

VARIAÇÕES DOS SINAIS GPS NA PROPAGAÇÃO TRANSIONOSFÉRICA, AFETANDO OS FUTUROS SISTEMAS DE RADIONAVEGAÇÃO AERONÁUTICA

Eng. Ângelo A. C. Canavitsas - M. C. do Dep. de Controle do Espaço Aéreo - DECEA
Eng. Mauro Soares de Assis - M. C. do Instituto Militar de Engenharia - IME
Eng. Giuseppe Vitório Amendola - M. C. do Instituto Militar de Engenharia - IME
canavitsas@openlink.com.br; msassis@openlink.com.br; gamendola@uol.com.br

ABSTRACT

A indústria aeronáutica vem apresentando, há muitos anos, um significativo e contínuo aumento na densidade de tráfego aéreo. Devido a esse fator, foram idealizadas e desenvolvidas novas tecnologias que permitissem controlar com maior flexibilidade, segurança e economia todos os vôos, formando uma rede de abrangência mundial.

Um dos sistemas mais promissores para suporte global às aeronaves, é o de radionavegação aeronáutica por meio de satélites. Sendo assim, o GPS foi naturalmente indicado como estrutura de suporte para esse fim. Baseado nesta premissa, foi desenvolvido o *Satellite Based Augmentation System* - SBAS, chamado no Brasil de Sistema de Aumentação Baseado em Satélite, que pretende proporcionar posicionamento para as aeronaves, facilitando diversas manobras necessárias ao tráfego aéreo, além de permitir aproximações e pousos de precisão.

Embora muito promissor, o SBAS encontra problemas de precisão no posicionamento das aeronaves, devido a variações que o sinal do GPS, emitido na banda L, sofre ao atravessar a ionosfera. Essas variações são detectadas com maior frequência, em regiões equatoriais.

Já foram realizados testes do SBAS no Brasil, tendo sido obtidos resultados aquém dos parâmetros mínimos preconizados pelos órgãos operacionais da Aeronáutica. Estes resultados impedem que, no estágio atual de desenvolvimento, o sistema seja aprovado no território nacional, para procedimentos de precisão.

Somente com um aprimoramento do posicionamento será possível viabilizar a ampla utilização da radionavegação aeronáutica, por meio de segmentos espaciais. Este artigo, portanto, tem o objetivo de divulgar os estudos em andamento sobre a ionosfera e, mostrar como esse conhecimento pode auxiliar na correção dos erros de coordenadas obtidas pelo GPS.

INTRODUÇÃO

Um órgão de controle de tráfego aéreo ideal, deve manter as aeronaves sob sua responsabilidade, decolando pontualmente, voando dentro de espaços aéreos bem definidos, e seguindo rigorosamente as restrições e normas existentes. Além disso, todo o tráfego deve manter as rotas, velocidades e níveis de vôo pré-estabelecidos, de modo que venham a pousar dentro dos horários previstos.

A execução racionalizada de todas essas funções pode ser uma tarefa muito ambiciosa, se forem consideradas as reais

condições que podem alterar os parâmetros dos planos de vôo, inicialmente propostos. Fatores meteorológicos, falhas de equipamentos ou dos sistemas de comunicações, podem contribuir para situações inesperadas, que deverão ser gerenciadas e solucionadas em prol da integridade dos vôos.

Logo, para que sejam sempre mantidos os níveis mínimos de segurança, uma complexa, vasta e redundante infraestrutura aeronáutica está implantada, em terra. O objetivo é proporcionar às aeronaves sinais de radiocomunicação, para intercâmbio de mensagens de coordenação e, sinais de radionavegação, para que as aeronaves sejam guiadas e permaneçam voando com seu posicionamento preciso, em todas as fases de vôo, principalmente nos procedimentos de aproximação e pouso.

As projeções da demanda de tráfego aéreo para um futuro próximo são significativas, como demonstra o gráfico 01. Nesse gráfico são apresentadas as expectativas de aumento anual dos vôos na rota Europa - América do Sul, chamada de corredor Euro-SAM. Supondo que demandas como esta se concretizem, as administrações que tem sob sua responsabilidade grandes volumes de espaço aéreo como o Brasil, devem preparar-se, com a devida antecedência. Essa preparação implica em investimentos sensíveis em recursos humanos e, mormente em infra-estrutura de terra.

Para que se obtenha um sentimento mais apurado sobre a magnitude da infraestrutura mencionada, foram inseridas neste artigo as figuras 01 e 02, que demonstram, respectivamente, a quantidade de rotas aéreas nacionais e

internacionais, que cortam o espaço aéreo brasileiro.

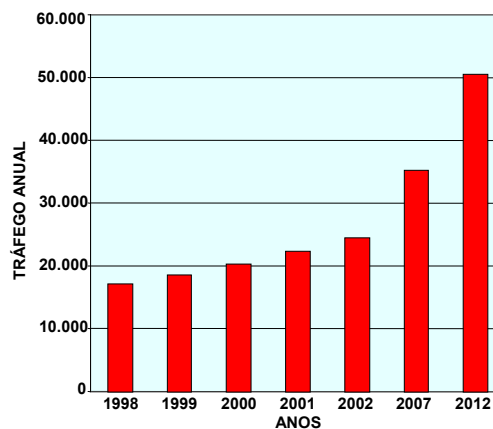


Gráfico 01: Projeção do tráfego aéreo no Brasil - rota Europa - América do Sul. ¹

Estas rotas são balizadas por radioauxílios, sendo os mais importantes os *Non-Directional Beacon* - NDB, que são radiofaróis não direcionais e os *VHF Omnidirectional Range* - VOR, que são irradiadores omnidirecionais em VHF.



Figura 01: Rotas aéreas nacionais existentes no espaço aéreo brasileiro.

O NDB fornece aos pilotos uma indicação de direção, com referência na posição de instalação do sistema irradiante do auxílio. A faixa básica de

¹ Ten.-Cel.-Av. Cirilo - Apresentação em Seminário do DECEA sobre Ionosfera e Tráfego Aéreo - 2002 [Gráfico 01 / Figuras 01 e 02].

operação vai de 190 a 525kHz, existindo alguns equipamentos especiais, operando em torno de 1.650kHz. Os radiofaróis são utilizados para procedimentos de aproximação (chamados de não precisão) e balizamento de rotas aéreas.

O alcance dos NDB vai além da linha do horizonte, devido a faixa de frequências utilizada e o tipo de sistema irradiante, um monopolo vertical com malha de terra. Os mecanismos de propagação principais são visada direta, ondas de solo e em alguns casos ondas celestes, propagadas via ionosfera.

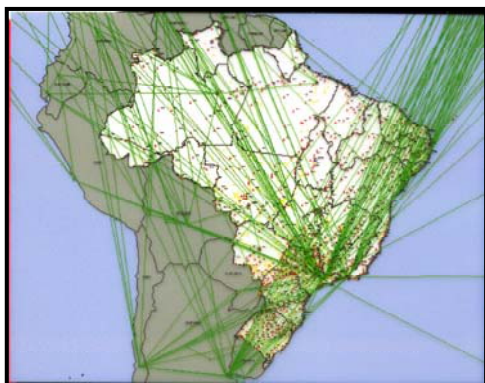


Figura 02: Rotas aéreas internacionais que cortam o espaço aéreo brasileiro.

Os VOR são radioauxílios mais precisos do que os NDB e, oferecem aos pilotos não somente a direção, mais também a radial na qual a aeronave se encontra, em relação ao centro do respectivo sistema irradiante. Os VOR também são utilizados para procedimentos de aproximação (chamados de não precisão) e balizamento de rotas aéreas.

Seu alcance (VOR) é um pouco menor comparado com o do NDB, passando da linha do horizonte, entretanto, depende da altura em que se encontra a aeronave (quanto mais alta melhor o alcance). O

mecanismo de propagação utilizado é basicamente o de visada direta.

Dessa forma, para que todas as rotas anteriormente citadas estivessem devidamente guarnecidas, uma considerável quantidade de radioauxílios também deveria estar implantada, em todo o território abaixo do espaço aéreo a ser controlado.

Outro radioauxílio que merece destaque é o *Instrument Landing System* - ILS conhecido como sistema de aterrissagem por instrumento. Esse sistema permite aproximação e pousos de precisão, inclusive em situações de pouca visibilidade. Ele é utilizado na fase final do voo, para a aterrissagem. O ILS só é funcional nos arredores da pista de pouso na qual está instalado e, seu alcance é limitado a algumas milhas do aeroporto. O único mecanismo útil de propagação é o de visada direta. Para que esta facilidade estivesse disponível nos milhares de aeroportos existentes, milhares de ILS deveriam também ser implantados.

VIABILIDADE DOS INVESTIMENTOS

A *International Civil Aviation Organization* - ICAO, a Organização Internacional de Aviação Civil, é uma entidade que tem como objetivos o desenvolvimento dos princípios e técnicas da navegação aérea internacional e, a organização e progresso dos transportes aéreos, visando a segurança, a eficiência, a economia e o desenvolvimento dos serviços aeronáuticos.

A ICAO possui em sua estrutura painéis de estudo, que contam com especialistas de vários países, inclusive do Brasil. Os trabalhos realizados levam em conta

aspectos técnicos, operacionais, econômicos e políticos, visando estipular normas e padrões para a aviação moderna. Estes painéis já estudaram e especificaram sistemas, supostamente capazes de solucionar o problema do controle do tráfego aéreo, absorvendo a vindoura demanda. Estes novos sistemas tem a garantia de um alto desempenho, de preservar os níveis de segurança preconizados e, ainda, de proporcionar grande economia às administrações.

Existe um consenso nos estudos da ICAO de que a expansão e manutenção dos radioauxílios atualmente existentes, como os NDB, VOR e ILS, visando o suporte de um aumento significativo de tráfego aéreo, implica em custos economicamente inviáveis. Incentiva-se então, por conta desses estudos, a modernização da infraestrutura aeronáutica.

SISTEMA SBAS

Na estrutura terrestre atual, as aeronaves perdem precisão de posicionamento, com o distanciamento dos radioauxílios. Atualmente, as rotas aéreas não são lineares, na verdade, descrevem linhas que acompanham a disposição física de instalação dos equipamentos. Assim, para que todas as futuras rotas fossem balizadas com maior precisão e, as aproximações e pouso pudessem ser realizadas de forma otimizada, diversas novas implantações deveriam ser previstas.

Portanto, há uma forte tendência na utilização de sistemas de navegação aérea por satélite. As vantagens da radionavegação aeronáutica por meio de segmento espacial são, uma cobertura global extensa, sem perda de precisão em função da localização das aeronaves e, a continuidade da prestação dos serviços de

posicionamento independente da região. Além dessas vantagens, existirá a possibilidade de linearização das rotas, o que proporcionará sensível economia de combustível. Pode ser acrescentada nesta lista uma notável redução nos custos de manutenção, comparando estes, com os despendidos nos sistemas terrestres hoje existentes. A gerência do segmento espacial seria centralizada, o que facilitaria a solução de problemas de fluxo de tráfego, que hoje exigem coordenação entre diferentes regiões de controle do espaço aéreo.

Baseado nestes princípios foi então desenvolvido, dentre outros sistemas, o *Satellite Based Augmentation System* - SBAS, chamado no Brasil de Sistema de Aumentação Baseado em Satélite, que pretende proporcionar posicionamento global para as aeronaves, permitindo aproximações e pousos de precisão, utilizando como suporte o *Global Positioning System* - GPS, o Sistema de Posicionamento Global via Satélite.

O funcionamento básico do Sistema SBAS está ilustrado na diagrama da figura 03, onde pode ser vista uma aeronave recebendo os sinais dos satélites do GPS e obtendo sua posição. Na mesma região existe uma das estações de referência (denominada *Terrestrial Reference Station* - TRS), que também recebe os sinais dos mesmos satélites. Esta estação está em um ponto de coordenadas conhecidas com precisão, de forma que pode ser processado o erro de posicionamento em um determinado instante. Este erro, considerado regional é o mesmo recebido pela aeronave e, é enviado a Estação Master. Esta estação, por sua vez, processa esses dados e transmite, por meio de um *uplink* as devidas correções para a um satélite geostacionário. Este satélite GEO

reenvia as correções de coordenadas por um *downlink*, como um canal especial do GPS, que será recebido pela aeronave (como se fosse um dos satélites GPS) e, processado por equipamentos específicos. Desta maneira a aeronave terá o seu posicionamento corrigido.

Cada TRS capta o erro regional, em torno da sua posição, e o transmite para a estação Master, para que ele seja processado e enviado para o satélite GEO, que o reenvia como um sinal do GPS, na banda L, para as devidas regiões que precisam de correção. A idéia é de que com esta estrutura seja possível guiar uma aeronave através de uma rota e, permitir as aproximações e pousos de precisão, mesmo em condições precárias de visibilidade. Posteriormente, o cenário desejado seria a possível linearização das rotas aéreas e, a desativação gradativa dos antigos radioauxílios terrestres.

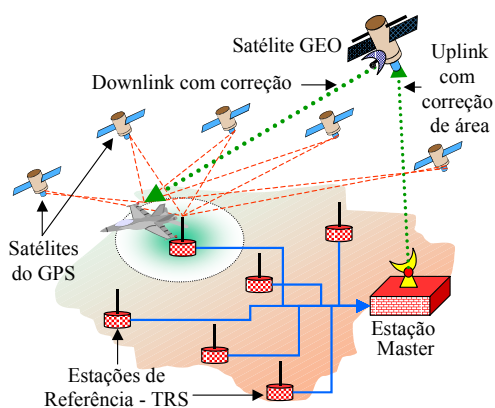


Figura 03: Diagrama da estrutura do SBAS em uma determinada região.

Nos Estados Unidos, uma variação do SBAS, chamada de *Wide Area Augmentation System - WAAS*, o Sistema de Aumentação em Área Extensa, já está sendo utilizado, inclusive para aproximações e pousos de precisão. Neste sistema existem vinte e seis estações do tipo TRS espalhadas pelo território

americano e, duas estações Master. O sistema monitora as variações dos erros de coordenadas, em função do comportamento da ionosfera.

A Ionosfera na área dos Estados Unidos é bem comportada, apresentando raras variações capazes de causar erros de posicionamento significativos. Essas variações ocorrem, normalmente próximas às regiões polares, sendo detectadas ocasionalmente. Por essa razão, o sistema americano apresentou bons resultados. Mesmo assim, por vezes a possibilidade de utilização do WAAS para aproximações de precisão é cancelada, devido a variações mais abruptas da Ionosfera.

Embora muito promissor, o SBAS encontra problemas de precisão no posicionamento devido a variações que o sinal do GPS sofre ao atravessar a ionosfera. Esse fato ocorre com maior intensidade nas regiões equatoriais, que possuem uma ionosfera mais dinâmica. Nestas regiões, a grandeza dos erros obtidos foi tal, que mesmo os elaborados algoritmos de correção disponíveis, não foram suficientes para garantir que as imprecisões ficassem dentro de valores toleráveis.

Antes de abordar efetivamente o problema da Ionosfera equatorial, é oportuno informar que já foram realizados testes preliminares, reais, com o SBAS no Brasil, tendo sido obtidos resultados aquém dos parâmetros mínimos de precisão e, conseqüentemente, de segurança, preconizados pelos órgãos operacionais da Aeronáutica. Estes resultados impedem que o SBAS seja aprovado, no território nacional, para aproximações e pouso de precisão.

IONOSFERA EQUATORIAL

A Ionosfera é uma camada da Atmosfera que se torna ionizada, ou seja, as moléculas passam por um processo de dissociação de elétrons, tornando-se íons. Esse fenômeno cria um plasma eletricamente dinâmico, que adquire propriedades capazes de alterar a trajetória das ondas eletromagnéticas.

A ionização ocorre devido a vários fatores, sendo os mais importantes, em ordem decrescente, a irradiação de raios Ultra Violeta, de raios X e da radiação corpuscular, provenientes do sol e, dos rastros de meteoros. Por isso, o comportamento dessa região está intimamente ligado às atividades solares. A Ionosfera se estratifica em camadas, classificadas como "D", "E" e "F", de acordo com a sua densidade de ionização, ou seja, a quantidade de elétrons livres. Ela se situa aproximadamente de 60 a 1.000km de altura, existindo na região, que se estende de 60 a 450km uma maior densidade eletrônica. As faixas de frequências mais interativas com a ionosfera são as de MF e HF, embora faixas mais altas, como a banda L, apresentem sensíveis efeitos de cintilação e multipercursos.

A Ionosfera possui um comportamento complexo, por vezes aleatório, dificultando a sua modelagem precisa. Entretanto, são bem conhecidas algumas variações diurnas, sazonais, anuais e um ciclo de 11 anos, relativo a atividade solar, que altera significativamente a camada em questão. O ciclo solar refere-se ao número médio de manchas apresentado pelo sol, o *Sun Spot Number* - SSN. O gráfico 2 mostra o número médio de manchas solares observados, de janeiro de 1995 a dezembro de 2003. Quanto maior o número de manchas,

maior a densidade de ionização da Ionosfera.

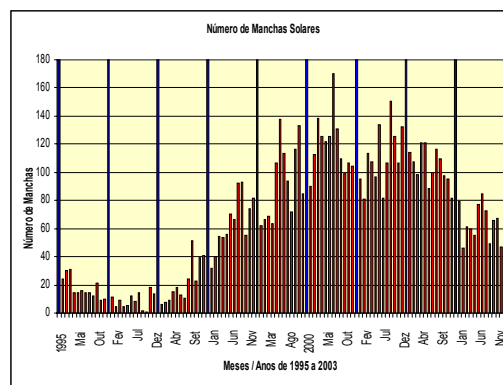


Gráfico 02: Número médio de manchas solares de 1995 a 2003, indicados em colunas vermelhas.

Pela sua importância na propagação em HF, que permite comunicações a longas distâncias, a Ionosfera vem sendo estudada há bastante tempo. Com o advento do GPS, a propagação transionosférica passou a ser pesquisada com um maior detalhamento, pois efeitos de cintilação e atrasos, afetam os sinais daquele sistema. Destes estudos, chegou-se a uma classificação da Ionosfera em regiões, conforme o seu comportamento. Na figura 04 é possível observar as regiões polares, as de transição, as temperadas e a região equatorial, esta última a mais turbulenta.

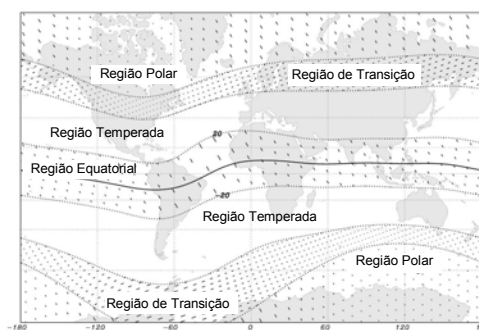


Figura 04: Regiões da Ionosfera (destaque a equatorial, que engloba grande parte do Brasil).²

² Figura adaptada do *White Paper do Satellite Based Augmentation System – Ionosphere – SBAS –IONO/06* – Maastricht – Holanda – Agosto, 2002.

A Ionosfera equatorial é a região situada em torno das latitudes $+ 20^\circ$ e $- 20^\circ$, respectivamente, acima e abaixo do equador magnético, que percorre uma linha distinta, do equador geográfico. Nessa região, ocorrem movimentações ocasionais e abruptas no plasma, que modificam aleatoriamente a distribuição do conteúdo eletrônico da ionosfera. Este comportamento anômalo é gerado, dentre outros fatores, pela disposição do campo magnético na região. Nos pólos, o campo magnético possui linhas perpendiculares à superfície da Terra e, na região equatorial, as linhas se tornam horizontais ao longo do equador magnético.

Outro interessante fenômeno é o conhecido como anomalia equatorial. Nas regiões comportadas da ionosfera, a densidade de ionização se intensifica com a incidência direta dos raios solares e, apresenta o seu ápice em torno das 14:00 horas locais. Nestes casos, o volume da Ionosfera que, normalmente ficou mais exposto ao Sol, fica mais ionizado. Já nas regiões equatoriais, a emissão dos raios solares, se combina com a ação dos campos magnéticos, fazendo com que os elétrons livres escoem ao longo das suas linhas de força, distribuindo a densidade de ionização em dois picos, divergindo da formação esperada. Esse fenômeno então, é chamado de anomalia equatorial, o qual está representado na figura 05.

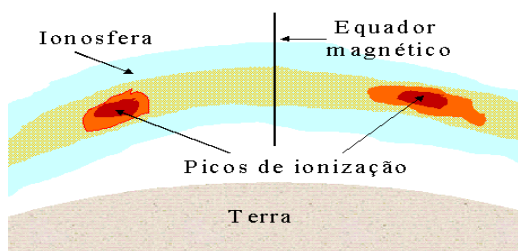


Figura 05: Anomalia equatorial com a distribuição da densidade de ionização em dois picos.

Toda esta movimentação gera instabilidades na região que, da tarde para a noite, com a redução da energia proveniente do Sol, tende a se estabilizar. Um fenômeno muito interessante chamado de depleção ionosférica, é iniciado, justamente ao entardecer, formando uma estrutura similar a uma bolha, de baixa densidade eletrônica, no plasma ionosférico. Essa bolha, de densidade inferior à do meio, é gerada por instabilidades na base da camada "E" e, desloca-se para cima, atingindo a camada "F", buscando um equilíbrio e, deixa ao longo do seu trajeto uma trilha de irregularidades. As dimensões estimadas destas bolhas são de até 100 km de largura e 1.000 km de comprimento. Essas depleções movem-se para cima e, o seu deslocamento horizontal segue a direção Oeste – Leste. A conexão dessas depleções com os sinais do GPS é que, quando estes atravessam aquelas estruturas, na propagação transionosférica, são percebidas fortes cintilações e detectados erros significativos nas coordenadas obtidas.

Muito ainda resta a esclarecer sobre as propriedades da ionosfera, e seu dinâmico comportamento, em especial nas regiões equatoriais. Por esse motivo, o seu estudo detalhado e, associado às variações sofridas pelos sinais emitidos de segmentos espaciais, tem despertado grande interesse por parte da comunidade científica nacional e internacional.

ESTUDOS DESENVOLVIDOS

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, órgão responsável por prover as telecomunicações aeronáuticas e gerenciar o tráfego aéreo no Brasil, enfrenta os óbices de implantação dos futuros sistemas de forma estruturada e, com grande determinação. Existem

especialistas do DECEA e de entidades científicas de renome, participando da especificação técnica e desenvolvimento dos novos sistemas, tendo sido criado um Grupo de Estudo, denominado GT Ionosfera, para analisar a situação SBAS-Ionosfera Equatorial e propor soluções. Um dos resultados foi a avaliação do comportamento da Ionosfera a partir de medidas em HF, visando buscar possíveis correlações e um maior conhecimento sobre a causa dos erros de coordenadas, obtidos a partir do GPS.

A metodologia utilizada baseou-se nos seguintes princípios: 1 - Os erros nas coordenadas do GPS são provenientes de alterações no percurso dos sinais, gerados nos satélites, quando estes atravessam a Ionosfera (um determinado volume) antes de chegar às antenas dos receptores. 2 – Sendo possível efetuar um enlace HF entre duas estações, para o qual o volume da Ionosfera, utilizado para reflexão, fosse o mesmo atravessado pelos sinais do GPS, supõe-se ser viável avaliar as ondulações na propagação HF e, associá-las aos erros de coordenadas obtidos, no mesmo período.³

A estrutura implantada para os testes contou com vários transceptores HF de 100 Watts, instalados em Corumbá – MS (19,02 Sul; 57,65 Oeste). Esses transceptores estavam conectados a antenas dipolos, apontadas para o Rio de Janeiro. Eles ficaram ativos, continuamente, emitindo um *beacon* de identificação. Foi instalada uma estação de recepção, responsável pela coleta de dados HF no Rio de Janeiro - RJ (22,888 Sul; 43,28 Oeste) e, também uma estação GPS para registro dos erros de

coordenadas, localizada nas imediações do ponto médio do enlace HF, na Universidade Estadual de Presidente Prudente, PP - SP. A figura 06 demonstra o diagrama do *set* montado. A região de estudo foi escolhida com base em publicações sobre a ocorrência de depleções ionosféricas no Brasil.

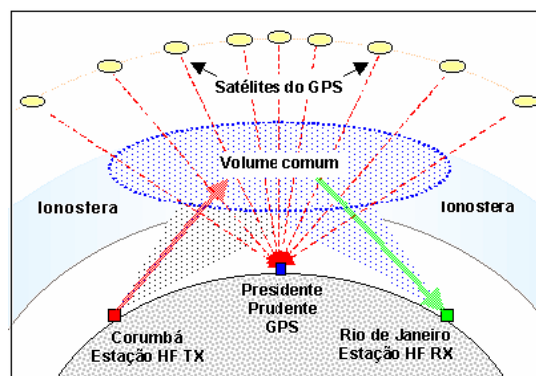


Figura 06: Diagrama da estrutura dos testes HF e GPS

Diariamente foram registradas em torno de 40.000 amostras do nível de sinal HF no Rio de Janeiro. Paralelamente, foram gravados os erros de coordenadas do GPS, em Presidente Prudente. Os sinais recebidos foram processados, de forma a permitir uma apresentação gráfica do comportamento da Ionosfera, dos erros do GPS e, finalmente realizar um estudo comparativo com todos os dados disponíveis.

RESULTADOS OBTIDOS

Por meio do processamento realizado, foi possível detectar que as medidas em HF apresentavam com frequência, variações anômalas no nível de sinal captado. Essas variações eram mais destacadas nos períodos do entardecer para a noite. Elas divergiam dos cálculos teóricos, feitos para avaliação do enlace CR-RJ, com base na recomendação ITU-R P. 533-7 - *HF Propagation Prediction Method*. No

³ Amendola, Giuseppe – “Análise do Comportamento da Ionosfera a Partir de medidas em HF” – IME, Dez 2003

mesmo período, em vários dias, os sinais do GPS, também demonstraram erros de posicionamentos significativos.

Avaliando a literatura disponível sobre o assunto, na tentativa de elucidar as ocorrências registradas, é possível presumir-se a possível ocorrência de variações na densidade eletrônica do meio, ou aparecimento de depleções ionosféricas nos mesmos períodos, o que explicaria os resultados encontrados. O gráfico 03 mostra o resultado da avaliação da propagação HF do enlace CR-RJ, e reflete o comportamento da ionosfera na região acima de Presidente Prudente, onde foram registrados os erros de posicionamento do GPS. No referido gráfico pode ser, claramente, visto um comportamento majoritário dos níveis de sinal HF e, discrepâncias, no período de 19 as 21 horas, que ocorreram com frequência.

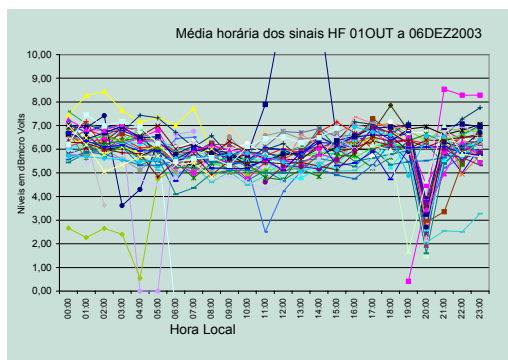


Gráfico 03: Medidas HF do enlace CR-RJ - OUT a DEZ /2002 - foco no período de 19:00 as 21:00.

Nesse gráfico, cada linha representa um dia e cada ponto a média horária dos níveis de sinais registrados. Este artifício foi utilizado para facilitar a visualização dos resultados. Deve ser observado que existem restrições na utilização dos dados apresentados, pois, foram avaliadas diversas frequências HF e, no gráfico 03 é visualizada apenas uma (em torno de

23MHz), que apresentou níveis de sinal estáveis no período de 15:00 as 00:00, que englobam o horário de interesse. Além disso, conforme os cálculos de propagação, nos demais horários os níveis (na mesma frequência) são baixos e fornecem uma relação sinal/ruído muito pobre, impossibilitando um processamento confiável dos dados obtidos.

No gráfico 4 podem ser vistas as discrepâncias em metros na latitude, longitude e altitude, obtidas na estação GPS, em Presidente Prudente. Já no gráfico 05 são mostradas as variações do sinal HF recebido no mesmo dia no RJ. Esses dados são específicos do dia 31 de outubro de 2002, entretanto, refletem resultados similares detectados em outros dias.

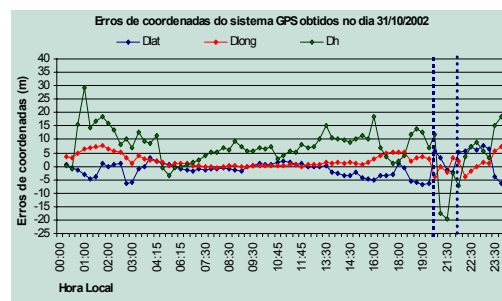


Gráfico 04: Erros de coordenadas obtidas em Presidente Prudente no dia 31OUT2002.

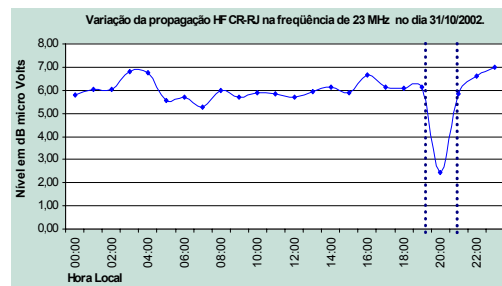


Gráfico 05: Variação HF refletindo o comportamento da Ionosfera na vertical de PP em 31OUT2002.

Os gráficos 4 e 5 estão com os horários em torno de 19:30 horas marcados pois, existe uma aparente correlação nas variações apresentadas. Na verdade, estes resultados eram esperados e, confirmam a hipótese de que o enfraquecimento, ou variações bruscas da densidade eletrônica de regiões ionosféricas equatoriais, pode causar alterações nos sinais da banda L, afetando-os de tal forma, que os erros de coordenadas não são corrigidos, adequadamente, pelos algoritmos hoje existentes no SBAS.

CONCLUSÃO

Pretende-se, de posse dos indícios obtidos, idealizar um método detalhado de medição regional da Ionosfera, por meio de sondagens oblíquas, associado, em tempo real com medidas, igualmente, apuradas do GPS, de modo que seja possível a detecção de variações de ambos os sinais (HF e GPS) que venham a prever, futuros eventos anômalos e seqüências de erros de posicionamento.

Uma possível alternativa para o problema seria detectar, via HF, o início das variações da ionosfera, antes da ocorrência efetiva de uma turbulência, assim, seria acionado um dispositivo de correção para os erros do GPS, conforme o grau e tipo do futuro distúrbio detectado. Julga-se possível então, acionar gatilhos para a aplicação de algoritmos específicos de correção, visando minimizar os erros de posicionamento final das aeronaves.

Os módulos idealizados e o fluxo de dados desse dispositivo estão, resumidamente, expostos no diagrama da figura 06. Primeiro existiria um enlace HF nos moldes do CR-RJ, para cobrir o ponto médio da região desejada. Os dados colhidos seriam avaliados, em regime *on*

line, pelo "Detetor de Anomalias" que, identificaria o início de períodos de turbulência. Esse detetor acionaria o "Módulo de Decisão" que, no caso das detecções positivas, mudaria o algoritmo de correção de coordenadas para o GPS, conforme o tipo de distúrbio detectado. Caso não houvesse nenhuma detecção de anomalias no sistema de monitoração HF, o SBAS continuaria com o seu algoritmo convencional.

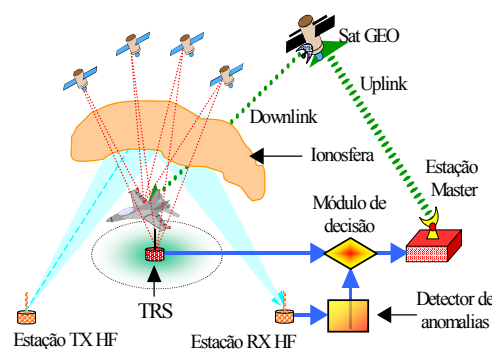


Figura 06: Segmento regional do SBAS com módulos propostos de monitoração HF.

Entende-se que os estudos ainda devem ser aprimorados, no sentido de aumentar o conhecimento estatístico da Ionosfera no Brasil. Seria muito interessante tentar identificar e classificar os tipos de distúrbios e anomalias, típicos da Ionosfera equatorial. Além disso, é necessário conhecer as suas estatísticas de ocorrência e, as características dos erros que acarretam. Mesmo tendo-se a consciência de ser esta uma árdua tarefa, conceitualmente, as informações obtidas, induzem a crer que existe forte correlação entre as medidas em HF com os erros de posicionamento regional do GPS. Sendo assim, supõe-se que esses conceitos podem vir a ser a chave para uma solução *on line*, que viabilize a utilização mais ampla do SBAS no Brasil e, em outras regiões equatoriais.

As críticas, dúvidas e sugestões a esta matéria são bem vindas. Solicitando-se a gentileza de endereçá-las para:

canavitsas@openlink.com.br

msassis@openlink.com.br

gamendola@uol.com.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canavitsas, Ângelo – “Otimização de Redes de Radiocomunicações em HF” – IME, Dez 2000.
- Bispo, Márcio — “Análise do Canal Ionosférico de Rádio-Propagação na faixa de HF” - IME, Dez 2000.
- Giuseppe, Amendola – “Análise do Comportamento da Ionosfera a Partir de Medidas em HF” - IME, Dez 2003.
- *White Paper do Satellite Based Augmentation System* – Ionosphere – SBAS – IONO/06 – Maastricht – Holanda – Agosto, 2002.
- ITU-R P. 533-7 - "*HF Propagation Prediction Method - International Telecommunication Union - Propagation*" - 2003.
- Matsuoka, Marcelo / Camargo, Paulo - "Avaliação de Funções para Modelagem do Efeito da Refração Ionosférica na Propagação dos Sinais GPS" - Anais do III Colóquio Brasileiro em Ciências Geodésicas - Mai 2003.
- Matsuoka, Marcelo / Camargo, Paulo - "Determinação do Erro Sistemático na Pseudodistância Devido à Ionosfera: Avaliação da performance do Mod_Ion e do Modelo de Klobuchar" - Anais do III Colóquio Brasileiro em Ciências Geodésicas - Mai 2003.
- Walter, Todd / Hansen, Andrew / Blanch, Juan / Enge, Per - *Stanford University* - Mannucci, Tony / Pi, Xiaoqing/ Sparks, Larry / Iijima, Byron - *Jet Propulsion Laboratory* - El-Arini, Bakry / Lejeune, Roland - *MITRE* - Hagen, Mine / Altshuler, Eric / Fries, Rob

/ Chu, Aleck, - *Raytheon* - "Robust Detection of Ionospheric Irregularities" - *Stanford University Meeting* - Dez 2003.

- A. DasGupta, A. Paul / S. Ray - "Ionospheric total electron content and WAAS in the Indian zone" - Institute of Radio Physics and Electronics University of Calcutta - Calcutta (capturado na Internet em Fev 2004)