 50 km) seria necessário, apesar de se aplicar métodos diferenciais, reduzir todos os erros sistemáticos. Estes, primordialmente, tem origem nas efemérides, na refração atmosférica e na refração ionosférica.

Os códigos que cada satélite transmite, únicos para cada um deles, são de três tipos: o código chamado A/C, que permite a medição de distâncias

com precisão de 3 metros; o código P que mede a mesma distância com repetibilidade de 0.3 metros e o código Y que resulta do produto de um código secreto denominado W pelo código P com o qual podem-se medir distâncias com 0.3 metros de repetibilidade. Em certas ocasiões, o código P é substituído pelo Y, por determinação do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, proprietário majoritário do sistema NAVSTAR-GPS.

### **3. Receptores GPS**

Existe, hoje, uma variedade de receptores GPS, aplicáveis as mais diversas finalidades:

#### **a. Receptores para Atividades de Lazer.**

São os instrumentos mais simples entre os receptores GPS. Funcionam pelo sistema multiplex, isto é, um canal recebe mais de que um satélite, interpolando dados entre a mudança de um satélite para outro. Utilizam apenas uma das portadoras - a L1 e fazem suas medidas pelo código C/A. Não possuem memória para o armazenamento de dados. Trabalham pelo método de posicionamento absoluto. Seu custo está em torno de 700 dólares americanos. Tais receptores podem ser utilizados em pequenos barcos e pequenas aeronaves ou em veículos terrestres. Fornecem, ao usuário sua posição geográfica com erro de 25m ou 100m, dependendo da degradação do sistema; sua velocidade e outros dados de navegação, variando de modelo para modelo. São muito pequenos - geralmente do tamanho de uma calculadora de bolso. Trabalham com baterias comuns.

#### **b. Receptores para Navegação Profissional.**

São receptores com maior número de canais que os anteriores. Possuem a possibilidade de planejamento de rotas, através da programação de pontos de passagem. Aqueles destinados a aviação, possuem bancos de dados de todos os aeroportos homologados do mundo e podem colocar em sua tela, gráficos auxiliares. Um exemplo desse tipo de instrumento é o ALTAIR, fabricado pela ASHTECH, nos Estados Unidos. Esse instrumento está dotado de doze canais independentes, podendo, por isso, captar todos os satélites que se encontram acima do horizonte.

#### **c. Receptores para navegação de sensores.**

São receptores de alta precisão, podendo trabalhar com as duas portadoras e todos os códigos; trabalhar no modo diferencial pós-processado ou em tempo real. Exemplos são o 3DF e o RANGER da ASHTECH. O 3DF funciona com 24 canais independentes e quatro antenas, podendo, os canais serem distribuídos, por programação para as quatro antenas - por exemplo, 6 canais por antena. O instrumento é programado para receber os mesmos seis satélites em cada antena. As antenas, dispostas numa aeronave em forma de T, permitem a determinação simultânea, a cada meio segundo, da posição geográfica e dos três ângulos de Euler que determinam a atitude da aeronave. Pode funcionar no modo diferencial simples ou no modo diferencial em tempo real. Os resultados tem precisão de alguns centímetros em posição e de cerca de três minutos sexagesimais em arco. Presta-se, por isso, para navegar sensores aerotransportados tais como câmeras aéreas, magnetômetros e outros. É dotado de memória para armazenar todos os dados e pode mostrar em cores, numa tela separada, diversos elementos gráficos e numéricos que auxiliam na missão, tais como, plano de voo, rota realmente voada, etc.

#### **d. Receptores OEM.**

OEM é uma sigla que significa "Original Equipment Manufacturer". São instrumentos encapsulados em caixas simples, com entradas para força e comunicação. Permitem que o usuário monte painéis e outros periféricos da forma que desejar. Destinam-se a fabricantes de embarcações ou de aeronaves. São vendidos em quantidades grandes a um preço bem baixo. A ASHTECH fabrica e comercializa o módulo SENSOR que possui 12 canais separados e dedicados, utilizando o código C/A na banda L1, com o que provê posição, velocidade e direção em tempo real. A sua precisão é de 25 metros ou menos, dependendo da degradação do sistema. Trabalhando no modo diferencial em tempo real a precisão da posição é da ordem de 3 metros e a da velocidade de 1 centímetro por segundo.

#### **e. Receptores Geodésicos.**

São receptores com diversos canais independentes e que além de realizarem medições com o código, também o fazem com a fase das portadoras. São

instrumentos adequados para o posicionamento geodésico de precisão. Exemplos deles são os modelos M-XII, MD-XII, MS-XII, Dimension e Z-12 da ASHTECH. O mais sofisticado de todos os receptores geodésicos já fabricados é o Z-12. Este receptor trabalha 12 canais em cada uma das duas portadoras L1 e L2, tendo acesso a L2 através do código P, ou, quando este é substituído pelo código secreto Y, trabalha no modo "Z", através do qual decifra o código Y. Trata-se de um algoritmo patenteado que provê observáveis com razão sinal/ruido superior a 13 decibéis.

#### **4. Métodos de Posicionamento Geodésico.**

Desde 1975, quando o projeto NAVSTAR-GPS foi divulgado, que os métodos de posicionamento geodésico começaram a ser desenvolvidos. Não obstante, recentemente surgiram novos métodos mais poderosos. A seguir, mostraremos as principais características dos métodos de posicionamento geodésicos disponíveis. Ver ANDRADE (1988b), ANDRADE (1988c) e ANDRADE (1989a). (Todos os métodos aplicáveis para finalidades geodésicas são diferenciais, isto é o que se determina com alta precisão é a diferença de coordenadas entre dois pontos. Portanto, conhecidas as coordenadas de um deles, a do outro poderá ser determinada. Isto implica que se trabalhe com um mínimo de dois receptores, simultaneamente. Normalmente deixa-se um dos receptores ligado todo no ponto do qual já se conhecem as coordenadas enquanto que os outros percorrem os pontos que deseja-se levantar. Para obter-se solução torna-se necessário rastrear simultaneamente, no mínimo quatro satélites (os mesmos) por um período de tempo que depende essencialmente do método utilizado. Durante o tempo de rastreio, os satélites devem apresentar uma geometria rígida em relação ao observador. Uma geometria fraca provoca a falta de solução ou solução fraca provocada pela propagação desfavorável dos erros de observação. A rigidez geométrica é medida por diversos números, denominados DOP ("dilution of precision") que podem ser calculados antes do rastreio (os receptores também o calculam durante o rastreio, permitindo um controle aos operadores). Um DOP de valor alto significa muita perda de precisão. As diferentes siglas que designam os DOP são: GDOP - diluição da precisão em posição tri-dimensional e em tempo; PDOP - diluição da precisão em posição tri-dimensional; HDOP - diluição da precisão em

posição bi-dimensional (latitude e longitude); e TDOP - diluição da precisão em tempo. Para o posicionamento geodésico interessa o PDOP. Não devem-se trabalhar com PDOP superior a 10.

##### **a. Método Estático.**

Dois ou mais receptores devem rastrear os mesmos satélites simultaneamente por um período mínimo de 1 hora.

Os resultados terão a precisão de 1cm mais 2ppm. ANDRADE (1989b).

##### **b. Método Cinemático.**

Um instrumento permanece fixo no ponto de coordenadas conhecidas, enquanto que os demais percorrem os pontos a serem levantados. O tempo de ocupação de cada ponto é de aproximadamente 2 minutos. O método exige que, durante o deslocamento entre dois pontos consecutivos o receptor mantenha sintonia chaveada com pelo menos quatro satélites. Isto não ocorrendo, terá que voltar ao ponto anterior e recomeçar as operações, porque a solução deve estar "inicializada", o que significa que outras incógnitas que existem no problema, que não as coordenadas do ponto devem ser preliminarmente resolvidas. Existem diversos métodos para "inicializar" a solução. O mais simples consiste em rastrear por dois minutos um ponto de coordenadas já determinadas. Trata-se, portanto, de um método extremamente rápido, mas de aplicação restrita a locais sem obstrução para os satélites. A precisão é a mesma do método estático.

##### **c. Método Pseudo-Cinemático.**

É um método muito parecido com o cinemático no que se refere as operações de campo, mas com algoritmo totalmente diferente. Este método exige que se reocupe os pontos depois de um período mínimo de 1 hora, rastreando os mesmos satélites. O tempo de cada ocupação é de aproximadamente 5 minutos. Não é necessário manter os satélites sintonizados durante os deslocamentos como exige o método cinemático. A precisão é a mesma do método estático. ANDRADE (1989c).

#### d. Método Rápido-Estático.

Trata-se de um desenvolvimento recente e que utiliza tanto as observações de fase como as de código. Os dados recebem um tratamento estatístico baseado na teoria das probabilidades que permite "inicializar" a solução como no método cinemático num período de tempo bem curto e que depende da distância entre o receptor fixo e o móvel. Esse tempo é de um minuto para bases de até dois km e aumenta de 2 minutos por km.

#### e. Navegação com PNAV.

A ASHTECH desenvolveu e patenteou um método de navegação diferencial cuja precisão varia de 30 centímetros a 1 metro, com a maior parte do tempo oferecendo um erro próximo aos 30 cm. Tal precisão interessa muito para diversas finalidades geodésicas. Trata-se do método mais rápido e fácil de operacionalizar no campo, pois não apresenta nenhuma das restrições dos demais, ou seja, não exige sintonia chaveada dos satélites durante o trajeto, como no método cinemático nem requer a reocupação dos pontos como no método pseudo-cinemático.

### 5. Aplicações no Mapeamento Cadastral

Todas as atividades de cadastro territorial exigem posicionamento geodésico em condições diversas.

#### a. Apoio Terrestre

Na elaboração do mapa cadastral, rural ou urbano, por aerofotogrametria, torna-se necessário apoiar as aerofotos para a realização de um trabalho de aerotriangulação, com o fito de obter apoio de qualidade e suficiente para permitir a orientação relativa de todos os estereomodelos a serem restituídos.

O posicionamento geodésico dos pontos de apoio de um bloco podem ser realizados com a tecnologia GPS com uma rapidez superior a 10 vezes da que se conseguia com os métodos tradicionais, e, com qualidade extremamente melhor - todo o apoio com GPS resulta, facilmente melhor que primeira ordem. A consequência imediata foi a queda nos custos desses trabalhos. Outra vantagem que a tecnologia GPS trouxe nessa área de aplicação, foi o fato de que todos os pontos são

levantados com as suas três coordenadas, propiciando, este fato, uma superdeterminação muito maior na aerotriangulação do que ocorria com os tradicionais pontos de controle "horizontais" e "verticais".

#### b. Vôo Apoiado.

Outro enorme avanço nessa mesma área de aplicação é a tecnologia do voo apoiado. Este, consiste na medição, durante a cobertura fotogramétrica das coordenadas dos centros de perspectiva, bem como da altitude da câmera aerofotogramétrica. Receptores como o 3DF da ASHTECH foram especialmente construídos para esse fim.

Ao mesmo tempo em que o receptor 3DF de bordo orienta, com todos os dados do plano de vôo e elementos de navegação obtidos em tempo real a equipe de vôo através de um mapa eletrônico, garantindo uma cobertura fotogramétrica de altíssima qualidade, determina, com precisão de centímetros as coordenadas dos centros perspectivos e a altitude da câmera, com precisão da ordem de 3 minutos de arco. Com tais informações, o apoio de campo reduz-se a um mínimo - apenas o necessário para fornecer uma base ao próprio vôo apoiado e para a construção de um mapa geoidal relativo de alta precisão. Neste caso, a quantidade mínima de pontos de apoio é de quatro - um ponto em cada canto da área a ser recoberta fotográficamente. Um programa de aerotriangulação analítica, por feixes de raios que permita o processamento de todos os dados, fornece as coordenadas geodésicas de todos os pontos necessários para a orientação absoluta de todos os modelos fotogramétricos envolvidos no projeto. Esta tecnologia não resultou, em verdade em diminuição dos custos quando trata-se de áreas de fácil operação com receptores GPS. Entretanto, em regiões florestadas ou de reflorestamento, onde as ávores vedam os sinais dos satélites, ou em locais onde não existem detalhes fotoidentificáveis, o vôo apoiado viabilizou os trabalhos de apoio geodésico. ANDRADE (1991b), ANDRADE (1992) e ANDRADE (1993).

#### c. Manutenção Cadastral

Nos intervalos em que as coberturas aerofotogramétricas são realizadas, um cadastro

tem que ser mantido.

As técnicas de navegação diferencial oferecidas pelo sistema NAVSTAR-GPS permitem um controle geométrico de uma região, de modo muito rápido, econômico e adequado. Os métodos de navegação diferencial permitem que, apenas percorrendo os eixos de novos arruamentos de um novo loateamento, tenha-se, como resultado, o traçado planimétrico e o perfil dos mesmos. Pontos isolados podem ser determinados nos cantos de quadras num par de minutos. Tais elementos permitem a manutenção precisa e econômica de um cadastro urbano, o que é de extrema importância para todas as atividades onde um bom cadastro atualizado é indispensável. Ao lado dessas informações, outras podem ainda serem obtidas pelo uso do código de barras que permite a introdução rápida de outros dados que podem ser coletados durante os levantamentos, tais como equipamentos urbanos disponíveis, como água, esgoto, luz, telefone, etc.

Novas aplicações, entretanto, são perfeitamente possíveis:

#### d. Controle de Safras.

Interessa ao proprietário de uma área rural, e as agências financeiradoras, o controle da safra. Com receptores GPS dotados de códigos de barra podemos percorrer o perímetro da área plantada, com a velocidade que o terreno e o meio de transporte permitam, obtendo como resultado, a área plantada, bem como informações técnicas associadas ao plantio. Esse tipo de controle tem sido procurado, principalmente pelas agências de financiamento agrícola. Hoje, esse trabalho vem sendo feito através da avaliação visual, sujeita, portanto, a erros de grande monta.

#### e. Levantamento da Infra-estrutura

Todo o complexo agrícola poderia ter resultados mais promissores se instrumentos de planejamento fossem disponíveis rapidamente e a baixo custo. Se, de um lado, uma previsão precisa de safra fornece parâmetros de controle financeiro, bem como de necessidade de infra-estrutura de armazanagem, também as vias de transporte vicinais poderiam ser melhor levantadas, propiciando a possibilidade do seu melhoramento nos

trechos mais difíceis. O levantamento em planta e em perfil de tais estradas, com um sistema de classificação adequados, permitiria grande rapidez e economia no transporte dos bens colhidos nas fazendas. Com os métodos de navegação diferencial com GPS torna-se possível levantar plani-altimetricamente tais estradas a custos extremamente baixos, pois o trabalho de campo, sempre o mais oneroso pode ser feito com a mesma velocidade que um veículo possa trafegar. É possível, ainda, com auxílio do código de barras, posicionar pontos importantes, tais como, postos de gasolina, oficinas, restaurantes e outros.

#### 6. Referências Bibliográficas

- ANDRADE J. Bittencourt (1985). **POSICIONAMENTO. O que Virá?**. XII Congresso da Sociedade Brasileira de Cartografia e Sensoriamento Remoto. Brasília e Revista Brasileira de Cartografia n. 41, p 16, 1987.
- ANDRADE J. Bittencourt (1988a). **NAVSTAR-GPS**. Apostila. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.
- ANDRADE J. Bittencourt (1998b). **Sistema de Posicionamento Global - NAVSTAR-GPS**. V ENECART. Presidente Prudente. SP.
- ANDRADE J. Bittencourt (1988c). **Modelos Matemáticos do GPS**. XXXV Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geofísica Belém, PA.
- ANDRADE J. Bittencourt (1989a). **Métodos de Posicionamento Geodésico com GPS**. XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado, RS.
- ANDRADE J. Bittencourt (1989b). **AERODATA - Um "Software" Eficiente para o Processamento de dados GPS**. XIV Congresso Brasileiro de Cartografia. Gramado, RS.
- ANDRADE J. Bittencourt (1989c). **Primeiras Experiências no Brasil com o Método Pseudo-Cinemático de Posicionamento por GPS**. Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura. Terezina. PI.

ANDRADE J. Bittencourt (1989d). Injunções num Referencial Local. Boletim de Geodésia n. 38. UFPR. Curitiba. PR.

ANDRADE J. Bittencourt (1990). NAVSTAR-GPS. Uma Nova Era para o Posicionamento. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica. USP. SP.

ANDRADE J. Bittencourt (1991a). LEVAMENTOS GPS. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica. USP. SP.

ANDRADE J. Bittencourt (1991b). NAVEGAÇÃO DE SENsores. XV Congresso Brasileiro de Cartografia. São Paulo. SP.

ANDRADE J. Bittencourt (1991c). NAVSTAR-GPS: Um Novo Sistema de Navegação. Revista Ciência Hoje n. 77, Vol. 13, out./nov. p 74-76.

ANDRADE J. Bittencourt (1992). GPS & AEROTRIANGULATION. Congresso da International Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Washington.

ANDRADE J. Bittencourt (1993). VÔO APOIADO. XVI Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro.

ASHKENAZI V.; Agrotis, L.G.; Yau I.H (1985). GPS Interferometric Phase Algorithms. in Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System. US Department of Commerce, pps 229-314.

FELL Patric J. (1980). Geodetic Positioning Using a Global Positioning System of Satellites. in Reports of the Department of Geodetic Science. n. 299. Columbus, Ohio. USA.