

A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DORIS NA EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS GEODÉSICAS

The DORIS System Importance In The Evolution of Geodesic Researches

Philippe Souza Simões

Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituto Ciberespacial

Av. Presidente Tacredo Neves N° 2501 – Terra Firme, Belém - PA

philipe.simoes@outlook.com

Resumo:

O presente artigo tem a finalidade de apresentar o sistema DORIS (*Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite*), como ferramenta auxiliadora na determinação de coordenadas precisas na crosta terrestre para aplicações geodésicas de extrema precisão. Desse modo, objetiva-se decorrer a respeito dos objetivos iniciais de sua concepção, fundamento teórico para seu funcionamento, equipamentos que compõe o sistema, os três segmentos do sistema DORIS e a utilização de seus dados na realização de estudos geofísicos e geodésicos de relevância a nível global. Ao conhecer um pouco mais sobre este sistema, espera-se contribuir para uma maior familiarização do leitor com uma das técnicas e equipamentos que a comunidade científica, através de agências espaciais, dispõe para obter informações da Terra mesmo estando à enormes distâncias dos alvos de estudo, bem como para a orbitografia e manutenção das órbitas precisas dos satélites que diariamente servem à comunidade mundial.

Palavras-chave: DORIS, orbitografia, geodésia.

Abstract

The present article has the purpose of presenting the DORIS (*Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite*) system as a tool in precise points coordinates determination at earth's surface to extremely precise geodesic applications. In this way the objective is to explain about the initial DORIS purposes, theoretical basis for its operation, DORIS features and the use of DORIS data in the geophysical and geodesic studies of global relevance. To know more about this system, expected that contribute to disseminate information from one of the techniques and equipment that the scientific community has to obtain earth surface information remotely as well as to orbitography and satellite precise orbits maintenance.

Keywords: DORIS; orbitography; geodesic.

1. INTRODUÇÃO

O sistema DORIS (*Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite*) é um sistema de posicionamento que atualmente se encontra a bordo de vários satélites e baseia-se no efeito Doppler para realizar medições de deslocamentos, a partir de emissões de ondas de rádio transmitidas às estações terrestres, equipadas com receptores de dupla frequência compatíveis (CHUERUBIM et al., 2007).

O desenvolvimento do sistema DORIS se deu em meados dos anos 1990, em parceria entre o *Centre National d'Études Spatiales (CNES)* e o *Institut National De L'information Géographique Et Forestière (IGN)*, visando em um primeiro momento a criação do sistema que efetivasse a determinação precisa das órbitas dos satélites para observação dos oceanos por

radares altimétricos. Somente em 1º de julho de 2003, o *International DORIS Service (IDS)*, passa a integrar oficialmente a *International Association Geodesy (IAG)*, assim, definindo-o como organização e estabelecendo seus objetivos.

Porém, antes mesmo do IDS passar a operar o sistema, no começo dos anos 2000 já se observava aplicações do sistema que iam além das quais haviam sido planejadas em sua concepção, assim, foi possível aprimorar e evoluir tecnologicamente a técnica, com objetivos cada vez mais precisos para cada missão espacial as quais o sistema fosse inserido.

No decorrer do artigo será abordado o princípio de funcionamento do sistema, os equipamentos empregados, os segmentos do sistema, bem como aplicações geodésicas e geofísicas que foram e continuam sendo de extrema importância para avanços técnicos e científicos a respeito da dinâmica terrestre nos âmbitos físico e espacial.

2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO: O EFEITO DOPPLER

Chama-se efeito Doppler ao fenômeno da variação da frequência, no caso de uma sonora, percebida por um observador em razão do movimento relativo de uma fonte de som emitindo ondas de frequência constante. Quando a fonte se aproxima do observador, nota-se um som mais agudo, ou seja, de maior frequência do que se a fonte estivesse em repouso; ao contrário, quando a fonte se afasta do observador, nota-se um som mais grave, de menor frequência do que perceberíamos se a fonte estivesse em repouso. O efeito Doppler ocorre em todos os tipos de onda, inclusive as eletromagnéticas.

O fenômeno foi descoberto pelo físico e matemático austríaco Christian Andreas Doppler (1803-1853) e comprovado experimentalmente pela primeira vez pelo cientista holandês Christophorus Henricus Diedericus Buys Ballot em 1845, que dispôs de uma locomotiva que puxava um grupo de trompetistas tocando a mesma nota musical, enquanto ao longo dos trilhos vários músicos posicionaram-se anotando as notas que estavam ouvindo. Segundo Schuster (2007), este experimento, entretanto, não convenceu grande parte dos cientistas da época, e teve sua validade não reconhecida ainda por muitas décadas, embora o próprio Einstein tenha reconhecido sua veracidade em 1906. Somente em 1993 os cientistas Müller e Kuhne demonstraram o efeito Doppler de forma incontestável.

Uma das mais importantes aplicações do efeito Doppler é determinar a velocidade das estrelas, isto porque “o deslocamento de uma fonte emissora de luz em relação a um observador altera frequência das ondas que este último recebe” (UFRGS, 2017). Assim como ocorre com as ondas sonoras, quando a fonte se aproxima do observador, este, nota ondas de menor comprimento, aproximando-se da cor azul, e no caso de afastamento, percebe-se um avermelhamento da onda. Este princípio pode ser usado para determinar a velocidade das galáxias, cuja luz emitida é originada, em maior parte, do conjunto de suas estrelas componentes. Esta descoberta foi realizada em 1872 pelo astrofísico Hermann Carl Vogel (1841-1907), que “determinou a velocidade de rotação do sol por meio do desvio Doppler, confirmando sua aplicação para a luz” (FERNANDES et al., 2016).

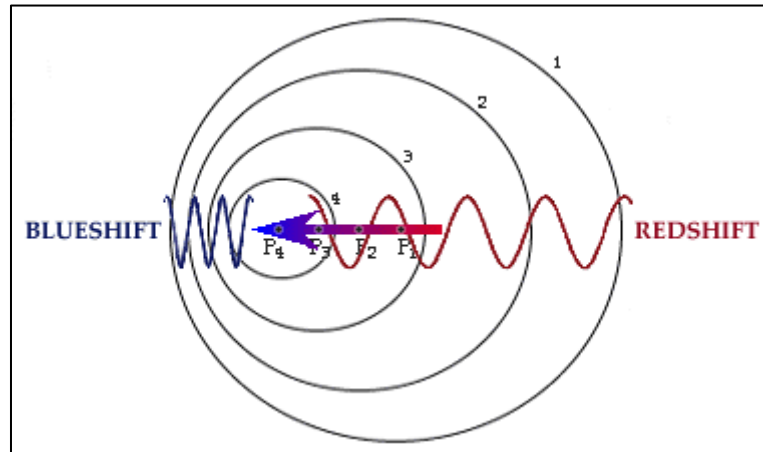


Figura 1 - Exemplificação do efeito Doppler em ondas eletromagnéticas

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/doppler.htm>

Ainda segundo Fernandes et al (2016), esta descoberta teria sido realizada pelo físico francês Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896), que, alheio às descobertas de Doppler, teorizou que seria possível determinar com precisão a velocidade de uma estrela através da variação do comprimento de onda das raias espectrais do espectro estelar. Por isto, na França, Fizeau ganhou notoriedade a ponto de o efeito ser lá determinado de Doppler-Fizeau.

Mais tarde, a teoria de Doppler e Fizeau seriam comprovadas com o trabalho do astrônomo Edwin Powell Hubble (1889-1953), que demonstrou a existência de outras galáxias além da Via Láctea em nosso universo e o afastamento das mesmas com velocidades crescentes com a distância, revelado através do desvio para a cor vermelha do espectro das galáxias.

O efeito Doppler é uma das principais ferramentas do campo da espectrometria, que é a técnica de levantamento de dados físico-químicos através da transmissão, absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra. Vogel foi um dos pioneiros no uso desta técnica no estudo da velocidade dos astros. Segundo Schuster (2007):

Hoje é claro que seja através das medidas Doppler em geodésica global, nas técnicas navegacionais de Doppler no ar ou no espaço, do radar Doppler como auxiliar na previsão meteorológica ou suas aplicações na medicina e tecnologia como o sonógrafo Doppler para medir a velocidade do fluxo sanguíneo ou do anemômetro laser-Doppler para a velocidade de escoamento de fluidos, a descoberta em astronomia dos gases interestelares, a catalogação sistemática do desvio para o vermelho de 250 mil galáxias e com isto dados sobre a evolução e tamanho do nosso Universo – nenhum outro efeito mudou de maneira tão radical nossa visão de mundo como os conhecimento obtidos a partir deste princípio (SCHUSTER, 2007).

3. OBJETIVOS DO SISTEMA DORIS

O Sistema DORIS foi concebido e projetado para a realização de dois objetivos fundamentais: a determinação da órbita de um satélite e sua posição na órbita, com precisão variando em torno de um centímetro. Além de atender a esses objetivos, o sistema ainda serve de base para várias aplicações em áreas de ciências da Terra. Aplicações essas que serão expostas no decorrer do artigo.

4. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Para alcançar esses objetivos e com isso, ter acesso às informações de posicionamento e valor final da medição das órbitas dos satélites, houve a necessidade de criar um método matemático que possibilitasse a determinação dessas informações. Então, foi utilizado um fenômeno físico para a criação desse método, o efeito Doppler.

O efeito Doppler, como já foi dito, consiste em uma onda emitida pelo emissor, onde o receptor (observador) à medida que o emissor se aproxima percebe uma frequência mais aguda e ao passo que o emissor se afasta o mesmo percebe uma frequência mais grave.

O efeito em questão pode ocorrer com esse princípio de duas formas: a primeira quando o observador está em repouso (emissor em movimento) e a segunda quando o observador não está em inércia (nesse caso, o emissor estando em repouso).

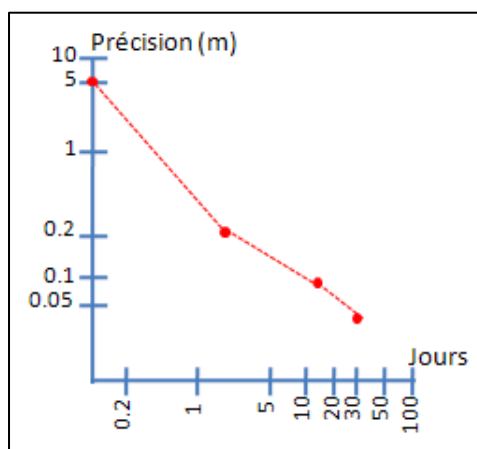


Figura 2 - Aumento da precisão da órbita em função do tempo.

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/fr/techniques/doris/principe.html>

Assim, à medida que o satélite se aproxima de uma estação, a frequência do sinal recebido é maior do que o emitido, e ao passo que o satélite se afasta da estação com a antena a frequência do sinal recebido é menor que o emitido. Assim, no momento em que a medida das frequências do sinal (recebido e emitido) for igual, considera-se que o satélite está perpendicular à estação em relação à superfície.

O cálculo da distância entre a estação e o satélite é feito por meio dos dados de um gráfico da função entre os valores da frequência recebida ao longo de um período e o valor do ponto máximo de inclinação da curva da trajetória do satélite.

Para obter a órbita precisa de cada satélite é necessário analisar as medidas obtidas pelo satélite, além de detalhes do ambiente ao qual o satélite está inserido (atrito do ar, força

gravitacional, manobras do mesmo etc.). Assim, o plano para determinar a órbita precisa é ajustar os dados coletados que descrevem a trajetória real do satélite ao modelo de trajetória concebido pelos pesquisadores.

Logo, a precisão dessa órbita será definida pela relação entre o número de medições e o tempo gasto para a coleta das mesmas. Ou seja, teremos uma órbita com precisão de 10cm RMS oriunda de medidas coletadas ao longo de três horas, precisão de 4cm RMS de medidas coletadas ao longo de três dias e assim por diante. Sabendo claro, que o objetivo desse cálculo é chegar a uma órbita com precisão em torno de 1cm.

Uma vez a órbita do satélite estando definida (assim como a posição do satélite na órbita), o receptor do instrumento DORIS localizado no satélite pode ser usado para fazer a determinação de um ponto sobre a superfície do planeta que não faça parte da rede de estações do sistema DORIS.

Dessa forma, é possível determinar um ponto sobre a superfície de qualquer local que necessite de um estudo durante um período curto, desde que o objeto em estudo esteja estático ou se movimentando lentamente (como por exemplo: falhas geológicas).

5. EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

O Sistema DORIS está dividido em três segmentos: o primeiro refere-se ao Instrumento DORIS, que estão a bordo da plataforma do satélite (antena, receptor, oscilador), o outro segmento constitui uma rede de estações autônomas espalhadas ao redor do mundo e o último segmento corresponde a um centro de controle e processamento que calcula a órbita dos satélites.

5.1 O instrumento a bordo - DORIS

Consiste em um instrumento que é somado a carga útil da plataforma do satélite. Ele é composto por três aparelhos: um receptor que mede a velocidade radial, uma antena unidirecional. E somado ainda ao receptor, está o oscilador ultra estável (USO) que tem a função de controle do aparelho receptor. Sendo que este último instrumento é um tipo de relógio ultra estável que permite adquirir uma velocidade radial extremamente precisa (da ordem de 0,3 mm / s) e consistente com uma orbitografia de alta precisão.

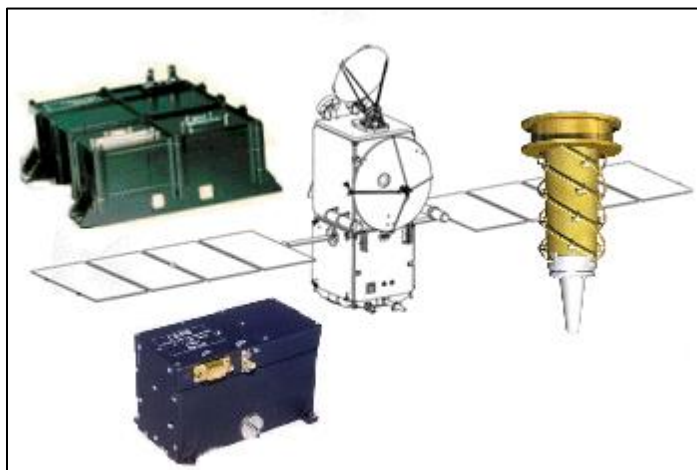


Figura 4 - Antena DORIS, receptor MVR (2ª geração miniaturizada) e oscilador ultrastável a bordo do satélite Jason-1

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/techniques/doris/doris-system/instruments-onboard.html>

O receptor MVR, a cada 10 segundos, mede a mudança Doppler na frequência de sinais de rádio transmitidos por balizas no solo a 401,25 MHz e 2 036,25 MHz. Medir o desvio de sinal de 401,25 MHz é vital para reduzir os erros de propagação ionosférica. Os sinais de radiofrequência são perturbados à medida que passam pelas camadas superiores ionizadas da atmosfera. As frequências mais elevadas são menos sensíveis às perturbações ionosféricas, razão pela qual a frequência de medição principal foi fixada em 2036,25 MHz e uma segunda frequência a 401,25 MHz para correções de erros.

Uma ferramenta que permitiu o cálculo em tempo real da trajetória do satélite com uma precisão variando entre valores na casa dos metros à valores na casa dos centímetros, foi o navegador Diode (*Détermination Immédiate d'Orbite par DORIS Embarqué*). Equipamento que foi ao espaço em janeiro de 1998 juntamente com o Spot 4.

Ao todo foram criadas quatro versões de instrumento DORIS, todas essas versões possuem a capacidade de adquirir medidas em intervalos contínuos de 10 em 10 segundos e um sistema de dupla frequência. Isso possibilitou que todas as versões (mesmo as mais antigas localizadas nos satélites) permanecessem compatíveis simultaneamente a rede de estações. Mesmo com a modernização trazida nas versões mais recentes.

Falando em modernidade, um ponto positivo a relatar nesse quesito é a compatibilização da parte eletrônica e de circuitos do instrumento. Isso permitiu a inclusão de dois osciladores ultra estáveis (USO) e dois aparelhos receptores com sete canais de dupla frequência ao instrumento DORIS.

5.2 Estações terrestres

Desde 1986, o CNES e o IGN, têm implantado uma rede internacional de estações autônomas usadas como pontos de referência no solo para cobrir continuamente a trajetória dos satélites. O sistema DORIS agora inclui cerca de 60 estações espalhadas pelo mundo, metade delas instaladas em ilhas ou áreas costeiras, permitindo uma cobertura homogênea, incluindo o

hemisfério sul. Uma estação terrestre DORIS é composta de uma baliza (3 gerações), uma antena omnidirecional e um conjunto de sensores meteorológicos opcionais para pressão, temperatura e umidade.

A rede de estações terrestres é composta por vários tipos de balizas: balizas permanentes, balizas mestres e balizas ocasionais. As balizas permanentes representam a rede de orbitografia que permite uma determinação precisa de satélites de trajetória. As três balizas-mestre (Toulouse, Kourou, Harthebeesthoek) pertencem à rede permanente, mas têm um outro papel: são responsáveis por assegurar a sincronização do sistema com o tempo atômico internacional. Finalmente, as balizas ocasionais são instaladas temporariamente para levantamentos geofísicos e geodésicos (medição da deriva de uma geleira etc.).



Figura 5 – Mapa da atual rede de estações DORIS

Fonte: *International DORIS Service*

As balizas transmitem sinais em duas frequências: 2036,25 MHz e 401,25 MHz. Esta última frequência é modulada para enviar mensagens contendo um número de identificação, informações de temporização, dados dos sensores meteorológicos e dados de engenharia (potência, etc.) Existem dois tipos de antenas terrestres: o modelo Alcatel e Starec, com suas características geométricas mostradas na figura a seguir.

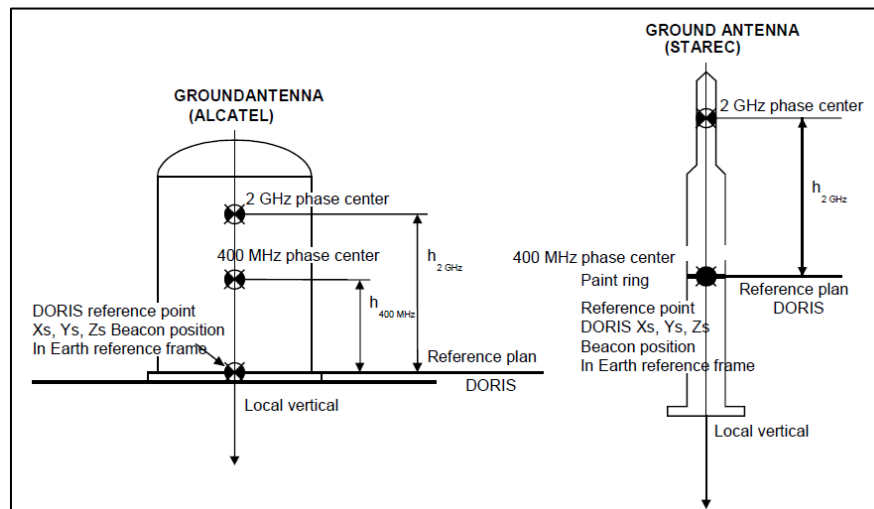


Figura 6 – Características geométricas das antenas terrestres DORIS

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/fileadmin/documents/doris/antennas.pdf>

No Brasil, há uma estação do sistema DORIS localizada em Cachoeira Paulista (Figura 7), cidade localizada a aproximadamente 192,92 km de São Paulo e está baseada nas dependências da Unidade Regional do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no município.



Figura 7 – Estação DORIS em Cachoeira Paulista - SP

Fonte: http://apps.ids-doris.org/server/php/api/stations/doris/CADB/image/CADB_20130326-1.jpg

A figura a seguir é um modelo esquemático do funcionamento da estação de gerenciamento do sistema DORIS, a qual exemplifica a o repasse e processamento de dados oriundos da emissão das ondas de rádio.

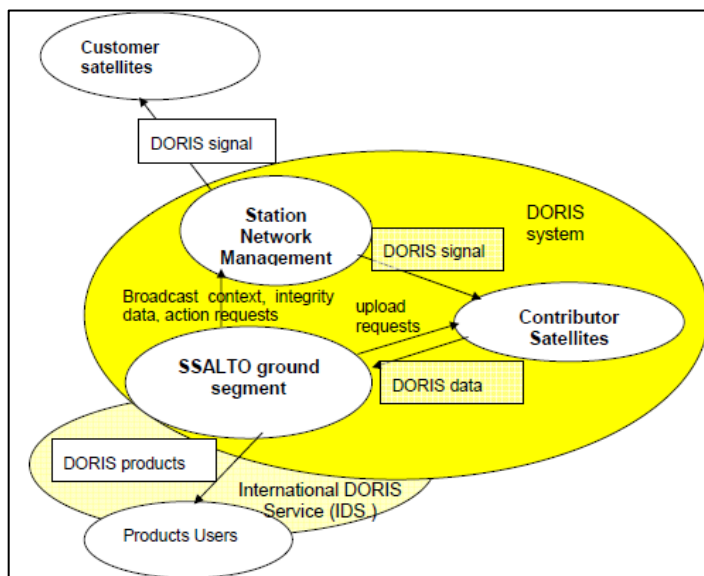


Figura 09 – Esquema de Funcionamento da Estação de Gestão do Sistema
Fonte: DORIS SYSTEM DEFINITION (VERSION 1.2)

5.3. Centro de controle e processamento

Em resumo, o sistema DORIS funciona da seguinte forma: as balizas no solo transmitem sinais aos receptores a bordo dos satélites, faz as medições dos desvios Doppler e os armazena em sua memória interna, que por sua vez são transmitidos para o solo em cada passagem do satélite sobre uma estação de controle.

Em seguida, eles são enviados regularmente para o centro de controle localizado em Toulouse, na França. Este centro mantém um controle sobre as operações da estação, processa as medições, calcula a órbita dos satélites que transportam os instrumentos DORIS, arquiva e distribui os dados. Desde 1990 até 2006, DORIS adquiriu mais de 100 milhões de medições para a comunidade científica internacional.

5.3. Evolução do sistema DORIS

Seja nos satélites de bordo ou na rede de estações terrestres, a eficácia do sistema evoluiu ao longo dos anos para atingir uma precisão até um centímetro com Jason-1. A integração do Diode, *software* que calcula a localização em tempo real e a velocidade muito precisa do satélite, marcou um avanço de marco.

A capacidade dos instrumentos aumentou com a miniaturização dos receptores MVR. Da esquerda para a direita, na figura abaixo, temos: 1ª geração MVR: Spot 2, 3, 4 e TOPEX/Poseidon; 2ª geração MVR: Envisat; 2º MVR miniaturizado geração: Jason-1 e Spot-5 e DG XX: Jason-2.



Figura 10 – Evolução dos receptores MVR

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/techniques/doris/doris-system/a-system-constantly-evolving.html>

Na rede de estações terrestres, o CNES desenvolveu a terceira geração de balizas para melhorar a precisão do sistema DORIS afim evitar interferência por estações próximas.



Figura 11 - Evolução do sistema de terra DORIS da 1ª geração à atual 3ª geração (da esquerda para a direita)

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/techniques/doris/doris-system/a-system-constantly-evolving.html>

6. APLICAÇÕES GEODÉSICAS

O sistema DORIS, conhecido como o Agrimensur do Espaço possibilitou um avanço técnico-científico muito grande nos termos geodésicos, com aplicações que fugiram da prevista, mas que foram de extrema importância para o aprimoramento da técnica e viabilização da sua implementação em outras pesquisas ao longo do tempo. Além da orbitografia, o sistema DORIS possibilita estudos nas áreas de geodésia e geofísica, como será exposto com a exemplificação de aplicações reais.

O portal AVISO+ *Satellite Altimetry Data* disponibiliza as principais aplicações do sistema, este que ainda, pelo fato de ser relativamente novo e de uma área de pesquisa um tanto quanto restrita, na qual a maioria das informações sobre o sistema são encontrados nas plataformas *online* dos institutos de pesquisas espaciais ligados ao sistema, sofre carência de informações para embasamento teórico.

7.1 Missão TOPEX/Poseidon

No ano de 2002 a missão (TOPEX/Poseidon) assumiu uma nova órbita, dando oportunidade para o satélite Jason-1 assumir a antiga. O Jason-1 entrou em órbita para dar suporte aos estudos da dinâmica da superfície oceânica. As missões TOPEX/Poseidon e Jason-1 foram coordenadas em parceria entre a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* e *CNES*. O êxito da missão foi devido ao fato dos satélites possuírem antenas receptoras das ondas de rádio emitidas pelas estações terrestres para a determinação de suas posições, assim, as especificidades do estudo foram satisfeitas. Ambos trabalharam em conjunto até o ano de 2006, quando as atividades do Topex/Poseidon foram interrompidas por problemas técnicos.

De acordo com Cazenave et al. (1999), medições contínuas e globais dos níveis dos mares são de suma importância, mas os medidores de marés não fornecem informações de extrema confiabilidade à medida que o aumento do nível médio dos mares tem aumentado constantemente, apesar da contribuição de cada fonte de aumento serem incertas. Ainda segundo o autor, satélites altimétricos de alta precisão são passíveis e úteis para monitorar o volume “verdadeiro” e movimentos de massas dos oceanos, fornecendo medições precisas e bem distribuídas em um sistema de referência geocêntrico.

A eficácia do sistema para monitoramento da superfície oceânica, visto que o mesmo possibilita orbitografia precisa, já foi constatada logo nos primeiros anos de operação, dando auxílio aos sensores embarcados, estes que possibilitaram o sucesso da missão, principalmente o radar altimétrico de dupla frequência NRA, o principal sensor da missão.

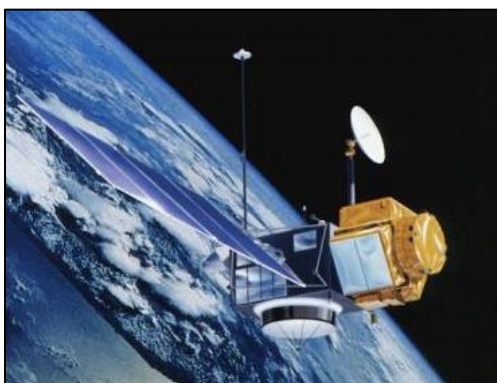


Figura 11 – Satélite TOPEX/Poseidon

Fonte: <https://podaac.jpl.nasa.gov/TOPEX-POSEIDON>

7.2 Medição do deslocamento de placas tectônicas

Já nos seus primeiros 4 anos de operação, segundo Crétaux et al. (1998), o sistema DORIS já tinha capacidade de fornecer dados que subsidiavam estudos referentes ao deslocamento de placas tectônicas. O sistema originalmente, através do *software* GINS/DYNAMO, processa os dados das órbitas precisas, das posições e velocidades das balizas terrestres e parâmetros de orientação da terra. Uma inversão no processamento possibilita a detecção de movimentos na crosta terrestre. O melhoramento na precisão e acurácias do posicionamento DORIS permite medições na casa centímetros.

Crétaux et al. (1998) apresentam dados de movimentos de placas tectônicas baseados em 3 satélites em órbita, com sensores MVR, com dados que compreendem os anos de 1993 a 1996. Os satélites foram SPOT-2, TOPEX/Poseidon e SPOT-3, interagindo com 48 estações e 28 balizas, localizadas próximas divisões de placas tectônicas. Nesse estudo, utilizando-se métodos complexos de comparação com o Modelo Geológico NNR NUVEL-1 e outros métodos de posicionamento, como *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI) e *Satellite Laser Ranging* (SLR), possibilitaram a medição da rotação da placa da Antártica, bem como a aproximação de dois centímetros das placas da África e Eurásia a cada ano.

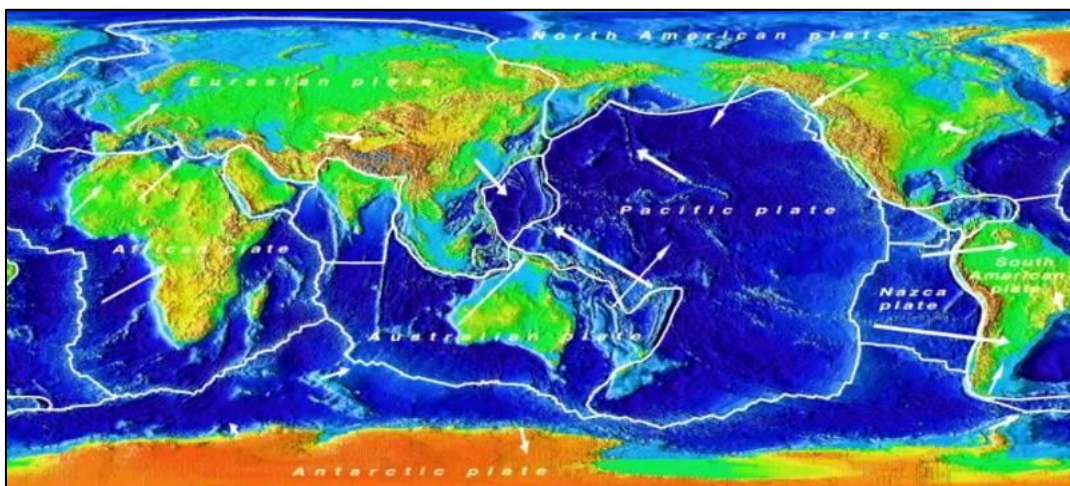


Figura 13 - Movimento das placas tectônicas.

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/applications/geodesy-and-geophysics/other-geophysical-applications.html#c1812>

7.3 Outras aplicações

O sistema DORIS já possibilitou outras diversas pesquisas e estudos, a exemplo de alterações milimétricas na crosta terrestre devido à fenômenos naturais como variação na pressão atmosférica, cobertura de neve etc., de forma análoga à uma bola quando amassada. Mangiarotti et al. (2001) provaram deformações na crosta devido à redistribuição de massas oceânicas e nevascas.

Outra importante aplicação do sistema DORIS obtida através de estudos realizados por Bouillé et al. (2000) consiste na mudança anual do geocentro da Terra na casa de milímetros. Tais estudos são de extrema complexidade e seu detalhamento não cabe nesta sucinta abordagem do sistema, no entanto, é de extrema importância para o fomento de pesquisas geodésicas.

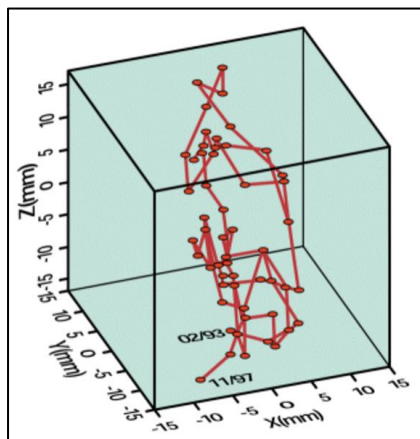


Figura 14 - Medições do centro de gravidade da Terra

Fonte: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/applications/geodesy-and-geophysics/other-geophysical-applications.html#c1812>

Uma das contribuições mais importantes do sistema DORIS à comunidade científica e usuários, é a densificação do *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF). O ITRF consiste na materialização do *International Terrestrial Reference System* (IERS), combinando posições e velocidades de estações de referência, calculadas por diferentes centros de análise e distintos métodos de posicionamento geodésicos, a exemplo do DORIS, VLBI, SLR, *Lunar Laser Ranging* (LLR) e *Global Position System* (GPS) (ALTAMIMI; SILLARD; BOUNCHER; 2002). Pelo fato do sistema DORIS possuir acurácia de posicionamento milimétrica e uma rede de estações bem distribuída ao redor da Terra, sua contribuição ao ITRF é de suma importância.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto, o sistema DORIS mostrou-se uma ferramenta de posicionamento muito além da pretendida, com diversas aplicações e, acima de tudo, com resultados de extrema confiabilidade. O seu tempo de medição e a quantidade de estações ao redor do mundo fornecem benefícios até à um simples usuário dos sistemas GNSS, visto que as estações DORIS densificam a rede de bases conhecidas do ITRS, benefícios estes, podendo serem expandidos a pesquisas complexas, como as dos autores citados.

Existem programas espaciais programados até 2020 com utilização prevista do sistema DORIS, tornando o sistema cada vez mais consolidado em estudos espaciais e em constante evolução. A evolução do sistema mostra-se fundamental para aprimoramento das pesquisas espaciais e geodésicas, implicando em soluções, descobertas e novos estudos.

Referências Bibliográficas

ALTAMIMI, Z.; SILLARD P.; BOUCHER C., **ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications**, In: *J. Geophys. Res.*, 2002. v. 107 No. B10 2214.

AVISO+ Satellite Altimetry Data. **DORIS, The Space Surveyor**. Disponível em: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/techniques/doris.html>>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

BOUILLÉ F., et al. **Geocentre motion from the DORIS space system and laser data to the Lageos satellites: comparison with surface loading data**, In: *Geophysical Journal International*, 2000. v. 143, Issue 1, p. 71–82.

CAZENAVE, A. et al.; **Sea level changes from TOPEX-Poseidon altimetry and tide gauges, and vertical crustal motions from DORIS**. In: *Geophys. Res. Lett.* 1999. v. 26, no. 14, p. 2077–2080.

Centre National D'études Spatiales. **DORIS**. Disponível em: <<https://doris-mission.cnes.fr/fr/DORIS/Fr/index.htm>>. Acesso em: 8 de maio de 2018.

CRÉTAUX, J.-F. et al.; **Present-day tectonic plate motions and crustal deformations from the DORIS space system**, In: *J. Geophys. Res.*, 1998. v. 103 (B12), p. 30167–30181.

CHUERUBIM, M. L.; CHAVES, J. C.; MONICO, J. F. G. **Soluções Geodésicas Espaciais: Vantagens, Deficiências E Perspectivas Futuras**. In: XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2007. v. 1. p. 142-151.

FERNANDES, A.C.P. et al. **Efeito Doppler com tablet e smartphone**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2016. v. 38, n. 3.

International Earth Rotation and Reference Systems Service. **The International Terrestrial Reference System (ITRS)**. Disponível em: <<https://www.iers.org/IERS/EN/Science/ITRS/ITRS.html>>. Acesso em: 8 de maio de 2018.

International DORIS Service. **About IDS**. Disponível em: <<https://ids-doris.org/ids/organization/about-ids.html>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

International DORIS Service. **DORIS stations**. Disponível em: <<https://ids-doris.org/doris-system/tracking-network/site-logs.html>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

Instituto de Física UFRGS. **Medindo Velocidades**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/doppler.htm>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2018.

MANGIAROTTI, S. et al., **Annual vertical crustal motions predicted from surface mass redistribution and observed by space geodesy**, In: *J. Geophys. Res.*, 2001. v. 106(B3), p. 4277–4291.

SCHUSTER, P. M. **Revolucionário e ainda assim desconhecido!**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2007. v. 29, n. 3, p. 465-470.