

## UM EXPERIMENTO GPS PARA A PLATAFORMA SUBORBITAL (PSO)

**Paulo Giacomio Milani, Dr.**  
**Patrícia Trindade de Araujo, M.Sc.**  
**Helio Koiti Kuga, Dr.**

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE*  
*Divisão de Mecânica Espacial e Controle – DMC*  
*Av dos Astronautas 1758, Caixa Postal 515*  
*12201-970 S. José dos Campos, SP*  
[milani@dem.inpe.br](mailto:milani@dem.inpe.br), [ptaraujo@vento.com.br](mailto:ptaraujo@vento.com.br) e [hkk@dem.inpe.br](mailto:hkk@dem.inpe.br)

### Resumo

Este trabalho apresenta a concepção de projeto de um receptor GPS desenvolvido para voar em uma plataforma de microgravidade, a Plataforma SubOrbital (PSO). Serão abordados todos os aspectos que levaram à escolha de um receptor comercial que melhor se adequasse à essa utilização e que, por outro lado, permitisse um ganho de experiência da equipe no assunto. Com base nas características da trajetória, da velocidade máxima atingida e das acelerações típicas de um voo de um foguete de sondagem, foi possível considerar as necessidades e limitações inerentes básicas dos receptores GPS existentes no mercado e montar um experimento composto por dois receptores comerciais, uma CPU padrão PC-104 e dois conjuntos (arrays) de antenas. Apresenta-se os requisitos da missão e mostra-se a arquitetura do receptor que foi proposta para atendimento desses requisitos. Em seguida apresenta-se a arquitetura do software desenvolvido, o qual permitiu que o receptor funcionasse de forma compatível com a arquitetura do sistema de telemetria da PSO. Os testes realizados em ambiente de laboratório e ao ar livre permitiram que se avaliasse o funcionamento do receptor em condições estáticas e os dados de voo permitiram uma avaliação em condições dinâmicas. Ao fim do trabalho apresentam-se os resultados obtidos, as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

**Palavras Chave:** GPS, guiagem inercial, trajetografia.

## **A Plataforma SubOrbital – PSO e sua Missão**

Resumidamente a missão compreendeu o lançamento da PSO do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) em Natal, RN, em uma trajetória parabólica com apogeu de 270 Km de altitude e 226 Km de alcance. Foram levados a bordo um sistema de estabilização da plataforma, baseado em giroscópios e em propulsores a hidrazina; um Codificador de Telemetria com 80 canais analógicos e 70 digitais; um Experimento GPS, que contava com dois receptores comerciais adaptados para suportar as solicitações ambientais e dois sistemas de antenas com padrão de irradiação próximo ao omnidirecional [3]; um Bloco Acelerométrico para monitoração das acelerações residuais da plataforma; um Sistema de Recuperação, composto de pára-quedas e bóia; e uma baía de instrumentação com transponder radar e um experimento de microgravidade (acelerômetros) [4].

A velocidade máxima atingiu 1,85 Km/s. Tanto essa velocidade máxima do veículo como a altitude máxima alcançada (270Km) foram muito acima do limite fixado para o funcionamento de receptores GPS comerciais.

O principal objetivo deste receptor foi o de obter dados brutos (medidas de “pseudorange”) de vôo para pós-processamento em terra. Com isso pretende-se desenvolver software de processamento de dados GPS em solo para uso em missões espaciais, particularmente a determinação de trajetória e de órbita de satélites. O tipo de trajetória (parabólica) possibilitava uma vantagem adicional sobre as órbitas elípticas e circulares, pois ao atingir o apogeu a PSO estaria com velocidade vertical igual a zero, restando apenas a de translação, o que garante uma condição favorável para o receptor rastrear os satélites GPS. Depois, durante a queda livre, essa velocidade vertical aumenta (em módulo) gradativamente, permitindo verificar o limite de funcionamento do receptor.

Outro objetivo seria auxiliar a recuperação da PSO no mar, facilitando a sua localização pela equipe de resgate.

## **O Receptor GPS em linhas gerais**

O experimento GPS foi montado baseado em dois receptores GPS comerciais [1] [2], duas placas de conversão de protocolos RS-232, uma CPU padrão PC-104 e uma placa de I/O digital além dos circuitos de alimentação. Uma das placas dos receptores GPS tinha seu software destravado para funcionar acima de 18.000 metros e a outra não. A CPU e a placa de I/O digital serviram de interface entre os receptores GPS e o sistema de telemetria. A CPU, particularmente, formatava todos os dados em um padrão compatível com o aceito pelo Codificador de PCM da telemetria.

Optou-se por receptores GPS comerciais que, além de poder operar acima de 18.000m, fornecessem os dados brutos das medidas de pseudorange. Os dados brutos (medidas de pseudorange) e as soluções de navegação foram as mensagens escolhidas para serem transmitidas para o solo via telemetria. Para cada receptor enviou-se um trem de palavras com taxa de 400bps. O Codificador de PCM da PSO transmitia no total até 100kbps.

Com os dados brutos o software do INPE tem capacidade de gerar a solução de navegação da PSO [5], bem como o posicionamento relativo (GPS diferencial). Com isso pretendeu-se acompanhar a trajetória, pelo menos em parte, do foguete de sondagem. Infelizmente, por problemas com o enlace de RF foi apenas possível obter dados de telemetria durante os primeiros 48 segundos.

## **O hardware do receptor**

A Fig. 1 apresenta a montagem usada no receptor GPS. Pode-se notar mais ao centro as placas da CPU e de E/S (ou I/O) digital. As placas mais externas são dos receptores GPS e as demais são os conversores de protocolo RS-232 (0-5V para +/- 12V) e placas de interligação. Todo o conjunto foi montado em uma caixa de alumínio especialmente desenvolvida para acomodar as placas utilizadas. Um conector DB-50 na placa frontal permitiu a alimentação do conjunto e a interface com o sistema de telemetria.

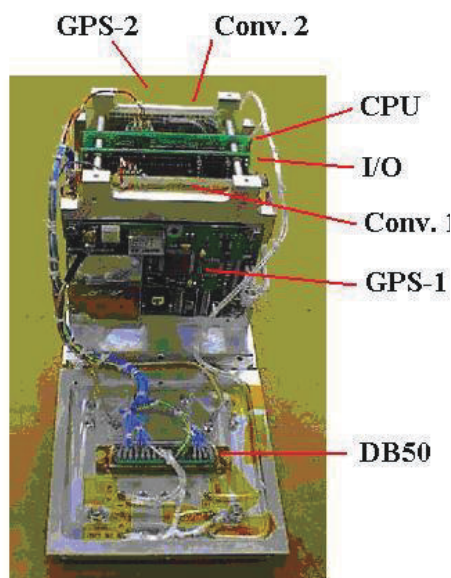


Fig. 1 – Montagem do RxGPS

#### Software do receptor

A missão e o tipo dos equipamentos de bordo da PSO colocaram alguns requisitos que dificultaram um pouco o desenvolvimento do software do receptor GPS. O receptor, por ser adquirido pronto no mercado, dispunha apenas de interfaces seriais padrão RS-232 ou RS-485, sendo que se adotou a primeira. Por outro lado o Codificador de Telemetria dispunha de entrada paralela digital de 10bits. Precisava-se compatibilizar a informação de um para poder ser enviada para o outro. Adicionalmente, havia a necessidade de compatibilizar as taxas de transmissão de dados do receptor GPS (19200bps, serial assíncrona) com a da telemetria (amostragem síncrona de uma palavra de 10 bits, paralela, com taxa de 400Hz para cada receptor). Finalmente, os receptores GPS precisavam ser inicializados para enviar as mensagens de interesse (de navegação e de dados brutos de rastreamento), apenas, o que devia ser executado no momento em que se ligava o aparelho. Todas essas condições tiveram que ser atendidas pela CPU padrão PC-104, a placa de E/S digital e, principalmente, o software embarcado. Na implementação realizada no INPE o software foi o responsável por enviar mensagens de comandos para o GPS-1 através da COM1, enviar mensagens de comandos para o GPS-2 através da COM2, receber mensagens de dados do GPS-1 pela COM1, receber mensagens de dados do GPS-2 pela COM2 e enviar todos os dados recebidos para a Telemetria através da placa de E/S digitais.

Pelo fato das comunicações por RS-232 serem assíncronas, o software precisou considerar a possibilidade de não haver uma dada mensagem quando fosse o momento de atualizar a interface da telemetria. Assim, a cada 1 ms, uma malha do software se repetia para ler os dados do primeiro receptor GPS, depois lia o dado do segundo receptor, escrevia as duas mensagens nas portas correspondentes da placa de E/S digitais e, então voltava para esperar novo pulso de sincronismo e reiniciar a malha, assim como apresentado na Fig. 2. No caso de não haver novos dados em uma dada execução da malha, os antigos eram enviados novamente e uma sinalização era feita nos dados.

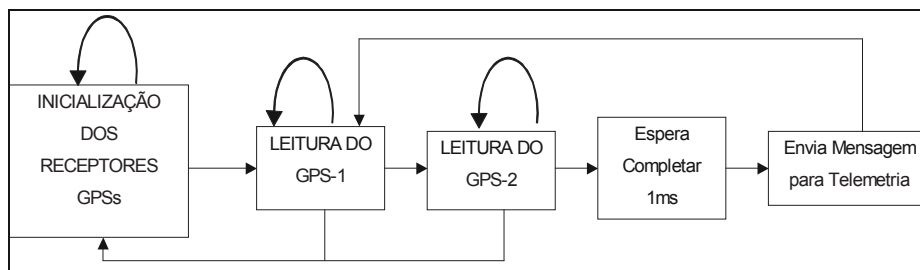


Fig. 2 – Diagrama do software da CPU do receptor GPS da PSO

Basicamente o programa adquiria as mensagens 20 e 23 do GPS A e depois do GPS B, e as enviava para a telemetria em aproximadamente 1 ms (o tempo de transmissão dos dados para telemetria é dado pelo pulso de sincronismo gerado pela própria telemetria.). Ver Fig. 3. O ciclo de execução do software começava logo após o recebimento do sinal de sincronismo pela CPU. A partir desse instante esta última enviava para a interface o último “byte” dos dados recebidos do receptor. Posteriormente o programa atendia as rotinas de leitura das mensagens do Receptor GPS A e, em seguida, do GPS B. Esses novos dados recebidos eram então armazenados em memória para serem enviados posteriormente quando o ciclo se reiniciasse. Era muito importante que se aguardasse o sinal de sincronismo pois durante o tempo de duração daquele pulso o codificador de telemetria estava lendo as respectivas portas e, portanto, os bits deveriam ser mantidos constantes.

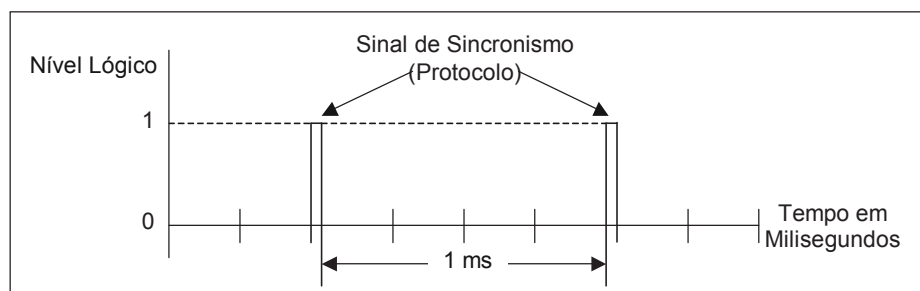


Figura 3 – Sinal de Sincronismo (Protocolo) gerado pela placa de E/S digital.

Um ponto muito importante e delicado foi a configuração da porta serial que devia estar configurada de acordo com as configurações de recepção/transmissão serial dos receptores GPS, caso contrario a comunicação se tornaria impossível. Outro ponto importante a considerar é que a mensagem 23 depende dos satélites em visada e ela só começava a ser transmitida se no campo do receptor já tivessemos pelo menos 3 satélites, logo o software devia estar preparado para essa ausência de mensagem.

### Resultados obtidos

Os resultados obtidos foram bastante limitados devido à telemetria ter sido recebida durante os primeiros 48s da trajetória, apenas. Durante esse período o receptor forneceu dados brutos e soluções de navegação durante uma parte do tempo total, inclusive por problemas de perda temporária do sinal de telemetria. O tempo de resposta do receptor para as soluções de navegação também foi diferente do que se tinha em solo (1Hz), fornecendo poucos resultados durante os poucos segundos em que se obteve informações. Ainda assim os receptores não funcionaram durante todo esse intervalo, provavelmente devido às acelerações, que ultrapassavam os 10g.

Assim um dos receptores funcionou integralmente (fornecendo as soluções de navegação) até a altitude de 6km e o outro parou de funcionar já logo após o lançamento, o que surpreendeu visto que esse era o receptor com software destravado para funcionar acima de 18Km. Por outro lado as medidas brutas de rastreo foram sendo fornecidas por mais algum tempo depois de não se ter mais as soluções de navegação.

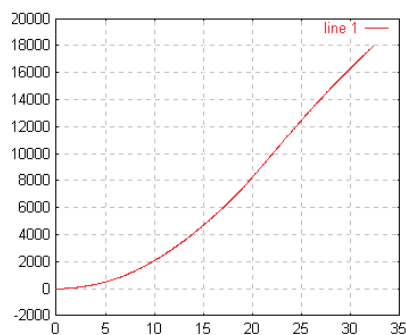


Fig. 4 – Altitude da PSO (m) em função do tempo (s)

A Fig. 4 apresenta a altitude da PSO ao longo do tempo, em segundos. Para o receptor GPS A, até os 12 segundos o receptor rastreou 8 satélites e depois até os 20s continuou rastreando 3 satélites. Os dados estavam disponíveis a cada décimo de segundo até esse momento. A altitude da PSO nesse instante era de 6km.

Para o receptor GPS B, houve rastreo de 5 satélites GPS até 0.6s após o lançamento, apenas, sendo que daí em diante ele rastreou apenas 1 satélite, mas por um período de 30.3s. Note que nesse instante a PSO estava se aproximando dos 17km de altitude.

#### Problemas encontrados e soluções adotadas

O maior problema com o receptor GPS aqui descrito foi a relativa fragilidade em relação aos testes ambientais. Mesmo considerando-se a curta duração da missão (15 min), os requisitos relativos à vibração foram difíceis de serem satisfeitos. Embora as placas de circuito impresso fossem muito pequenas, na configuração do padrão PC-104 elas são suportadas apenas por quatro pontos, o que se mostrou insuficiente. Foi necessário retrabalhar o conjunto para dar mais rigidez ao mesmo, o que só foi obtido pela fixação das bordas das placas de circuito impresso na estrutura de alumínio da caixa.

Adicionalmente, todas as placas tiveram seus componentes colados com adesivo estrutural. Todos os cabos de conexão à placa foram soldados aos conectores (tipo Edge) uma vez que esses conectores não eram fixados por parafusos, embora esse seja um procedimento padrão de interligação de placas usadas nos satélites do INPE. Os conversores DC-DC e filtros de linha usados foram fixados à carcaça externa do receptor, uma vez que esta era bastante rígida para suportar a massa desses componentes, o que também possibilitou o aterramento térmico dos mesmos.

Finalmente, os problemas de enlace do sinal de telemetria, que impossibilitaram a recuperação dos dados durante fases mais favoráveis da missão.

#### Conclusões

Os resultados obtidos foram parcialmente prejudicados pela perda do enlace de RF mas permitiu que alguns resultados parciais fossem obtidos. Segundo as análises preliminares seria possível obter dados de voo do foguete de sondagem pelo menos durante a fase descendente da trajetória. Foi possível acompanhar o percurso do veículo até a altitude de 6km com um dos receptores e o segundo respondeu apenas ao nível do

solo. Ambos forneceram medidas brutas de rastreio até 17km. Não se pode afirmar que essa perda de sinal tenha sido devida à limitação inerente do software dos receptores comerciais.

**Bibliografia:**

[1] Canadian Marconi, AllStar Users Manual, Publication No. 1200-GEN-0101A, 13 de novembro de 1998, Quebec, Canadá.

[2] Canadian Marconi, AllStar OEM (CMT-1200) Specifications, Revision G, DOC NO. 1826-1127, 15 de fevereiro de 1996, Quebec, Canadá.

[3] Enderle, W.; Arbinger, C.; Junqueira, C.; Milani, P.G.; A Simple and Low Cost two Antennas Concept for the Tracking of a Sounding Rocket Trajectory Using GPS, ION GPS 2000, September 19-22, 2000, Salt Lake City, UT, USA.

[4] Milani, P.G.; Sistema da Plataforma SubOrbital – PSO, Relatório interno de Revisão Final de Projeto ocorrida em 15/03/2000, PSO-00000, INPE, São José dos Campos, SP.

[5] Milani, P.G.; Kuga, H.K.; Brandão, A.L.; Uma Proposta de um Sistema Tipo GPS Referenciado a Estações Fixas no Solo. II SBEIN, IPQM, 21 a 23 de outubro de 1998, Rio de Janeiro, RJ.