

# Análise da Vulnerabilidade de Receptores GPS Comerciais sob Ação de Interferência Intencional

Carlos Renato Macedo de Souza, Maurício Henrique Costa Dias e José Carlos Araujo dos Santos  
Instituto Militar de Engenharia – IME, Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro – RJ

**Resumo** — Este trabalho aborda o desempenho de receptores GPS comerciais sob ação de fontes de interferência intencionais. Primeiramente, é realizada uma descrição sucinta do GPS, destacando seu princípio de funcionamento, sua estrutura e as características dos sinais envolvidos. Em seguida são analisados e descritos alguns tipos de interferências intencionais e não intencionais, apresentando-se um equacionamento básico para dimensionamento de sistemas interferentes intencionais. Testes realizados com um receptor de uso civil típico, perante sinais interferentes, permitiram a avaliação da relação interferência-sinal necessária para impedir a recepção e o processamento dos sinais oriundos da constelação GPS.

**Palavras-chaves** — GPS, jamming, interferência intencional.

## I. INTRODUÇÃO

A ciência da navegação vem sendo desenvolvida há muito tempo. Não faltam registros nos quais marinheiros ancestrais observavam a localização do sol, da lua e das estrelas como forma de direcionamento marítimo [1]. Com as crescentes inovações tecnológicas, surgiram os sistemas de radionavegação, que podem ser divididos em duas categorias: sistemas de radionavegação baseados em terra, dos quais se destacam o LORAN A, o LORAN C e o OMEGA; e sistemas de radionavegação baseados em satélite, dos quais se destacam o NAVSTAR-GPS, o GLONASS e o GALILEO.

O NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time And Ranging-Global Positioning System*), ou simplesmente GPS, foi desenvolvido na década de 70, pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). Inicialmente, tratava-se de um projeto para uso exclusivo das forças armadas americanas. Entretanto, a precisão e a confiabilidade do sistema, além da viabilidade econômica na fabricação de receptores mais baratos, tornaram o GPS muito requisitado também em aplicações civis, tais como aviação, geodésia, agricultura, entre outras.

Embora seja extremamente complexo e bem elaborado, o GPS tem sido exposto a diversos tipos de interferências, intencionais ou não, que podem causar alterações na precisão do serviço, ou simplesmente, inviabilizar a utilização do mesmo. Em virtude disto, diversos estudos, fóruns e debates têm sido realizados para discutir soluções para a “vulnerabilidade” do sistema.

C. R. M. de Souza, carlos\_rms@hotmail.com; M. H. C. Dias, mhcdias@ime.br, Tel +55-21-38204135; araujo@ime.br, Tel. +55-21-38204164, Fax +55-21-25467039

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo DCT, através do PBCT, e pela CAPES.

Este trabalho se encaixa no contexto em questão, apresentando resumidamente os principais resultados de uma análise realizada recentemente sobre o desempenho de receptores GPS comerciais sob ação de fontes de interferência intencionais [2]. Cumpre acrescentar que este tipo de análise é de interesse do Exército Brasileiro, em especial no que concerne aos objetivos estabelecidos para o Grupo Finalístico de Guerra Eletrônica (GGE) do Plano Básico de Ciência e Tecnologia (PBCT). O PBCT foi uma iniciativa do Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército (DCT), que em 2004 reestruturou suas ações na área de C&T com diversos objetivos, em especial para dar maior visibilidade de suas ações ao público interno e para otimizar o gerenciamento dos recursos investidos em pesquisa e desenvolvimento [3].

O presente trabalho está estruturado em cinco seções. Na seção seguinte é realizada uma descrição sucinta do GPS, destacando seu princípio de funcionamento, sua estrutura e as características dos sinais envolvidos. Em seguida são analisados e descritos alguns tipos de interferências intencionais e não intencionais, apresentando-se um equacionamento básico para dimensionamento de sistemas interferentes intencionais (*Jamming*). Na seção IV, são apresentados os testes realizados com um receptor de uso civil típico perante sinais interferentes, os quais permitiram a avaliação da relação interferência-sinal necessária para impedir a recepção e o processamento dos sinais oriundos da constelação GPS. Por fim, são apresentados comentários finais sobre os resultados deste trabalho.

## II. O SISTEMA GPS

Pode-se dividir o GPS em três segmentos principais: segmento espacial, segmento de controle e segmento de usuário. O segmento espacial é formado, basicamente, pelos satélites do sistema que são responsáveis pelo envio de sinais para as estações móveis localizadas em qualquer ponto do globo terrestre. O segmento de usuário é formado pelos receptores de GPS que estimam a própria posição baseados nos sinais recebidos do segmento espacial. O segmento de controle realiza atualizações de dados nos satélites, como por exemplo, ajustes nos relógios e correção das efemérides.

Os sinais de GPS contêm três diferentes tipos de dados: um código pseudo-randômico que identifica o satélite que transmitiu a informação; os dados de efemérides que são transmitidos por cada satélite; e os dados de almanaque que informam ao receptor a localização de cada satélite, a qualquer hora do dia.

O GPS oferece dois tipos de serviço de posicionamento: o SPS (*Standard Positioning Service*) – serviço de posicionamento padrão; e o PPS (*Precise or Protected Positioning Service*) – serviço de posicionamento preciso. O SPS é liberado para qualquer usuário que possua um receptor adequado. Este serviço é gratuito e recomendado apenas para aplicações cujo requerimento de precisão não seja tão rigoroso. O PPS é restrito a usuários militares e a usuários civis devidamente autorizados.

O princípio fundamental de funcionamento do GPS é baseado na medida das chamadas “pseudo-distâncias” entre o usuário e pelo menos quatro satélites [4]. A localização do receptor móvel é estimada com base num processo de triangulação [5].

Os satélites GPS transmitem duas portadoras em banda L ( $L_1 = 1.575,42$  MHz e  $L_2 = 1.227,6$  MHz), derivadas de uma frequência fundamental de 10,23 MHz. Estas portadoras são moduladas em BPSK por um sinal resultante da combinação de códigos pseudo-aleatórios (PRN – *Pseudo Random Noise*) com uma outra seqüência conhecida como “Mensagem de Navegação” (*Data Signal*). Os códigos PRN utilizados pelo GPS, denominados C/A e P, pertencem à família de códigos conhecida como “Códigos de Gold” [6]. Eles são associados a cada satélite e provocam um espalhamento na portadora. A técnica é baseada no CDMA (*Code Division Multiple Access*), cujas características de baixa correlação cruzada possibilitam a recuperação da informação com sinais abaixo do nível de ruído.

A portadora L1 é modulada tanto pelo código C/A quanto pelo código P, utilizando-se quadratura em fase. A portadora L2 transporta apenas o código P. A mensagem de navegação é embutida em ambas portadoras [4].

A largura de banda ocupada por um código C/A na frequência L1 é de 2,046 MHz. A largura de faixa de transmissão total do satélite GPS é de 20 MHz, para suportar a transmissão do código P. A Fig. 1 apresenta as características espectrais de um sinal GPS na frequência L1. A transmissão do código C/A contém um lóbulo principal e vários lóbulos secundários dentro da faixa total do GPS.

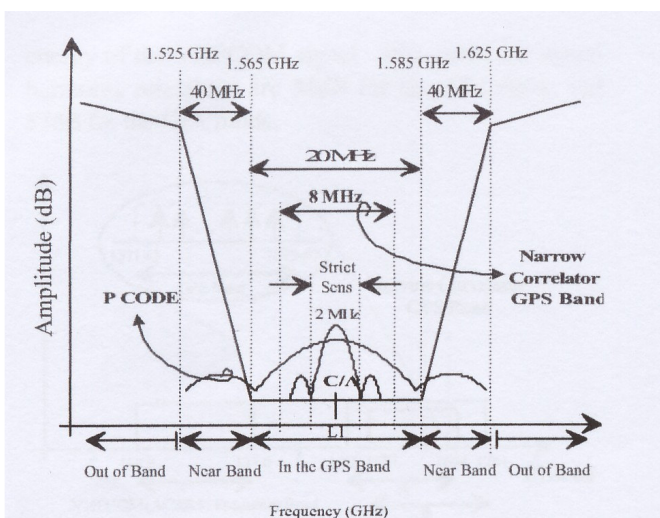


Fig. 1. Banda detalhada do GPS.

### III. INTERFERÊNCIAS NO GPS

As interferências nos sistemas de navegação, em especial no GPS, têm sido objeto de muitos estudos e discussões em todo

mundo. Elas podem ser divididas em fundamentalmente interferências intencionais e não-intencionais.

A qualidade do sinal recebido pode ser avaliada através da relação sinal-ruído ( $S/N$ ), que pode ser definida como sendo a relação entre a potência do sinal recebido do satélite e a potência de ruído que acompanha o sinal. O ruído pode ser causado pelo próprio receptor, por fenômenos naturais (radiações atmosféricas capturadas pela antena) ou por transmissores de sinais interferentes.

A título de exemplo, a Fig. 2 apresenta a variação da precisão da pseudo-distância em função de  $S/N$  e do ângulo de elevação (El), para um correlator padrão e para um correlator de faixa estreita [7].

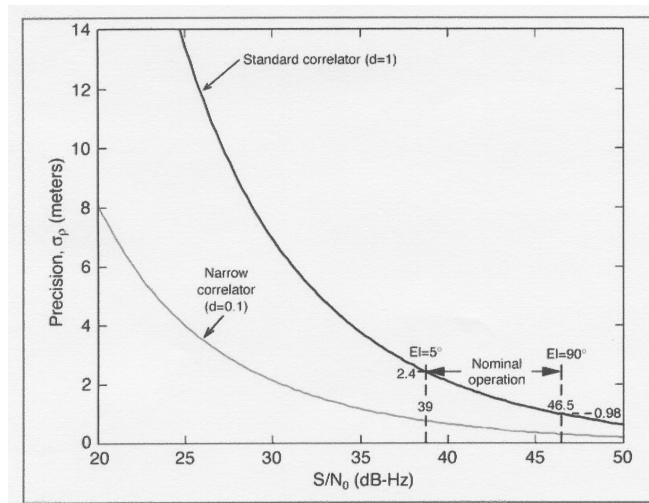


Fig. 2. Variação da precisão das pseudo-distâncias em função da relação sinal-ruído do sistema.

As interferências não intencionais são atribuídas às fontes de erros sistêmicos e aos problemas causados por emissões espúrias oriundas de outros serviços, tais como TV via satélite, estações de rádio FM, radioamadores, entre outros.

As interferências intencionais são aquelas que mais preocupam a comunidade usuária. São provenientes de transmissores de diversos tipos, projetados exclusivamente com o propósito de causar danos ao sistema, podendo causar o bloqueio dos canais, impossibilitando a aquisição dos códigos, ou provocar alteração dos mesmos com o objetivo de afetar a precisão do posicionamento.

As interferências podem ser transmitidas de maneira contínua ou pulsada, sendo comumente classificadas de acordo com a largura de faixa espectral que ocupam, da seguinte forma:

- Sinais de onda contínua (*Continuous Wave – CW*): são transmitidos continuamente, com largura de faixa menor que 100 KHz.
- Sinais de faixa estreita (*Narrowband – NB*): ocupam uma banda de aproximadamente 2,046 MHz (largura de banda do código C/A). Apesar de não ser condição necessária, estes sinais são normalmente centrados em L1 ou L2.
- Sinais de banda larga (*Wideband – WB*): sinais ocupando aproximadamente 10,23 MHz (largura de banda do código P) centrados em L1 ou L2.

Quando um sinal interferente é recebido juntamente com o sinal desejado, ele também é correlatado com a réplica do código durante processo de recepção e sofre espalhamento sobre a banda do GPS. Simultaneamente, o sinal desejado é recompactado. O sinal espalhado pode ser considerado como um ruído artificial que será somado ao ruído térmico, provocando uma degradação na relação  $S/N$ , a qual passa a ser:

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{S}{N_0 + N_J} \quad (1)$$

onde  $N_J$  é a densidade de potência do ruído interferente [7].

Se a potência do ruído interferente (artificial) for menor que a potência do ruído térmico, não haverá impacto significativo no sistema. Se  $N_J = N_0$ , a relação  $S/N$  é degradada em 3 dB. Os projetos de interferidores baseiam-se nesta teoria para transmitir sinais com níveis de potência suficientemente grandes para provocar degradação na relação  $S/N$ , de forma a torná-la menor que a mínima exigida pelo receptor para que os dados possam ser demodulados  $[(S/N)_{TH}]$ .

Num projeto de interferidores, é de fundamental importância conhecer a potência mínima necessária para afetar um receptor num determinado ponto. No caso de um interferidor de faixa estreita (NB) em visada direta, esta potência pode ser calculada através da equação [8]:

$$P_J - 20 \log \frac{\lambda}{4\pi d} + G_J + G_r = P_{TH} \quad (2)$$

onde  $P_J$  é a potência do interferidor,  $d$  é a distância de interferência,  $G_J$  é o ganho da antena de transmissão do sinal interferente,  $G_r$  é o ganho da antena de recepção, e  $P_{TH}$  é a potência de limiar (nível do sinal recebido do satélite adicionado de uma margem de segurança  $M_J$ ).

A margem de segurança para garantir a eficiência do interferidor pode ser determinada através de [8]:

$$M_J = G_p - \left[ L_{sys} + \left(\frac{S}{N}\right)_{out} \right] \quad (3)$$

onde  $G_p$  é o ganho de processamento (característico da técnica de espalhamento de espectro), que para o GPS é dado por:

$$G_p = \frac{f_c}{f_d} = \frac{1023MHz}{50Hz} = 43,1dB \quad (4)$$

$L_{sys}$  é a perda no correlator (que varia entre 0,5 e 3 dB, sendo tipicamente igual a 2 dB) e  $(S/N)_{out}$  é a relação sinal-ruído requerida pelo demodulador para obtenção dos dados de navegação. Para uma taxa de erro de bits (BER)  $< 10^{-5}$  este último parâmetro vale tipicamente 16 dB [8].

No GPS, quanto maior for o ângulo de elevação do satélite, maior será a potência do sinal recebido. O nível de sinal, oriundo do satélite, recebido pelo receptor é de aproximadamente  $-127$  dBm (ou  $-157$  dBW) em elevação

máxima. Substituindo os valores típicos mencionados em (3), obtém-se uma margem de segurança de interferência de 25 dB. A distância de interferência pode ser calculada, através de (2).

#### IV. AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA INTENCIONAL SOBRE O GPS

Com o propósito de se avaliar o comportamento de um receptor de GPS de uso civil quando submetido a sinais interferentes irradiados intencionalmente na sua direção, foi implementado um “sistema gerador de interferência”, como o mostrado na Fig. 3. Tal sistema possui um gerador de sinais em L1 ou L2, um acoplador direcional para amostrar parte do sinal em um analisador de espectro, um atenuador variável e uma antena de GPS.

A implementação do gerador de interferência da Fig. 3 teve como meta uma análise qualitativa da vulnerabilidade de um sistema GPS comercial. Não houve, no trabalho, objetivo de se realizar testes extensivos com um grande número de receptores civis ou militares, nem com vasta gama de sinais interferentes. O receptor testado foi escolhido aleatoriamente, dentre os disponíveis na ocasião da realização dos testes.

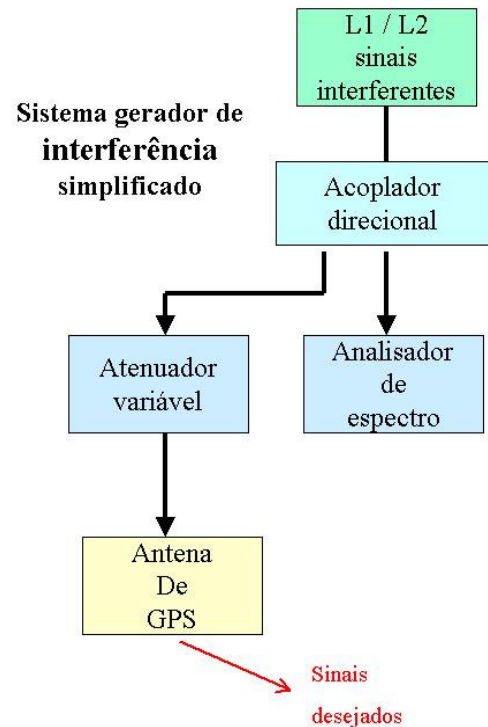


Fig. 3. Sistema gerador de interferência simplificado.

Com o sistema da Fig. 3, foram gerados alguns tipos de sinais interferentes cujas características espectrais pudessem causar interferência nos canais do receptor. O analisador de espectro foi usado para se avaliar os níveis de potência irradiada e a forma espectral do sinal transmitido.

O trabalho consistiu inicialmente na geração de sinais interferentes de faixa estreita (NB), onde foram utilizados três tipos de sinais na frequência de L1: sinais modulados em

amplitude; sinais modulados em frequência; e sinais sem modulação.

Pretendia-se realizar, também, testes com a geração de um sinal interferente de banda larga, utilizando-se um gerador de ruído para provocar o espalhamento espectral de uma portadora centrada em 1575,42 MHz. Porém, devido à fragilidade apresentada pelo GPS perante aos sinais de faixa estreita, conforme comprovado pelos resultados a seguir, esses testes tornaram-se desnecessários.

Por questões técnicas, tais como facilidade de transporte e pontos de energia para alimentação, os equipamentos do sistema gerador de interferência foram instalados numa sala do IME com janela para a rua (onde o receptor foi posicionado).

Inicialmente, foi irradiada uma potência interferente de 15 dBm, incluindo as perdas no duplicador de frequências, nos cabos e nos conectores, correspondente à máxima potência do gerador. A antena utilizada possui um diagrama de irradiação hemisférico com ganho máximo de 10 dB na frequência L1. A distância entre o sistema interferente e o receptor de GPS utilizado nos testes foi de aproximadamente 40 m. Com os valores apresentados, chegou-se a uma potência de interferência recebida de -96 dBm e a uma potência recebida do sinal desejado de -124 dBm, o que gera uma razão  $J/S$  de 28 dB.

Em seguida, com o auxílio de um atenuador variável, provocou-se variações na relação  $J/S$ . Os resultados observados são apresentados na Tabela 1. O bloqueio foi caracterizado pela mensagem de “fraca cobertura de GPS no receptor”.

TABELA 1. Resultados da ação do interferidor sobre o receptor em teste.

Resultado dos testes				
J (dBm)	DISTÂNCIA (m)	J/S (dB)	BLOQUEIO	SINAIS INTERFERENTES
15	40	28	SIM	NB sem modulação / NB-AM / NB-FM
10	40	23	SIM	NB sem modulação / NB-AM / NB-FM
5	40	18	NÃO	NB sem modulação / NB-AM / NB-FM
0	40	13	NÃO	NB sem modulação / NB-AM / NB-FM

Pelos testes realizados, pode-se dizer que foi constatada a necessidade de se gerar uma relação  $J/S$  mínima entre 23 e 28 dB para interferir no receptor de GPS utilizado. Não foi constatada nenhuma diferença na eficiência de interferência em virtude da utilização das técnicas de modulação testadas.

## V. COMENTÁRIOS FINAIS

Testes foram realizados com um interferidor transmitindo sinais NB, modulados em amplitude (AM) e em frequência (FM), e sinais CW (sem modulação). O objetivo foi analisar o comportamento de um receptor de uso civil típico na presença de sinais interferentes.

Devido à grande distância entre os satélites e os receptores, a “imunidade” da técnica de espalhamento espectral torna-se praticamente sem efeito na presença de sinais interferentes com níveis de potência relativamente baixos. Nos testes, observou-se que o receptor apresentou a mensagem “fraca cobertura de GPS” quando atingido por um sinal interferente produzindo um relação  $J/S$  de aproximadamente 23 dB. Observou-se que uma relação  $J/S = 18$  dB não foi suficiente para provocar o bloqueio dos canais do receptor testado.

Adicionalmente, não foi constatada nenhuma diferença na eficiência de interferência em virtude da utilização das técnicas de modulação em banda estreita. Vale ressaltar a simplicidade dos testes realizados, aproveitando-se os recursos disponíveis no IME.

Acredita-se que as informações apresentadas podem ser aproveitadas tanto por aqueles interessados em projetar sistemas interferidores quanto por aqueles interessados em prover maior segurança ao sistema GPS.

## REFERÊNCIAS

- [1] T. Logsdon, *The Navstar Global Positioning System*, VNR, 1992.
- [2] C. R. M. de Souza, “Interferidores de GPS: análise do sistema e de potenciais fontes de interferência”, dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ, Fev 2005.
- [3] Plano Básico de Ciência e Tecnologia 2007-2010, Departamento de Ciência e Tecnologia – Exército Brasileiro, Brasília – DF, 2006.
- [4] G. Seeber, *Satellite Geodesy: foundations, Methods and Applications*, de Gruyter, 1993.
- [5] E. Kaplan, *Understanding GPS: principles and applications*, Artech House publishers, 1996.
- [6] A. Leick, *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, 1995.
- [7] F. Butsch, “A Growing Concern Radiofrequency Interference and GPS”, *GPS World*, Out 2000.
- [8] Landry e Renard, “Analysis of Potencial Interference Sources And Assessment of Present Solutions For GPS/GNSS Receivers”, disponível em 12/03/2005 no site [www.ele.etsmtl.ca/profs/rlandry](http://www.ele.etsmtl.ca/profs/rlandry).