



## A Técnica de Rádio Ocultação de GPS como Ferramenta para o Estudo da Atmosfera Terrestre

Cristiano Max Wrasse, Hisao Takahashi, Joaquim Fechine

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos (SP)

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Neste trabalho será descrita a técnica de rádio ocultação de GPS e as suas potencialidades para o estudo da atmosfera terrestre, bem como as diversas áreas da ciência em que esta técnica vem sendo empregada.

### Introdução

A idéia da rádio ocultação atmosférica surgiu na época dos primeiros vôos interplanetários. Os cientistas, procurando extrair o máximo de informação na passagem de naves interplanetárias no sistema solar, notaram que ao passar atrás dos planetas os sinais de rádio destas naves eram sistematicamente refratados pela atmosfera. Iniciou-se então uma nova fase para desenvolver metodologias para deduzir as propriedades atmosféricas a partir dos efeitos observados que incluíam, deslocamento Doppler, atenuação e cintilação. Através da rádio ocultação têm-se sondado atualmente a atmosfera e algumas propriedades de superfície de vários planetas, além de suas luas e de sistemas de anéis que circundam alguns planetas (e.g., Kliore et al., 1965; Fjeldbo and Eshelman, 1968; Fjeldbo et al., 1971; Eshelman, 1973; Lindal et al., 1983; Tyler, 1987; Lindal, 1992).

Na década de 60 houve sugestões de se usar a técnica da rádio ocultação para o caso da Terra (Fishbach, 1965; Lusignan et al., 1969), mas a vasta infra-estrutura necessária implicaria num custo "que excederia o nível de interesse". Porém, o atual desenvolvimento de receptores de sinais de GPS de reduzido tamanho e alto desempenho cria a oportunidade de sondagem remota ativa da atmosfera por rádio ocultação e a um baixo custo.

Do ponto de vista de um sistema de baixa órbita terrestre ou LEO (*Low Earth Orbiter*) uma ocultação ocorre quando um satélite GPS nasce ou se põe atrás do limbo da Terra, e o caminho do raio de seu transmissor atravessa a atmosfera terrestre. A Figura 1 ilustra a geometria para que ocorra uma rádio ocultação. Quando o sinal passa através da atmosfera ele é refratado e retardado pelas variações no índice de refração, produzindo variações

distintas na amplitude e fase do sinal recebido. Como a geometria muda, as ondas de rádio sondam camadas atmosféricas sucessivamente mais profundas e densas.

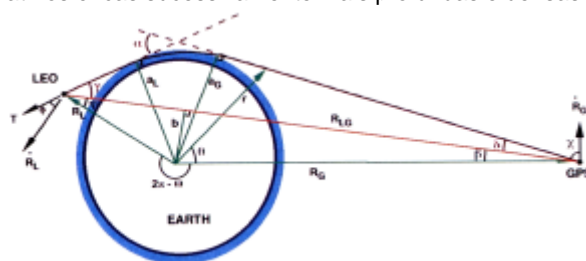


Figura 1 – A geometria do caminho do raio para a configuração LEO-GPS.

FONTE: Melbourne et al. 1994.

A partir das variações na amplitude e fase do sinal, estas sondagens podem ser usadas para obter um perfil de índice de refração, e a partir deste pode-se derivar parâmetros atmosféricos tais como: densidade, pressão, temperatura, vapor d'água e densidade de elétrons. Medidas perfil por rádio ocultação são quase instantâneas (1 ou 2 minutos) e sondam toda a atmosfera a partir da superfície, em comparação, por exemplo, a um perfil por radiossondagem que é realizado em cerca de 90 minutos para uma altura máxima de 30 km.

A técnica da rádio ocultação de GPS fornece sondagens atmosféricas de perfis de temperatura sob quaisquer condições de tempo, particularmente nas regiões da alta troposfera e baixa estratosfera, com uma precisão melhor que outras técnicas de sensoriamento remoto. A resolução vertical da rádio ocultação de GPS é de ~1 km na estratosfera até 100m próximo da superfície, onde os gradientes de refratividade são maiores. Estas resoluções são comparáveis ou até maiores do que os melhores sensores convencionais a bordo de satélites.

As medidas de rádio ocultação possibilitam um mapeamento global da ionosfera com suficiente resolução espacial e temporal para investigar importantes processos dinâmicos no sistema ionosfera/termosfera e suas relações com processos na atmosfera neutra e na geofísica terrestre.

Atualmente, tem-se os elementos vitais para um empreendimento de uma sondagem global por ocultação de GPS: uma enorme quantidade de sinais atingindo todo o globo, grandes constelações de LEO's equipados com receptores de GPS e projetados convenientemente para uma transferência de dados globais instantaneamente, microeletrônica de baixo custo de surpreendente

potência, e a técnica de ocultação, a mais precisa, e provavelmente mais simples sondagem atmosférica a partir do espaço, já inventada. A contribuição científica atinge desde a meteorologia e climatologia à física da ionosfera, clima espacial, geodésia e oceanografia física. A Figura 2 mostra algumas atividades científicas nas quais a radio ocultação por GPS terá um impacto decisivo.



Figura 2 - Exemplos de diversas áreas da ciência da Terra nas quais as missões de ocultação de GPS terão um impacto significativo.

FONTE: Adaptada de Yunck et al. 2000.

### Referências

Eshelman, V. R. The radio occultation method for the study of planetary atmospheres, *Planet. Space Sci.*, 21, 1521-1531, 1973.

Fjeldbo, G. and V. R. Eshelman, The atmosphere of Mars analyzed by integral inversion of the Mariner IV occultation data, *Planet. Space Sci.*, 16, 1035-1059, 1968.

Fjeldbo, G., A. J. Kliore, and V. R. Eshelman The neutral atmosphere of Venus as studied with the Mariner V radio occultation experiments, *Astron. J.*, 76, 2, 123-140, 1971.

Kliore, A. J., T. W. Hamilton, and D. L. Cain, Determination of some physical properties of the atmosphere of Mars from changes in the Doppler signal of a spacecraft on an earth occultation trajectory, *Technical Report 32-674*, JPL, Pasadena, CA., 1965.

Lindal, G. F. The atmosphere of Neptune: an analysis of radio occultation data acquired with Voyager 2, *Astron J.*, 103, 3, 967-982, 1992.

Lindal, G. F. et al., The atmosphere of Titan: An analysis of the Voyager 1 radio occultation measurements, *Icarus*, 53, 2, 348-363, 1983.

Thayer, D. An improved equation for the radio refractive index in air, *Radio Science*, 9, 803-807, 1974.

Tyler, G. J., Radio propagation experiments in the outer solar system with Voyager, *Proc. IEEE*, 75, 10, 1404-1431, 1987.

Fishbach, F. F. A satellite method for temperature and pressure below 24 km, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 9, 528-532, 1965.

Lusignan, B., G. Modrell, A. Morrison, J. Pomalaza and S. G. Ungar Sensing the earth's atmosphere with occultation satellites, *Proc. IEEE*, 4, 458-467, 1968.

Melbourne, W. G., davis, E. S., Duncan, C. B., Hajj, G. A., Hardy, K. R., Kursinski, E. R., Meehan, T. K., Young, L. E., Yunck, T. P., The application of spaceborne GPS to atmospheric limb sounding and global change monitoring, JPL Publication 94-18, Pasadena, California, 1994.

Yunck, T. P., Liu, C., Ware R. A History of GPS Sounding . Special issue of *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science*, 11(1), 1-20, March 2000.