

Software de Processamento das Observações de Satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Prof. Dr. Antonio Simões Silva ¹
André Luiz de Oliveira ²

Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Setor de Engenharia de Agrimensura
36570-000 Viçosa MG
Fone 31 899 2740 Fax 31 899 1482

¹ ✉ asimoes@mail.ufv.br

Conteúdo	1 Introdução 2 Implementação 2.1 Cálculo da anomalia verdadeira v 2.2 Cálculo do argumento da latitude 2.3 Cálculo do raio e das coordenadas orbitais no plano orbital 2.4 Cálculo da inclinação da órbita 2.5 Cálculo da longitude do nodo ascendente 2.6 Cálculo das coordenadas geocêntricas instantâneas 3 Resultados e discussão 4 Referências Bibliográficas
-----------------	--

Resumo: Este trabalho mostra o desenvolvimento de um software para ensino que processa as observações GPS de modo que as fases do processamento apareçam na tela possibilitando o melhor entendimento por parte do aprendiz da tecnologia, uma vez que softwares existentes no mercado não se preocupam com esse aspecto. Neste projeto usa-se o código para o cálculo das pseudodistâncias utilizando as fórmulas já consagradas neste procedimento. Adotou-se o uso do arquivo de navegação RINEX como fonte de dados das mensagens GPS. Na determinação das coordenadas através dos satélites GPS, usa-se o método estático com posicionamento diferencial empregado nas observações. O software calcula inicialmente a atualização dos elementos Keplerianos que permitem calcular a posição do satélite. Em seguida calculará a posição do ponto. Para tanto será aplicado o conceito de ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados para nos dar também a qualidade do resultado.

Abstract: This paper shows the implementation of software for using in teaching tasks. The commercial available software have not concern with the intermediate calculation of positioning by using GPS techniques, because of that the student frequently see a GPS software like a blackbox, with an in command and an out report. This software uses the traditional pseudorange code and RINEX file. The Keplerian elements are used for computing the satellite position and least squares approach is used for positioning the terrestrial station.

1 Introdução

O posicionamento através do sistema GPS (*Global Positioning System*) pode ser feito por vários métodos de levantamentos de campo, metodologias de cálculo e tipos de equipamentos. No que se refere ao cálculo propriamente dito da posição do(s) ponto(s) de interesse, primeiro existe a necessidade de se obter as coordenadas no sistema orbital dos satélites rastreados.

Posteriormente, aquelas coordenadas são transformadas para um sistema de coordenadas terrestres, podendo ainda sofrer outras transformações ou processos mais refinados de cálculo. A determinação das coordenadas orbitais dos satélites independem de qualquer método, metodologia ou equipamento empregado no posicionamento, sendo fundamental em qualquer posicionamento utilizando o sistema GPS. A literatura existente é pouco esclarecedora quanto aos pormenores e às dificuldades de sua implementação. Este trabalho implementará o algoritmo necessário à estimativa das coordenadas orbitais dos satélites pertencentes ao sistema GPS e as transformações destas para um sistema de coordenadas terrestres, relatando os seus principais cálculos. Após obter as coordenadas dos satélites pode-se obter a posição do ponto ou estação rastreada.

A grande variedade existente de equipamentos, se enfocado o aspecto da integração dos dados, poderia ser entendido como um complicador para a atividade de posicionamento, visto que os formatos de cada fabricante teriam de ser conhecidos pela comunidade de usuários. Esta dificuldade foi eliminada com o aparecimento do formato de dados conhecido por RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*). Desta forma, foi estabelecido que, para total independência de fabricante, a implementação do software utiliza dados no formato RINEX.

O GPS (*Global Positioning System*) apesar de tecnologia nova é hoje um sistema de posicionamento de conhecimento obrigatório para profissionais de Engenharia. O seu uso está difundido por várias áreas do conhecimento. Dentre os profissionais responsáveis pelo seu uso, o Engenheiro Agrimensor e o Engenheiro Cartógrafo têm obrigação de ter conhecimento amplo do seu uso como coletor de informações e principalmente como se processam os seus dados.

Diante da elevada importância desta tecnologia é que se propôs o desenvolvimento de um software para ensino que processe as observações GPS, de modo que as fases do processamento apareçam na tela, possibilitando o melhor entendimento por parte das pessoas que utilizam de tal tecnologia, uma vez que softwares existentes no mercado não são feitos preocupando-se com este fato.

2 Implementação

Os satélites do GPS usam dois principais tipos de observáveis para enviar as informações necessárias ao cálculo das coordenadas de um ponto. Essas observáveis são as pseudodistâncias calculadas pela diferença de fase e pseudodistâncias calculadas a partir do código. Esta última tem um processamento mais simples e é um tipo de informação que é rastreada por todos os receptores GPS. Neste projeto foi usado o código para o cálculo das pseudodistâncias utilizando as fórmulas já consagradas neste procedimento (Seeber, 1993) Na determinação das coordenadas através dos satélites do GPS foi usado o método estático com posicionamento relativo empregando o código para as observações. Para a obtenção de dados necessários aos cálculos foram usados arquivos do formato RINEX.

Vejamos como o programa obtém esses dados. Tendo o usuário selecionado um arquivo de Navegação o programa se encarrega de selecionar o arquivo de Observação correspondente. Em seguida o usuário deve indicar a época para a qual deseja determinar a posição do(s) satélite(s). Feito isso o programa localiza no arquivo de Observação a época apresentando os satélites disponíveis para se determinar as coordenadas. O usuário deve então escolher um dos satélites disponíveis. Tendo feito isso o programa localiza e lê no arquivo de Observação a pseudodistância para aquele satélite. Então, o programa localiza e lê no arquivo de Navegação os parâmetros de navegação do satélite, mais próximos da época indicada. Agora pode-se iniciar os cálculos.

Inicialmente calcula-se a atualização dos elementos keplerianos que permitem calcular a posição dos satélites. Em seguida calculam-se as posições destes e posteriormente são feitos os cálculos para se obter a posição do ponto. O cálculo das coordenadas do satélite no sistema WGS-84, a partir das mensagens de navegação segue os seguintes passos:

Todos os cálculos são feitos para o tempo t_k .

$$t_k = t - toe$$

2.1 Cálculo da anomalia verdadeira v

$$n_o = \sqrt{\frac{GM}{a^3}}$$

onde: M: massa do corpo

G: constante gravitacional

a: semi-eixo maior da elipse que define a órbita do satélite

$$n = n_o + \Delta n$$

n: movimento médio do satélite

$$M_k = M_o + n \cdot t_k$$

M_k : anomalia média

$$E_k = M_k + e \cdot \sin(E_k)$$

E: anomalia excêntrica

$$\cos(v) = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos(E)}$$

v: anomalia verdadeira

Δn , M_o , \sqrt{a} , toe: fornecidos no arquivo de navegação

2.2 Cálculo do argumento da latitude

$$\phi = v + w$$

$$\delta u = cuc \cdot \cos(2\phi) + cus \cdot \sin(2\phi)$$

$$\delta r = crc \cdot \cos(2\phi) + crs \cdot \sin(2\phi)$$

$$u = \phi + \delta u$$

w, cuc, crc, cus, crs: fornecidos no arquivo de navegação

2.3 Cálculo do raio e das coordenadas orbitais no plano orbital

$$r = a \cdot (1 - e \cdot \cos(E)) + \delta r$$

$$X^s = r \cdot \cos(u)$$

$$Y^s = r \cdot \sin(u)$$

2.4 Cálculo da inclinação da órbita

$$\delta i = cic \cdot \cos(2\phi) + cis \cdot \sin(2\phi)$$

$$i = i_o + i_{dot} \cdot t_k + \delta i$$

$\dot{i}_o, \dot{\omega}_e, \dot{\omega}_e, \dot{\omega}_e$: fornecidos no arquivo de navegação

2.5 Cálculo da longitude do nodo ascendente

$$\Omega = \Omega_o + (\Omega_{dot} - \omega_e) \cdot t_k - \omega_e \cdot t_{oe}$$

ω_e : valor em WGS-84 da velocidade angular

da Terra = $7.2921151467 \times 10^{-5}$ rad/s

Ω_o, Ω_{dot} : fornecidos no arquivo de navegação

2.6 Cálculo das coordenadas geocêntricas instantâneas

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Omega & -\sin\Omega \cos i & 0 \\ \sin\Omega & \cos\Omega \cos i & 0 \\ 0 & \sin i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^s \\ Y^s \\ Z^s \end{bmatrix}$$

Seguindo os passos descritos acima obtemos as coordenadas de um determinado satélite no sistema WGS-84. Tendo calculado as coordenadas para pelo menos quatro satélites, as coordenadas do ponto ou estação rastreada são obtidas a partir dos modelos conhecidos

É com base nos passos descritos acima que foi desenvolvido um software em ambiente DELPHI que processa observações de satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

3 Resultados e discussão

O software que está sendo desenvolvido é de fácil utilização e ao que tudo indica apresentará um bom potencial didático no que se refere ao estudo do GPS. Deverá ainda sofrer alterações no que se refere ao cálculo das coordenadas do ponto, tanto que este projeto foi renovado para que isso possa ser feito e também acrescentar mais alternativas ao software. Esperamos a sua conclusão por completo para que possamos verificar a eficiência dos cálculos feitos, os quais serão comparados com resultados de outros softwares existentes no mercado. Também depois de concluído poderemos verificar sua aceitabilidade por parte de pessoas que trabalham com GPS e também daqueles que estão iniciando nesta área, sendo estes que poderão dizer se o software desenvolvido obteve ou não a abordagem didática que se pretende.

No que se refere a determinação de posições de satélites o software já foi utilizado e pudemos verificar o quanto auxiliará alunos e outros profissionais da área Algumas telas e explicações sobre este software estão a seguir.

Para escolher os arquivos que fornecem os dados necessários aos cálculos feitos pelo programa é exibida a tela da figura 1. Escolhendo corretamente o arquivo de Navegação o programa o próprio programa se encarrega de encontrar o correspondente arquivo de Observação.

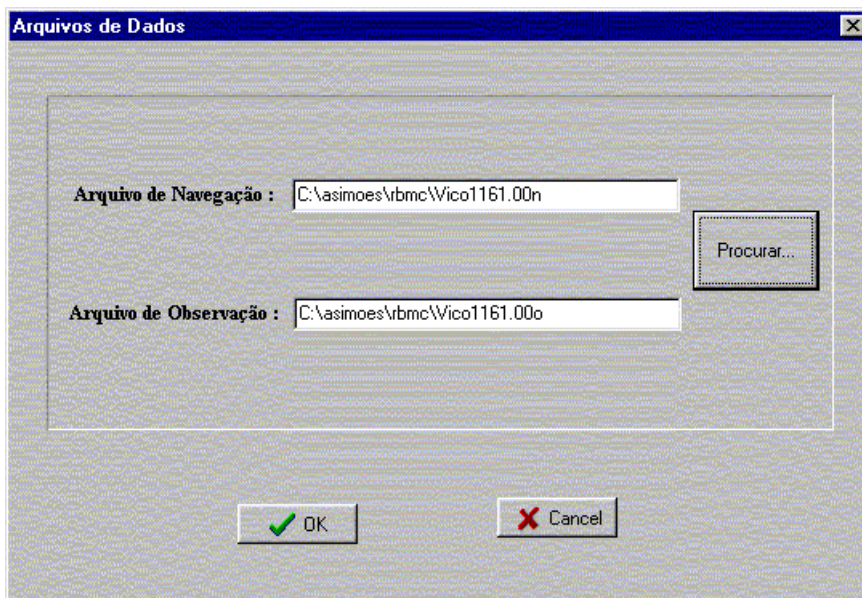


Fig. 1 : Escolha do arquivo

A tela a seguir, figura 2, exige inicialmente que o usuário escolha a época para a qual deseja calcular a posição do satélite. Feito isso o usuário deve escolher o número do satélite dentre aqueles disponíveis para a época escolhida.



Fig. 2 : Escolha de época e satélite

A próxima tela, figura 3, apresenta alguns dados calculados para se obter a posição do satélite escolhido. A maioria dos programas comerciais não exibem estes resultados intermediários.



Fig. 3 : Coordenadas no plano orbital

As coordenadas do satélite são exibidas na tela a seguir

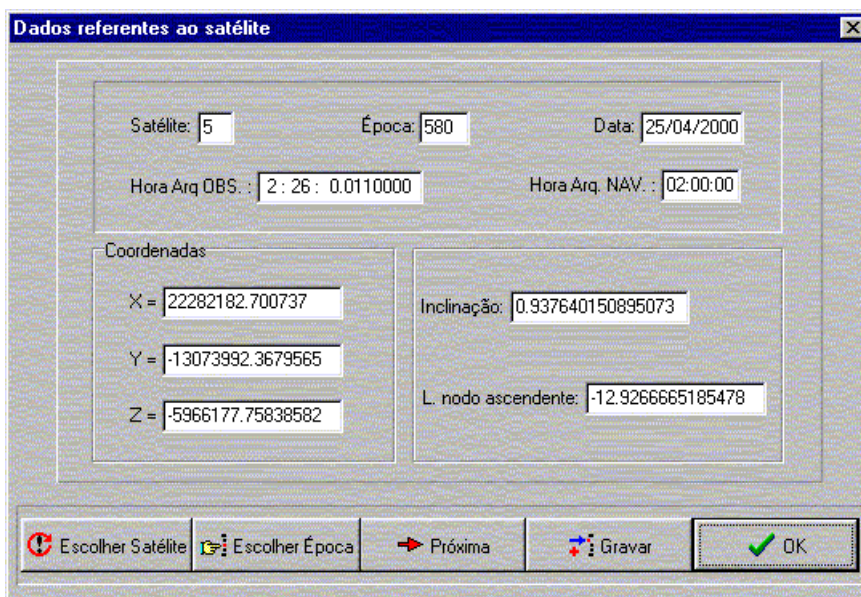


Fig. 4 : Coordenadas do satélite

A tela abaixo permite visualizar as coordenadas armazenadas ou excluí-las dependendo da escolha feita no menu da tela principal.

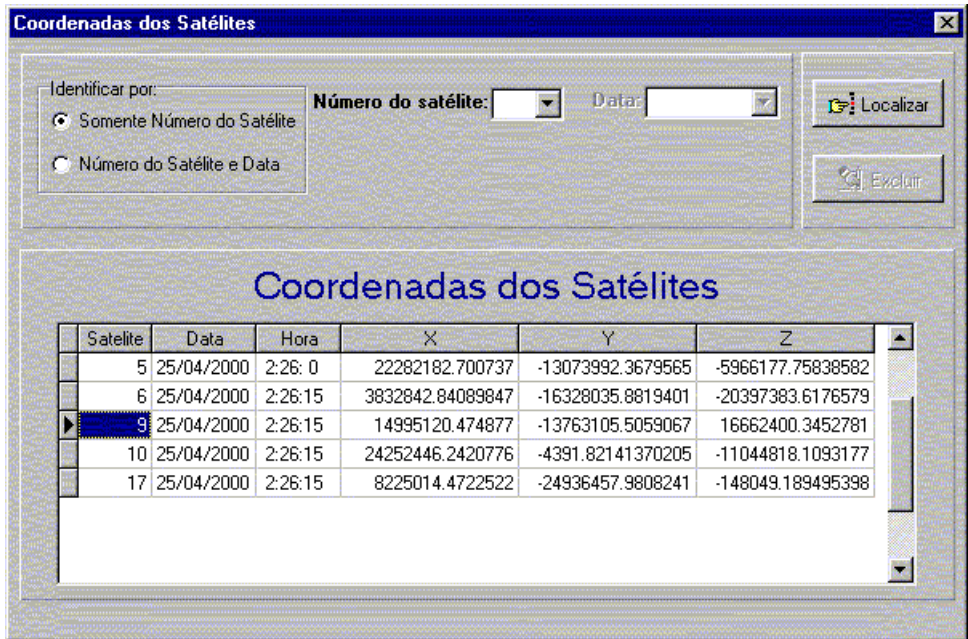


Fig. 5 : Coordenadas do conjunto dos satélites

Tendo calculado as coordenadas para pelo menos quatro satélites distintos para uma mesma data e hora, pode-se determinar as coordenadas do ponto. Isso é feito escolhendo-se os satélites para a data e hora requerida na tela abaixo. As coordenadas do ponto serão exibidas na tela subsequente.

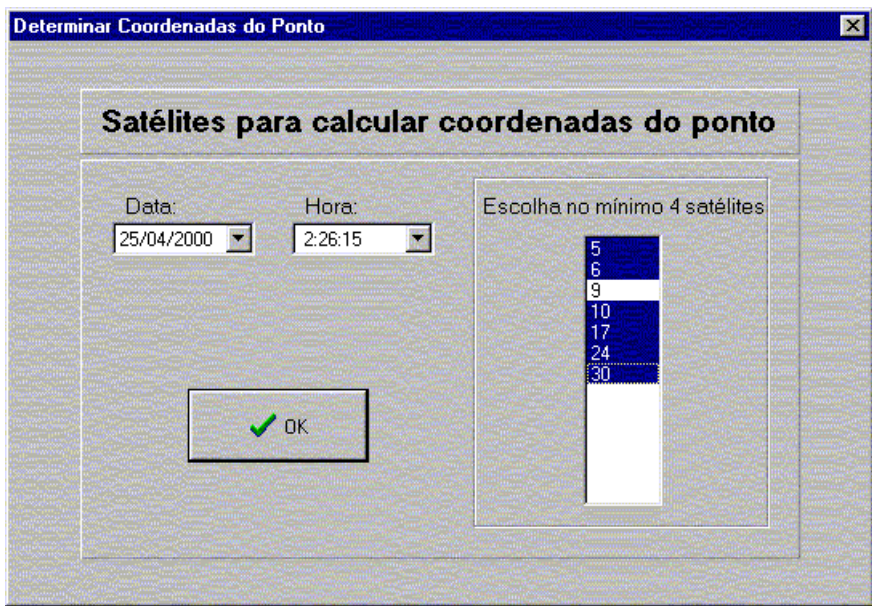


Fig. 6 : Escolha dos satélites

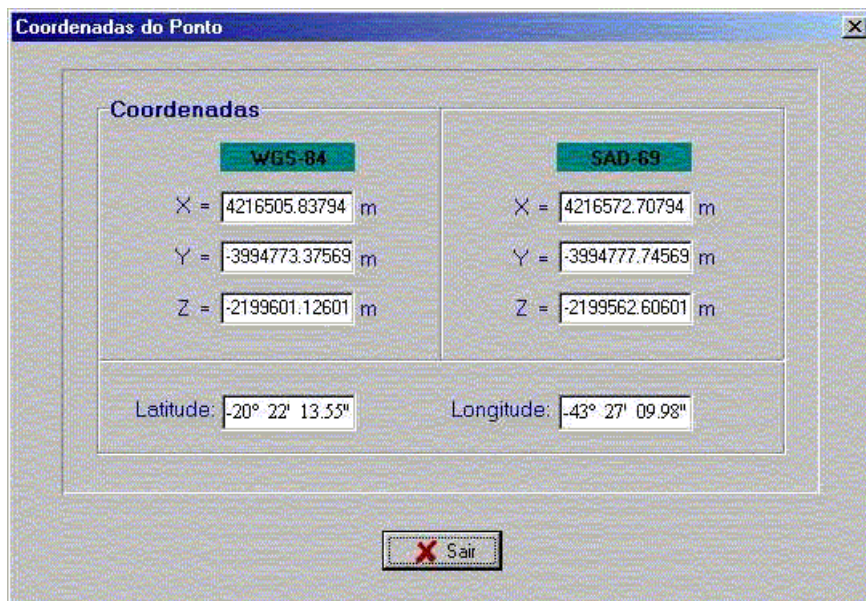


Fig. 7 : Coordenadas do ponto

O usuário poderá posteriormente ver as coordenadas dos pontos escolhendo tal opção no menu. A tela a seguir será apresentada. Nesta tela pode-se também obter a diferença entre as coordenadas do mesmo ponto, obtidas com diferentes números de satélites, já que dependendo das variações de satélites escolhidos ou do número de satélites as coordenadas não são exatamente as mesmas. Como a finalidade deste programa é prioritariamente didática, acreditamos que esta abordagem, embora não tenha apelo comercial, será importante para os iniciantes e mesmo para pesquisadores, no estudo do processamento GPS.

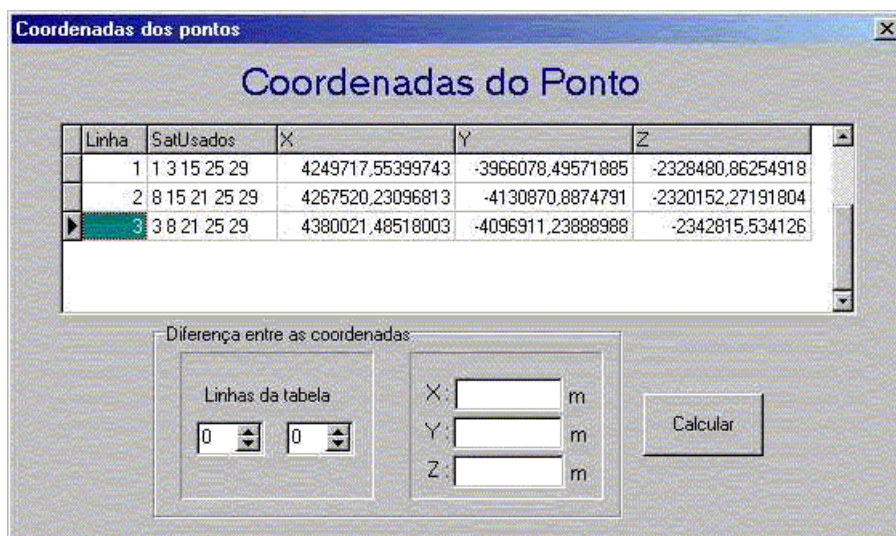


Fig. 8 : Coordenadas do estação, sob diferentes condições

4 Referências Bibliográficas

Cantù, M., *Dominando o Delphi 4*, Makron Books, São Paulo, 1998.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag, Vienna, 1992.

Leick, A., *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, N. York, 1990.

Marques, A. B., Oliveira, L. C., *Sistema Computacional para Cálculo das Órbitas de Satélites GPS*, XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife, 1999 – CDROM.

Monico, J. F. G., *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS*, UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, 1997.

Neira, J.L.C.S., *Sistema de Posicionamento Global (GPS)*, Instituto Geográfico Nacional, Ministério de Obras Públicas e Urbanismo. Madrid, 1988.

Rodrigues, D. D., *Uma análise da geometria oferecida pela constelação final do sistema GPS para posicionamentos por ponto*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

Seeber, G., *Satellite Geodesy*, Chap 7: The Global Positioning System, University of Hannover, Preprint, 1993.

Silva, A. S., *Global Positioning System – GPS*, Universidade Federal de Viçosa, 1998.

Van Dierendonck, A. J., Russel, S. S., Kopitzke, E. R., Birnbaum, M., *The GPS Navigation Message*, Global Positioning System, The Institute of Navigation, Alexandria, 1980.