



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

**Estudo técnico de avaliação de riscos operacionais e compatibilidades
tecnológicas para a instalação de radares meteorológicos no Campus do INPE, em
Cachoeira Paulista**

Trabalho elaborado pelos membros do INPE pertencentes ao Grupo de Trabalho estabelecido pela Portaria SEPED – Nº 8 – 10 de Outubro de 2012, e avaliado e complementado pelo membro do CEMADEN e pelo colaborador externo do Grupo de Trabalho composto por:

Dr. Carlos Frederico de Angelis

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN

Dr. Carlos Alexandre Wuensche de Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Dr. Roberto Vicente Calheiros

Colaborador Externo



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

CONSIDERAÇÕES SOBRE A TRANSMISSÃO DE SINAIS DE RADARES E A PROTEÇÃO DOS SERVIÇOS CIENTÍFICOS PASSIVOS NA FAIXA DE 2,6 E 2,9 GHZ

Nesse documento resumido apresenta-se um breve histórico das atividades de radioastronomia no INPE, Campus de Cachoeira Paulista, e mostra-se as normas vigentes relativas ao uso das bandas de frequências para as quais serão feitas considerações sobre o potencial de radares meteorológicos em gerar interferências no serviço de radioastronomia.

1 - RADIOASTRONOMIA EM CACHOEIRA PAULISTA

A atividade de pesquisa usando radiotelescópios instalados no INPE de Cachoeira Paulista teve início na década de 80 com a instalação de um radiotelescópio para fazer mapeamento da radiação contínua da Galáxia em frequências na faixa de 1-10 GHz. Na década de 90 teve início a construção de um interferômetro composto de 38 antenas para estudar o Sol e o Universo em comprimentos de onda no intervalo de 1-5 GHz. Mais recentemente, foram instalados dois radiotelescópios para estudar a atividade solar nas faixas de 1-2,5 GHz (BSS) e 10-40 GHz (SPECM). Os resultados obtidos com esses instrumentos são utilizados para pesquisar as relações entre a atividade solar e a Terra, que é um dos principais temas de pesquisa do Programa de Clima Espacial. Todos esses instrumentos são de altíssima sensibilidade sendo capazes de detectar sinais com potência da ordem de 205 dBW. O Interferômetro Decimétrico Brasileiro, que se encontra em sua fase final de construção, sendo o único instrumento com suas características no Hemisfério Sul, foi projetado para realizar observações em linhas espectrais e contínuo na banda de 1-5 GHz com altíssima sensibilidade.

1.1 – Por que Cachoeira Paulista foi escolhida como sítio?

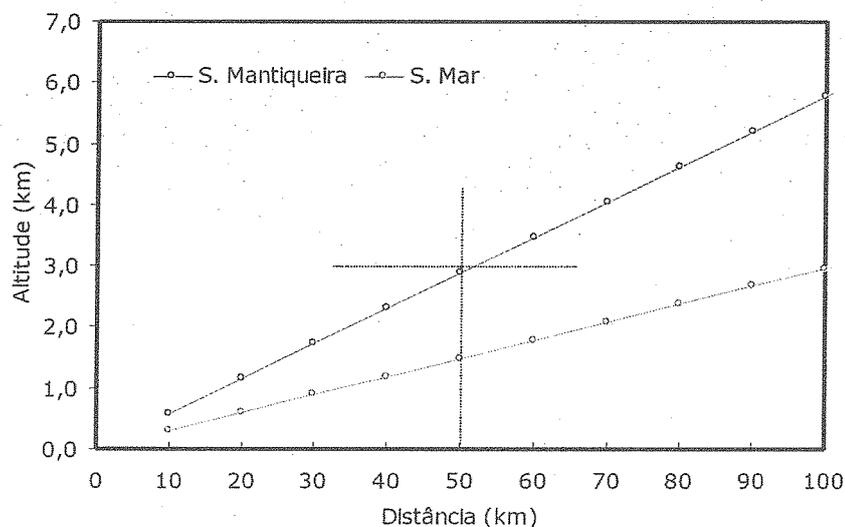


MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

Cachoeira Paulista esta situada no vale do Rio Paraíba do Sul, que fica quase que circundado por duas cadeias de montanhas que são a Serra da Mantiqueira, voltada para o Noroeste, e a Serra do Mar, voltada para Sudeste, quando observadas do INPE - Cachoeira Paulista (INPE-CP). Essa conformação geológica protege a região de interferências em rádio geradas por sistemas ativos localizados a grandes distâncias. A Serra da Mantiqueira se encontra a aproximadamente 29 km de distância do INPE/CP com altitude média da ordem de 1700 m, enquanto que a Serra do Mar se encontra a aproximadamente 40 Km de distância com altitude média da ordem de 1200 m. A partir do sítio do INPE-CP, particularmente na direção Noroeste, a elevação media da cadeia de montanhas é da ordem de 3,3 graus. Para esse ângulo de visada e nessa direção, a 50 Km de distância teríamos visada direta apenas de regiões acima de 3 km de altitude (Figura abaixo) . Na direção sudeste, temos pouca concentração urbana que se encontra basicamente ao nível do mar. Essa situação, aliada ao fato de que a Cidade de Cachoeira Paulista ainda não abriga intensa atividade industrial e tem população relativamente pequena, favorecem à instalação de instrumentos passivos na faixa de 1-10 GHz.



Altitude da linha de visada em função da distância, tomando como referência a distância do INPE-CP às serras do Mar e Mantiqueira e as altitudes média de ambas



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

as serras. Os dados utilizados para obter o gráfico acima foram retirados do Google Earth. Portanto não são precisos, todavia fornecem informações realistas para a abordagem em questão.

2 - ANATEL

Nesse item são fornecidas informações sobre a atribuição e regulamentação de faixas de frequências. Abaixo estão listadas, de acordo com o **Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequência no Brasil -PADFF (2012)** da ANATEL, as faixas de frequências e respectivos serviços alocados. Em letras maiúsculas são indicados os serviços com alocação primária e em letras minúsculas aqueles com alocação secundária. Os números fornecidos após a listagem dos serviços são notas internacionais contidas no **PADFF**, que alertam para a proteção de algumas bandas contra interferências prejudiciais. Nas faixas de 2655 a 2670 MHz, a nota 5.149 informa que *as administrações são instadas a adotarem todas as medidas práticas possíveis para proteger o serviço de radioastronomia de interferência prejudicial.*

Faixa de 2670-2690 MHz

- FIXO
- MÓVEL
- Exploração da Terra por Satélite (passivo)
- Pesquisa Espacial (passivo)
- Radioastronomia

5.149

Faixa de 2690-2700 MHz

- EXPLORAÇÃO DA TERRA POR SATÉLITE (passivo)
- PESQUISA ESPACIAL (passivo)
- RADIOASTRONOMIA

5.340



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218.
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

Faixa de 2700-2900 MHz

• RADIONAVEGAÇÃO AERONÁUTICA 5.337

• Radiolocalização

5.423 *

*5.423 - Na faixa 2700-2900 MHz, radares de solo utilizados para fins meteorológicos são autorizados a operar em base de igualdade com as estações do serviço de radionavegação aeronáutica.

Dentre as faixas listadas acima, a primeira e a última são adjacentes àquela na qual é permitida a utilização de radares com base de igualdade com as estações do serviço de radionavegação aeronáutica. No caso particular de serviços ativos em faixas adjacentes, a Rec. ITU-R RA.517 recomenda que “soluções práticas sejam procuradas pelas administrações para limitar a interferência produzidas por serviços ativos operando fora da banda”.

Além da atribuição de faixas descritas acima, recomendações técnicas foram elaboradas pela ITU/ONU, e adotadas pela ANATEL, em nome da Federação Brasileira, para assegurar o uso das faixas, livres de interferências que inviabilizem as atividades nelas alocadas em caráter primário.

3 - ATENUAÇÃO DO SINAL DE RADAR EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO COM O MEIO DE PROPAGAÇÃO

Nesse item é feita uma estimativa do quanto a atmosfera terrestre absorve radiação entre 1 e 5 GHz em função das condições atmosféricas e da distância percorrida pelo sinal, para propagação em espaço livre.

Abaixo são mostradas simulações de propagações de radiação, em espaço livre, na banda de 1 a 5 GHz, em altitude da ordem de 600 m acima do nível do mar para valores de umidade relativa variando entre 20 % e 70%. Nessa modelagem a temperatura é assumida constante e igual a 25° C, e a pressão atmosférica é da ordem de 970 mb.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

Figura 1(A)

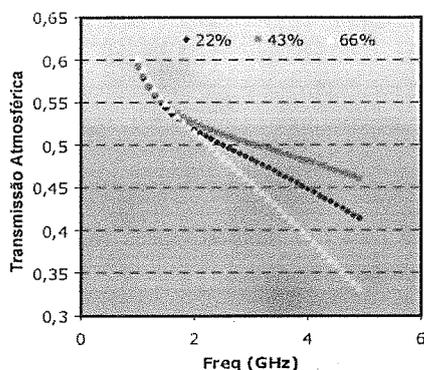
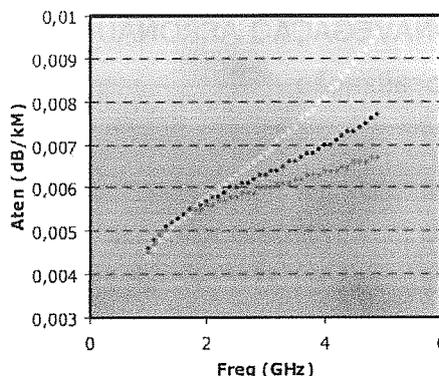


Figura 1 (B)



As figuras mostram a transmissão atmosférica e a atenuação em dB/km para uma trajetória livre de 500 km, paralela ao nível de 600 m de altitude. As curvas mostram esses parâmetros para diferentes valores de umidade relativa. Foi utilizado o modelo de propagação de microondas de *Hans Liebe et al* ("Propagation modeling of moist air and suspended water/ice particles at frequencies below 1000 GHz", Proc. AGARD Conf. Paper 3/1-10, Palma De Mallorca, Spain, May 1993), que leva em consideração os seguintes constituintes da atmosfera: O₂, H₂O, e N₂. A figura 1A mostra que entre 2.4 e 2.8 GHz a transmissão atmosférica é em média 50 % para umidades relativas variando entre 22 e 66 %. Nessa figura, transmissão total é igual a 1 e bloqueio total é 0. Nesse caso, por conta apenas da atenuação atmosférica, após percorrer 500 km a potencia do sinal é reduzida de aproximadamente 50%. A figura 1 B mostra a atenuação em dB para cada quilometro percorrido. Por esse efeito, o sinal de radar varia de uma ordem de grandeza devido a atenuação pela atmosfera, sem influencia de chuva e neve.

Estudos de radares operando nesses comprimentos de onda mostram que a formação de dutos atmosféricos favorece a propagação de radiação, nesses comprimentos de onda, até distâncias muito grande sem perdas apreciáveis de sinal (Chang 1971). Discussões sobre efeitos de ducting e multicaminhamento (multipathing) nos sinais de radar podem ser encontrados na seção 3 do NTIA Report 83-117.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

4 - TRANSMISSÃO DIRETA

Nesse item é feita uma breve discussão sobre o nível de radiação dos sinais gerados diretamente pelo radar na região vizinha ao local onde é instalado. Como não há medições detalhadas da figura de radiação e do espectro de potência do radar meteorológico em questão, utilizamos as informações do "Radar Spectrum Engineering Criteria" (RSEC) contido na parte 5 do Manual da NTIA-2012, para obter os níveis mínimos de sinais, em dBW, gerados pelos lóbulos laterais do sistema transmissor e para explorar o espectro da potência, conforme discutido no item 3.2 abaixo.

Os radares são sistemas transmissores e receptores com alta diretividade, que transmitem pulsos de alta potência segundo o seu diagrama de radiação da antena. Como a potência transmitida é muito alta (> 700 KW), mesmo tendo altas atenuações nos lóbulos laterais, sinais com nível de potência superiores aos níveis mínimos recomendados pela ITU-R Rec 769 podem ser emitidos em outras direções que não o feixe principal. O fluxo de potência transmitido varia com a distância segundo a equação

$$P_T = \frac{P_T G(\theta, \phi)}{4\pi R^2}$$

onde P_T é a potência do transmissor e G o ganho da antena em função da direção. Assumindo uma atenuação de -60 dB para valores de azimute maiores ou iguais a ± 30 graus em relação ao centro do lóbulo principal, o sinal transmitido por esses lóbulos, a uma distância de um quilometro do radar teria densidade de fluxo de potência da ordem de 10^{-8} Wm^{-2} que corresponde a aproximadamente -80 dB(Wm^{-2}).

Independentemente da emissão pelos lóbulos laterais, o radar opera varrendo o azimute de 0 a 360 graus. Portanto, qualquer sistema passivo operando no mesmo sítio e na mesma banda teria o feixe principal do radar gerando sinal de 106 W em sua direção com uma certa periodicidade. Ambos os sinais são muito intensos para serem compartilhados com um sistema passivo de alta sensibilidade. Esse tipo de



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

interferência representa um grave problema mesmo para um radar situado a grande distância do sistema passivo sem bloqueio na linha de visada.

5 - DENSIDADE DE POTÊNCIA DOS ECOS

Nesse item é feita uma breve discussão sobre a potência dos sinais dos ecos que retornam ao local do radar.

Ecos são produzidos ao longo do caminho de propagação por vários tipos de alvos diferentes cujo fluxo de potencia é dado pela equação

$$P_T = \frac{P_T G(\theta, \phi)^2 \lambda^2 \sigma}{64\pi^3 R^4}$$

onde λ é comprimento de onda da radiação e σ é a seção de choque de espalhamento. Nesse caso, os ecos tem seus fluxos de potência reduzidos pela distância elevada à quarta potências e pela área da seção de choque dos alvos espalhadores de radiação.

Uma estimativa simples do nível de potência desses sinais é dada diretamente pela própria sensibilidade do radar, que corresponde à potencia mínima detectável em função da área coletora do radar e das características do receptor (figura de ruído, largura de banda, polarização).

Os radares meteorológicos atuais operando na banda de 2.7 a 2.9 GHz têm sensibilidade para detectar ecos tão fracos quanto 10^{-14} W ou -140 dBW. Tomando-se esses sinais como referencia, sensores passivos localizados na proximidade do sítio do radar meteorológico, com sensibilidade para detectar sinais de -220 dBW sofreriam interferências prejudiciais com níveis de potências milhares de vezes maiores do que o limiar estabelecido pela recomendação da International Telecommunication Union ITU-R RA 769.

Esse resultado mostra que não é possível compartilhar bandas com o radar meteorológico em qualquer circunstância.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

6 – HARMÔNICOS (emissão fora da banda)

De acordo com o Manual da NTIA, 2012, capítulo 5.5.1, os radares meteorológicos se enquadram no Grupo D, que trata de todos os radares fixos operando na faixa de 2700-2900 MHz. Os critérios de uso desses radares estão descritos no tópico 5.5.4 do manual da NTIA e mais detalhadamente na seção 6 do NTIA Report 83-117.

Além dos aspectos descritos acima, a geração dos sinais intensos é acompanhada de emissão fora da banda (harmônicos etc) que requerem filtros especiais para que o fluxo de potência gerado nas bandas contíguas seja suprimido ou minimizado de modo a atender aos limites estabelecidos pela União Internacional de Telecomunicações (ITU-ONU). Exemplos de espectros de emissão de radares utilizando Klystrons – caso do radar meteorológico em questão – são fornecidos nas páginas 80 a 83 do Report 83-117 da NTIA. Particularmente no caso do Sistema radar ASR-8 cujas medidas do espectro de emissão cobre o intervalo de 2.545 a 3.145 MHz, é possível observar que o limite de potência medido é da ordem de -100 dBm e que em um dos canais a emissão próximo de 2545 MHz e 3145 MHz é da ordem -95 dBm. Tomando -100 dBm com o limite para emissão nos extremos dessa banda, chegamos a um sinal de potência 10^{-13} W que corresponde a -130 dBW. Esse nível de sinal é muito mais intenso do que os limites estabelecidos pelo ITU e adotados pela ANATEL como limiar para os serviços de radioastronomia.

Para os níveis de potência transmitidos pelos radares meteorológicos é pouco provável que existam filtros capazes de reduzir o fluxo de potência das emissões fora da banda para valores da ordem de 10^{-20} W ou 10^{-17} Wm⁻². Esses são os limites de interferência estabelecidos pela União Internacional de Telecomunicações (ITU/ONU), para as bandas alocadas para a radioastronomia nas faixas de 1 a 10 GHz. Para se fazer uma avaliação rigorosa dos efeitos das emissões fora da banda, os fabricantes dos radares devem fornecer informações detalhadas sobre o espectro de potência até os limites de sensibilidade estabelecidos pela ITU cobrindo as bandas laterais,



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

onde se encontram os serviços passivos alocados, principalmente, em caráter primário.

7 - RECOMENDAÇÕES DA ITU

Nesse item são abordados, superficialmente, aspectos gerais sobre os limiares de sinais estabelecidos como critério para proteção do serviço de radioastronomia.

De acordo com a Recomendação ITU-R RA.769, que trata dos critérios de proteção usados para radioastronomia, (Question ITU-R 145/7), o nível de interferência produzido por qualquer serviço ativo operando entre 2690 MHz e 2700 MHz e bandas laterais não deve exceder o limite de Potencia de -207 dB(W) ou Densidade de Potencia espectral de -181 dB(W/ (m .Hz)).

Ainda de acordo com a ITU-R RA.1031, os níveis máximos de Densidade de Potencia Espectral devem se enquadrar na figura abaixo.

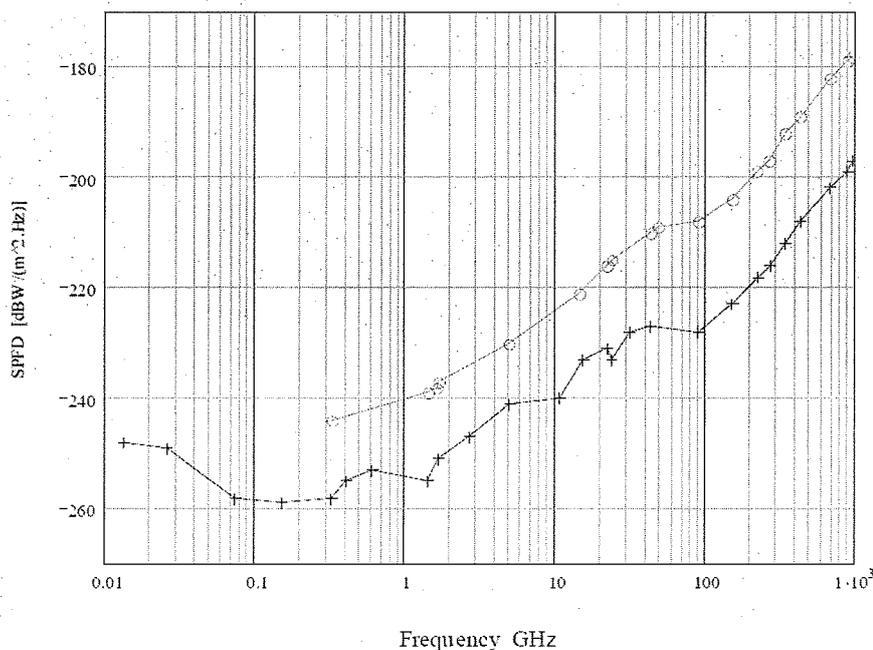


Figura 3 – Níveis de densidade de potência espectral acima das quais são produzidas interferências prejudiciais aos serviços de radioastronomia.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

As linhas preta e vermelha mostram os níveis máximos de interferência para observações no modo contínuo e espectroscopia, respectivamente, na faixa de 0,01 GHz até 1000 GHz. Esse gráfico deve ser considerado como referência para estabelecer os níveis de densidade de potência espectral para os harmônicos gerados na transmissão dos sinais, nas bandas alocadas para a Radioastronomia.

8 – RADAR METEOROLÓGICO E RADIOASTRONOMIA

No documento “Report on Wind Farms and Radio Astronomy” / Expert Committee for Radio Astronomical Frequencies Management / European Science Foundation, 16/02/2011, Axel Jessner (Instituto Max-Planck para Radioastronomia), ao tratar da problemática da interferência de instalações de geração de energia eólica na operação de radiotelescópios, faz menção à interferência de radares meteorológicos em radioastronomia apresentando, a respeito, resultados de estudos recentes. Na introdução Jessner apresenta aspectos básicos, que estão considerados na sequência.

Os sinais recebidos pelos radiotelescópios são bastante fracos, em função das enormes distâncias em que se encontram as fontes de interesse (por vezes situadas a milhões ou bilhões de anos-luz da Terra). Esses radiotelescópios apresentam sensibilidade tal que lhes permite detectar rotineiramente sinais com densidade de fluxo de potência da ordem de $10^{-29} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$. As antenas dos radiotelescópios apresentam alta diretividade, com ganhos da ordem de 50 dB a 60 dB. Seu feixe principal é posicionado na direção vertical, não cobrindo, assim as baixas elevações, que observam as instalações no solo. No entanto a sensibilidade dos radiotelescópios é tão elevada a ponto de serem detectados os sinais de rádio contidos na faixa termal do espectro de emissão de um objeto no solo, à temperatura ambiente.

Face a essa situação, os projetistas de radiotelescópios despendem árduos esforços objetivando evitar a detecção dos citados sinais de rádio e de outras



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

interferências provenientes de equipamentos em terra. Apesar desses esforços, uma pequena fração dos sinais, com intensidades cerca de um milhão de vezes inferiores às dos sinais detectados pelo feixe principal da antena, ainda é detectado. A essa interferência soma-se aquela produzida por sinais recebidos de todas as direções, provenientes de várias fontes não situadas em terra.

Para a detecção dos sinais de rádio de pequena intensidade, que provêm de fontes distantes no espaço cósmico, é preciso dispor-se de uma largura de faixa de frequências suficiente, por um tempo suficientemente longo, livre de interferências. Em função desses requisitos bastante estritos, os radiotelescópios são usualmente situados em áreas remotas cuidadosamente selecionadas.

Nesse sentido, países como os E.U.A., Chile, Austrália e África do Sul criaram grandes zonas de silêncio-rádio no entorno de seus rádio observatórios, existentes ou planejados, onde as emissões de rádio de fontes terrestres são controladas muito estritamente. Nos países europeus, em função da alta densidade populacional, essa solução não é viável, e as administrações buscam coordenar a localização de transmissores para que não haja interferência de radiofrequência (RFI) nos rádio-observatórios.

Já em 1959 as autoridades a que estavam afetas as regulamentações relativas às frequências de rádio reconheceram os requisitos destacados de proteção da radioastronomia, idealizando um conjunto de acordos e recomendações no âmbito da União Internacional de Telecomunicações. Nesse sentido foi elaborada a Recomendação ITU-R RA 769-2 em que estão especificados limites para a potência em radiofrequência existente no ambiente de um radiotelescópio acima dos quais há interferência prejudicial. Objetivando manter a potência dos sinais de RFI abaixo dos limites acordados internacionalmente, são empregadas medidas como restrição do nível da potência de transmissores e distâncias mínimas de separação entre os transmissores e o radiotelescópio. As autoridades administrativas responsáveis pela regulamentação da questão consultam o grupo de especialistas da Fundação Europeia de Ciências-ESF, que constituem o Comitê de Frequências de Radioastronomia – CRAF, sobre questões relativas à proteção relativa à RFI em



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

radioastronomia. Tais consultas são feitas ao CRAF como membro reconhecido da ITU. O CRAF tem status de observador na Conferência Européia de Administrações Postal e de Telecomunicações- CETP, e participa das reuniões do Comitê de Comunicação Eletrônica- ECC da CETP na condição de consultor.

As fontes de RFI são numerosas. Em termos gerais, a gama de frequências de interesse da radioastronomia se estende de aproximadamente 10 MHz até mais de 100 GHz. Entre elas estão as turbinas de geração de energia eólica e os radares meteorológicos. As turbinas são mais recentes, e constituem o assunto central do trabalho de Jessner. Elas refletem intensamente sinais de rádio.

Representam, igualmente, fontes de interferência para radares meteorológicos. Sobre essa questão, Jessner registra a solicitação de regulamentação da EUMETNET conforme descrito abaixo:

- a) Nenhuma turbina eólica deve ser instalada a distâncias da antena de radar menores do que:
 - 5 km de radares banda-C
 - 10 km de radares banda-S
- b) Os projetos de parques de geração eólica devem ser submetidos a estudos de impacto quando envolverem distância inferiores a:
 - 20 km de radares banda-C
 - 30 km de radares banda-S

Especificamente em relação aos radares meteorológicos, o autor informa que recentemente o CRAF e a EUMETNET submeteram ao ECC um documento identificado como SE21(10)045 em que constam as distâncias de separação que devem ser observadas entre um radar meteorológico e um rádio observatório. Essas distâncias dependem da frequência e das características do radar, e variam no intervalo de 42 km a 102 km. A distância pode ser encurtada em regiões montanhosas e ampliada sobre o oceano. Esse relatório foi aceito pelo ECC.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

Argumenta que, embora os radares meteorológicos não operem nas mesmas frequências que os radiotelescópios, as inevitáveis emissões fora da faixa face à alta potência dos radares, implicam que as separações acima mencionadas são necessárias para uma linha direta de visada de modo a atender os limiares para radioastronomia estabelecidos pela recomendação ITU-R RA 769 anteriormente citada. Menciona, outrossim, que um refletor forte pode espalhar sinais de radar a partir de longas distâncias e que, embora áreas montanhosas venham a blindar o radiotelescópio do transmissor do radar, os sinais espalhados pelo refletor poderão ser detectados como RFI.

Nota-se a preocupação de Jessner em destacar que a restrição em relação às turbinas eólicas "...is likely to affect only a small fraction of the areas suitable for the location of Wind turbines, and should therefore have a negligible impact on national and global wind power capacities".

Cabe notar que, independente das restrições estabelecidas, Jessner coloca o seguinte, no item final de seu trabalho (International protection of radio observatories):

"The planning and operation of Wind farms is subject to national and regional planning procedures....", e, "CRAF sees its role as an accompaniment to this process, and is actively involved in devising guidelines that will enable a mutually beneficial coexistence of wind farms and radio observatories".

Mutatis mutandis, entende-se que o mesmo vale para os radares meteorológicos.

9 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

É muito difícil fazer medições do nível de potência dos sinais produzidos pelos radares ou outros sistemas ativos, fora da banda de transmissão, quando o limiar de -205 dBW deve ser alcançado. Medições com esse nível de sensibilidade requer o uso



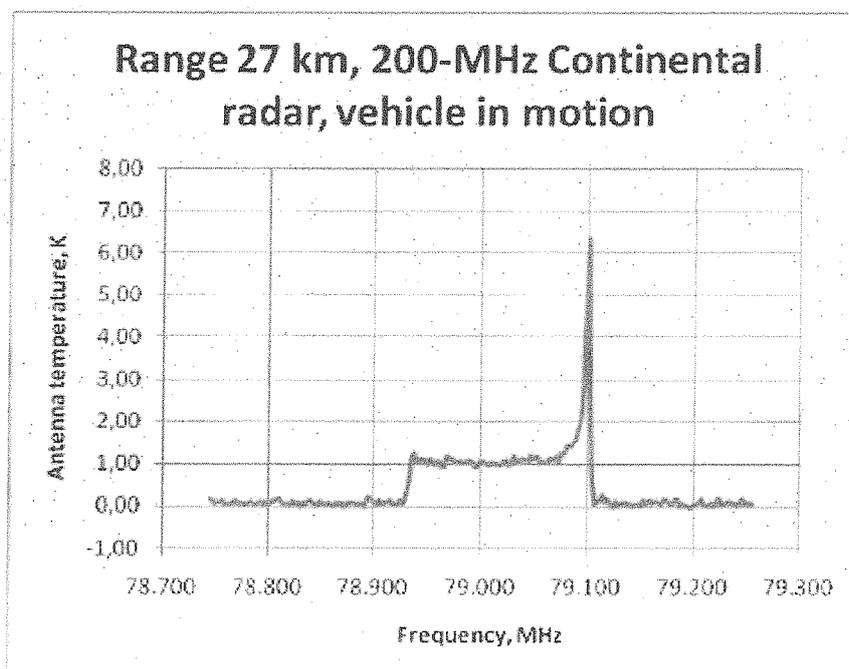
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

de radiotelescópios e técnicas especiais de aquisição e integração de dados. Um caso particular de medida de interferências produzida por um sistema ativo em um radiotelescópio, próximo do limiar acima, esta descrito na Nota No.219, da Divisão de Eletrônica do Radio Observatório Nacional Americano (NRAO). Trata-se do sinal de um *Wide Band Radar* de baixa potência, para aplicações automotivas. A figura abaixo mostra a interferência gerada pelo radar automotivo, instalado em um carro localizado a 27 km de distância de um radiotelescópio de 12 m de diâmetro. A transmissão é na banda 78,8-79,1GHz.



Neste caso, a densidade média de fluxo de potência é da ordem de $-119,8$ dBW/m² que é superior ao limiar de -129 dBW estabelecido para esse comprimento de onda. É possível observar a ocorrências de emissão muito fraca fora da banda de transmissão. Esse nível de sensibilidade só é conseguido utilizando-se antenas com



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

grandes áreas coletoras e receptores de altíssima sensibilidade, como é o caso de um radiotelescópio.

Em 2010, o radiotelescópio de 14 m do Itapetinga, Atibaia, detectou interferência em 43 GHz com densidade de fluxo da ordem de -200 dB(W/m²Hz) gerada por algum harmônico do sinal que é utilizado para enviar informações meteorológicas para um satélite de coleta de dados. O sinal dessas plataformas é gerado em 401,635 MHz com potência da ordem de 2 W. Até então, esse tipo de emissão era completamente desconhecido pelos usuários do sistema e pelo próprio fabricante. Em função dessa interferência, a estação meteorológica foi transferida para um local situado a mais de 17 km de distância e sem visada direta para o Observatório.

Esses exemplos têm como objetivo mostrar que as medições do espectro de potências de sistemas ativos como radares, por exemplo, tem seus limites inferiores de medição mais de um milhão de vezes acima do nível mínimo possível de ser medido com um radiotelescópio. Do ponto de vista prático, também é quase impossível analisar toda a banda de frequências utilizadas pelos serviços passivos. Quando esse tipo de problema ocorre violando os critérios estabelecidos pelas agências reguladoras, o procedimento tem sido desativar os transmissores. Nesse sentido, o procedimento recomendável é o não compartilhamento de mesmo local por um sistema ativo e um sistema passivo de alta sensibilidade.

10 - CONCLUSÃO

Pelos níveis de potências transmitidos pelos radares meteorológicos operando na banda 2.7 a 2.9 GHz, pelas características dos sinais transmitidos pelas antenas não é viável o compartilhamento de um único sítio para as atividades de um radar meteorológico e aquelas dos serviços científicos passivos, como por exemplo a radioastronomia.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

Para uma análise mais detalhada do nível de interferência produzido pelo radar em serviços passivos operando na banda em bandas contíguas, são necessárias informações precisas sobre o diagrama de radiação e medições do espectro de potência até o limiar de -205 dBW fora da banda de emissão do sinal do radar.

Atualmente, encontra-se em andamento negociações da NASA/JPL com o Brasil para implantação de um complexo de equipamentos denominado Sistemas de Observações Geodésicas Global –GGOS cujo objetivo principal é estudar a geometria e a dinâmica do Sistema Terra. Pela posição do Brasil em relação à questão ambiental, tudo indica que pelo menos um GGOS será instalado em nosso país. Esses observatórios Geodésicos estão equipados com uma nova geração de radiotelescópios de alta sensibilidade para observações interferométricas, além de outros instrumentos que devem ser instalados em locais livres de interferências na faixa de 1-18 GHz. Projetos como esse e outros, implantados e em fase de implantação no Brasil, requerem que sejam feitos estudos detalhados para a escolha de locais onde poderão ser instalados sistemas ativos, como por exemplo radares meteorológicos, afim de que os projetos não sejam prejudicados. No anexo são fornecidas as coordenadas e as características dos radiotelescópios instalados no Brasil. Essas informações devem ser levadas em consideração nos critérios de escolha de sítio para instalação de qualquer sistema ativo.

APÊNDICE 1

A tabela abaixo contém uma lista de radiotelescópios brasileiros em operação. Todos esses instrumentos observam objetos em elevações entre 10 a 85 graus e azimutes de 0 a 360. Encontra-se em andamento pesquisa de sítio, em solo brasileiro, para futuras instalações de estações da nova geração de Observatórios Geodésico –GGOS e de novos radiotelescópios para compor uma rede de interferometria com a África do Sul e a fase 3 do Square Kilometer Array –SKA.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218

CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

CADASTRO DOS RADIOTELESCOPIOS BRASILEIROS EM OPERAÇÃO

Cadastro de Freqüências - Radioastronomia

ALBA/INPE
Caracas 070.700

Site	Localização	Lat/Long/Alt	Início de Operação	Faixas de Freq.	Sensib. (Jansky)	Banda de Freq. (Hz)	Ts (s)	Antena			Tipo Observ.			Aplicação		
								Diâmetro (m)	Tipos	Rec	ITU	Cont.	União		VLBI	
RTO	Alcobaça - SP	23º 11' m S 077º 5' 46" 33" W 426 m 30/50	1973	10 - 50 GHz	0.1	10 - 10	10	1.2	Parab	X				Estudos temporais		
				6 - 7 GHz											Programação do SO	
				11 - 13 GHz												Observ. sistemáticas do Sol
				18 - 24 GHz												Obs. fontes galáx e extragal
				21 - 24 GHz												Obs. fontes galáx e extragal
				32 - 37 GHz												Obs. fontes galáx e extragal
				40 - 44 GHz												Obs. fontes galáx e extragal
				45 - 50 GHz												Obs. fontes galáx e extragal
				70 - 100 GHz												Obs. fontes galáx e extragal
RZEN	Euzerão - CE	34 52 m 38 53 S 82º 27' 34" W	1990	2 - 3 GHz	0.001	300M	20	14.2	Parab	X				Obs. fontes galáx e extragal		
				8 - 9 GHz	0.001	1G	20	14.2	Parab	X				Obs. fontes galáx e extragal		
RSS	C. Palmeira - SP	24º 41m 58 S 44º 59m 01s W 560 m	2011	1 - 2.5 GHz	10	3M	300	9	Parab	X				Observ. do Sol com uma resolução temporal e espacial		
BCA	C. Palmeira - SP	23º 41m 12.0s S 44º 59m 7.3s W 621m	mar/03	1 - 5 GHz	0.001	2.5M	70	5	Array	X				Obs. de alta resolução espacial: 38 antenas de 5 m de diâmetro cada		
SPECM	C. Palmeira - SP	23º 41m 58 S 44º 59m 01s W 560 m		10 - 40 GHz	100 Jy	1 GHz	100	120	Parab	X				Cooperar para criar resolução temporal e espacial		
GEM	C. Palmeira - SP	23º 41m 26s S 44º 59m 7.3s W 621m	mar/03	408 MHz	10	30M	20	5.5	Parab	X				Mapas emissão galáxia em rádio		
				1 - 2.5 GHz	1	300M	20	5.5	Parab	X				Mapas emissão galáxia em rádio		
				2 - 3 GHz	1	300M	20	5.5	Parab	X				Mapas emissão galáxia em rádio		
				5 GHz	1	300M	20	5.5	Parab	X				Mapas emissão galáxia em rádio		
				10 GHz	1	300M	20	5.5	Parab	X				Mapas emissão galáxia em rádio		
				30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X					Flutuações tempo Rad. Côm	
BEAST	White Mountain Ca USA	37º 41m 50.2 s N 119º 41m 14.2 s W 3075m	jun/01	38 - 46 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
BEAST	Barão SP - MT	Tupiza SP - MT SP 40 km	2004	30 - 31 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				38 - 46 GHz	0.001	1G	30	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				40 - 51 GHz	0.001	3G	15	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
				150 - 151 GHz	0.001	3G	15	2.2	Parab	X				Flutuações tempo Rad. Côm		
SSO/COES	São Mateus da Serra - RS	24º 20m 24s 0f 5 153º 48m 38s 96 W	2003 2003 2001	10 - 90 MHz	0.19	4M	2500	2000	Ar. Di.	X				Obs. fontes galáxias e extragal		
				140 - 240 MHz	0.09	4M	270	2000	Ar. Di.	X				Obs. fontes galáxias e extragal		
				150 - 153 MHz	0.02	2M	200	9000	Ar. Ya	X				Obs. fontes galáxias e extragal		

Obs. 1 Jansky = 10⁻²⁶ W m⁻² Hz⁻¹
 GEM - Galactic Emission Mapping
 BEAST - Back Ground Emission Anisotropy Scanning Telescope
 SSO/COES - Southern Space Observatory/Observatório Espacial do Sul Ar. - Array. Di. - Diâdo. Ya - Yagi



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Esplanada dos Ministérios – Bloco E – 2º andar – Sala 218
CEP: 70067-900 – Brasília – DF – Tel.: (61) 3317-8128/ 8015 – Fax.: (61) 3317-7766

Elaboração:

Dr. Carlos Frederico de Angelis

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN

Dr. Carlos Alexandre Wuensche de Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Dr. Roberto Vicente Calheiros

Colaborador Externo

