XXII SITRAER 2025
Simpósio de Transporte Aéreo

AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM RÁDIO ALTÍMETROS DE AERONAVES OCASIONADA PELA EMISSÃO DE ONDAS POR ANTENAS DE TELEFONIA

Emanuelle Lorranne de Freitas Ferreira dos Santos [1], Jorge Augusto Pereira Rodrigues [1], Lucas Alves Moreira [1]
1. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

*** Corresponding author e-mail address**:
emanuellelorrannefs@gmail.com , engenheiro.jorgeaugusto@gmail.com , lucas.engineer@hotmail.com

PAPER ID: SITXXX

RESUMO

O avanço tecnológico traz diversos benefícios, como é o caso da comunicação móvel de quinta geração, 5G, pois tal tecnologia permite maior fluxo de dados com maiores velocidades de transmissão propiciando, portanto, para seus usuários, maior conforto e inúmeras possibilidades com uso de inteligência artificial. Em contrapartida, os sistemas 5G mostraram-se como uma fonte de interferências eletromagnéticas, devido às faixas de frequências reservadas às suas operações, em sistemas aeronáuticos, principalmente, em rádio altímetros e, de forma direta e indireta, aos sistemas aviônicos correlatos que tenham dependência dos rádio altímetros. O rádio altímetro, por ser um equipamento essencial durante o voo por instrumentos das aeronaves, possibilitando medição de suas alturas em relação ao solo, faz com que suas informações tenham necessariamente altos níveis de confiabilidade e precisão. Com isso qualquer anomalia que possa gerar perda em sua confiabilidade é considerada grave e com alto potencial de risco, podendo causar acidentes de grandes proporções. Devido à sua grande importância, os órgãos responsáveis pela aviação, visando garantir a segurança de procedimentos de voo, emitiram diretivas de aeronavegabilidade buscando identificar possíveis efeitos causados pela nova tecnologia 5G. Estudar e compreender a extensão dos impactos ligados a tal interferência é muito importante para a formulação de novos procedimentos que possam mitigar os efeitos das interferências, bem como adaptar equipamentos que possam ser capazes, de identificar essa anomalia, evitando-as e ou corrigindo-as, proporcionando aos pilotos, empresas, tripulantes maior segurança durante operações de pousos e decolagens por instrumentos, diminuindo os riscos. É exposto neste artigo a análise por meio de ensaio em laboratório, da atenuação do sinal de onda eletromagnética proveniente de um enlace entre antenas.

Palavras-chave: Aeronavegabilidade, Confiabilidade, Interferência, altímetro, Segurança.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, Professor Ronaldo Kascher Moreira, expressamos nossa profunda gratidão pela orientação, pela dedicação e por nos compartilhar seus conhecimentos que foram fundamentais para sanar nossas dúvidas e nos aconselhar nas melhores direções para nossa pesquisa. Somos imensamente gratos pelo apoio constante no desenvolvimento deste artigo. Gratidão!

PAPER ID: SITXXX

AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM RÁDIO ALTÍMETROS DE AERONAVES OCASIONADA PELA EMISSÃO DE ONDAS POR ANTENAS DE TELEFONIA

1 INTRODUÇÃO

Os rádios altímetros devem atuar com o maior nível de precisão possível principalmente nas regiões onde se localizam os aeroportos, pois são nesses locais que acontecem os pousos e decolagens. (DEKKER; VAN HEIJSTER; VAN SAMBEEK, 2021).

O rádio altímetro emite uma onda eletromagnética de alta frequência modulada, através das antenas de transmissão localizadas no intradorso da fuselagem da aeronave, medindo-se o intervalo de tempo necessário para que esta onda se reflita parcialmente no solo e retorne para as antenas receptoras também instaladas na aeronave efetuando-se a conversão desse tempo decorrido, em altura. As faixas de frequências da onda emitida nas operações dos rádio altímetros são dependentes de regulamentos, tal como da finalidade para uso, restrições e viabilidade técnica (NEBYLOV; YANOVSKY, 2012).

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) juntamente com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), regulamentam o uso da faixa de frequências entre 4200-4400 MHz para garantir a proteção dos serviços de rádio navegação aérea. O uso da faixa em torno de 4 GHz é monitorado por ambos os órgãos para se avaliar eventuais medidas de supressão de interferências (BRASIL, 2022).

Estudos têm sido realizados para avaliação da gravidade da interferência da tecnologia 5G em rádio altímetros que são dispositivos que calculam a altura das aeronaves em relação ao solo, sendo esse um sistema importante na operação de aeronaves. O governo dos Estados Unidos da América (EUA) decidiu usar as redes 5G comerciais dentro da faixa de operação de 3700 a 3980 MHz, próximas às utilizadas pelos rádios altímetros de aeronaves. Essa situação tem causado preocupação no setor de aviação civil, dadas às características das redes de quinta geração (BRASIL, 2022).

Para evitar a interferência eletromagnética no funcionamento dos rádios altímetros foram emitidas diversas *Notice To Airman* (NOTAM) por órgãos internacionais, principalmente os norte-americanos, como a *Air Line Pilots Association* (ALPA) e foram desenvolvidas ações para adiar o início da operação da banda 5G próxima a estes espaços aéreos. Além disso, alertas de segurança foram emitidos para informar aos fabricantes, companhias aéreas e órgãos responsáveis pela segurança na aviação sobre quais sistemas das aeronaves poderiam ser afetados pela interferência 5G (ALPA, 2022).

Essa maior restrição no espaço aéreo norte americano deve-se ao fato de que em outras grandes cidades do mundo a faixa de operação da tecnologia 5G é bem distinta da faixa de operação utilizada pelos rádios altímetros neste país o que proporciona uma maior margem de segurança (ALPA, 2022).

A utilização da tecnologia 5G gerou controvérsias dentro da *International Civil Aviation Organization* (ICAO), que atualmente recomenda uma separação espectral mínima de 200 MHz para as telecomunicações móveis, *International Mobile Telecommunications* (IMT), para proteger os rádios altímetros que operam na faixa de 4200 a 4400 MHz de eventuais interferências. Deve-se notar que a decisão dos Estados Unidos de usar a faixa de 3,9 GHz é diferente da decisão proposta pelo 5G do Brasil, que se encontra na faixa de 3,5 GHz (3300 a 3700 MHz) (BRASIL, 2022).

Conforme a *Federal Aviation Administration* (FAA), além da imprecisão na informação da altura da aeronave, outros sistemas embarcados que utilizam dados do rádio altímetro e, portanto, informações imprecisas ou errôneas podem comprometer a segurança do voo, sobretudo durante o

pouso e a decolagem, fases do voo consideradas mais críticas frente à falhas dos rádio altímetros (FAA, 2021), conforme transcrição abaixo:

Como exemplos de sistemas afetados por essa interferência podem citar: o *Enhanced Ground Proximity Warning Systems* (EGPWS); *Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS); Terrain Awareness Warning Systems* (TAWS); *Envelope Protection Systems; Altitude safety call outs/alerts; Autothrottle; Thrust reversers; Flight Director; Primary Flight Display of height above Ground; Take-off guidance systems; Flight Control; Tail strike prevention systems; Windshear detection systems; Alert/warning or alert/warning inhibit; Stick pusher / stick shaker; Engine and wing anti-ice systems; Automatic Flight Guidance and Control Systems* (AFGCS). (FAA, 2021, p.2).

O objetivo geral deste trabalho é estudar e identificar a interferência eletromagnética da tecnologia 5G, proveniente da emissão de ondas por antenas de telefonia, em sistemas aviônicos transceptores, sobretudo em rádio altímetros de aeronaves, bem como explicitar riscos potenciais capazes de regredir o nível de segurança dos voos e afetar a aeronavegabilidade.

Com relação ao problema de interferência da tecnologia 5G é necessário evidenciar que não é possível uma solução simples como, por exemplo, mudar a faixa de frequência dos altímetros das aeronaves, visto que, o instrumento já consolidado e em operação, fornece alta precisão para garantir o fornecimento à tripulação de uma informação confiável e segura sobre a altura da aeronave. Ruídos provocados por interferências advindas de ondas eletromagnéticas com frequências similares, bem como operação do rádio altímetro em faixa de frequência diferente para a qual foi projetado, acarretam em informações imprecisas e até mesmo erradas sobre os parâmetros de altitude da aeronave (FAA, 2021).

Dessa forma, para garantir que o setor da aviação mantenha a alta confiabilidade para os usuários e toda a área aeronáutica é fundamental identificar os efeitos dessa interferência, bem como propor soluções eficientes para que essa temática não interfira no bom andamento da atividade aérea.

Face ao exposto, o artigo é justificado pela necessidade de se entender as possíveis falhas ocasionadas por interferências eletromagnéticas em sistemas aviônicos com foco no rádio altímetro, além de elucidar os fatores importantes que deveriam ser avaliados para permitir maior segurança em aeroportos com infraestrutura de sistemas de telefonia 5G, com base nas declarações dos órgãos competentes acerca do assunto.

A possível conexão com o problema em foco neste trabalho, que é a interferência de sinais de 5G com a antena receptora do rádio altímetro de aeronaves e o método de análise por meio de ensaio em laboratório, é a possibilidade de tornar as antenas receptoras das aeronaves menos "sensíveis" às ondas eletromagnéticas provenientes de antenas 5G próximas às cabeceiras dos aeroportos, atenuando as ondas que cheguem a estas antenas em direções não alinhadas com o solo próximo, na vertical da aeronave, que é a direção de interesse do rádio altímetro.

A proposta compreende em apresentar-se após a introdução, a seção 2, relacionada ao referencial teórico, contribuindo neste com a temática da tecnologia 5G e sobre a interferência eletromagnética em sistemas aviônicos com foco nos rádio altímetros. Na seção 3, é exposta a metodologia aplicada para validar o referencial teórico, juntamente com os resultados de ensaios eletromagnéticos para comprovação e eficiência das blindagens de ondas. Já na seção 4, aborda-se os resultados obtidos por meio do ensaio em laboratório. Em seguida, na seção 5, obtém a conclusão deste artigo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço da tecnologia 5G permite o aprimoramento do sinal digital, bem como o célere avanço dos processos industriais, entre outras facilidades para toda a sociedade, pois proporcionará

a capacidade de uma quantidade muito maior de dispositivos conectados ao mesmo tempo em uma grande rede, por causa da maior capacidade de banda, por isso, além de telefones móveis, a tecnologia 5G pretende abranger outros variados tipos de dispositivos, além da comunicação entre máquinas (GUPTA; JHA, 2015).

Ademais, por conta da alta velocidade de conexão oferecida através da tecnologia 5G, será possível interligar e conectar serviços de alta complexidade, inclusive da área de saúde, com muito mais confiabilidade, bem como melhor qualidade dos dados compartilhados na rede (HUANG *et al.*, 2017).

A tecnologia 5G caracteriza-se por utilizar, além de frequências mais baixas (acima de 1 GHz) ondas milimétricas de altas frequências, entre 30 GHz e 300 GHz, sendo assim possui uma maior banda e consequentemente maior capacidade de envio de informação através da rede sem fio. Contudo, essa alta frequência é mais suscetível ao enfretamento de obstáculos devido seu alcance, por tal motivo, o princípio de funcionamento dessa tecnologia prevê a utilização de um elevado número de células, que na verdade são transceptores, para possibilitar a expansão de sua área de alcance. Dentre esses locais de instalações de antenas 5G estão evidentemente os aeroportos (RUSSELL, 2018).

De acordo com Strohmeier *et al.* (2016), na área aeronáutica a tecnologia 5G, poderá ser aplicada nas mais variadas formas, como na integração da comunicação entre fabricantes, companhias aéreas e pilotos, com isso será possível avaliar e encontrar soluções mais ágeis para problemas relacionados a projeto, manutenção e operação das aeronaves. Esses problemas poderão ser inclusive solucionados em tempo real de forma remota com maior qualidade e precisão em relação aos serviços realizados atualmente. Outro importante segmento da aviação que será beneficiado é o controle do tráfego aéreo, com uma estrutura de transmissão e recepção de dados de forma mais efetiva e confiável.

Os sistemas de rádio navegação são utilizados em aeronaves para determinar a sua posição por meio de auxílios de rádio. Em meados de 1920 o exército americano iniciou uma pesquisa chamada Voo Cego que tinha o intuito de criar formas para que um voo em ambientes de baixa visibilidade pudesse ser feito, uma vez que na época só era realizado em condições diurnas e com o céu limpo (CARVALHO, 2015).

A pesquisa definiu três instrumentos necessários para a realização segura de voos: um instrumento altímetro, que permitisse evitar montanhas e elevações, um instrumento de referência para o horizonte natural, um instrumento de navegação que orientasse o piloto para o destino sem a necessidade de referência visual externa. Definiu-se que a melhor alternativa seria a utilização do rádio. O Rádio Farol Não Direcional - *Non Directional Beacon* (NDB) foi o primeiro equipamento utilizado para navegação aérea por rádio. O seu funcionamento se baseia na emissão de uma onda portadora não modulada em *Low Frequency* (LF) e *Medium Frequency* (MF) em todas as direções. A antena direcional da aeronave capta esse sinal e permite que o piloto siga a direção até a antena transmissora (CARVALHO, 2015).

As antenas receptoras *Loop e Sense*, embarcadas na aeronave, captam e disponibilizam dois sinais para o receptor. O sinal *Loop* fornece dois pontos opostos como possíveis localizações da estação transmissora no solo, NDB, por sua vez, o *Sense* seleciona a posição correta da estação. O *Automatic Direction Finder* (ADF), instalado na aeronave, localiza a posição da estação em relação à proa da aeronave (CARVALHO, 2015).

O rádio altímetro é um sistema que opera na faixa de frequência de 4,2 GHz a 4,4 GHz. A onda eletromagnética é direcionada através de antena transmissora em direção ao solo, conforme demonstrada na Figura 1, obtendo maior precisão para baixas altitudes, ou seja, até 2500 pés. Os instrumentos que informam à tripulação a altura da aeronave podem ser do tipo dedicado como apresentado na Figura 2 (a), ou em um display eletrônico, conforme Figura 2 (b). (TOOLEY; WYATT, 2018).

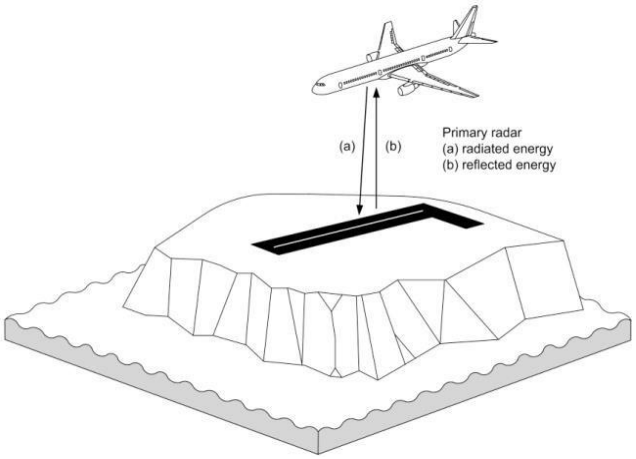


Figura 1: Funcionamento de um Rádio Altímetro. Fonte: Tooley e Wyatt (2018)

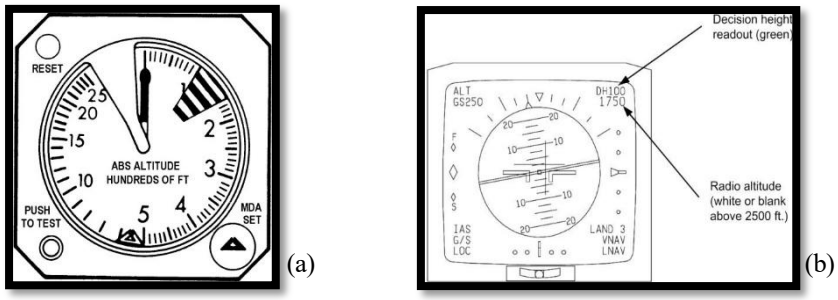


Figura 2: (a) Rádio Altímetro dedicado (b) Display eletrônico com Rádio Altímetro. Fonte: Tooley e Wyatt (2018)

Com a expansão recente das redes de telecomunicações sem fio públicas, alguns países autorizaram as operadoras a explorar a oferta de sistemas 5G, utilizando faixas de frequências próximas às utilizadas pelos sistemas rádio altímetros de aeronaves. Esta proximidade de frequência pode acarretar em interferências entre estes sistemas degradando ou tornando inseguras as operações de aproximações para pouso em algumas cabeceiras próximas às antenas 5G.

Em rádio comunicação chama-se de interferência à contaminação de um sinal portador de informação, por outro sinal estranho, denominado ruído, que tenha frequência semelhante. Nessa situação, ao invés de receber um sinal puro contendo apenas informações úteis o receptor recebe um sinal contaminado, com informações não confiáveis (HIGUTI; KITANO, 2022).

Interferências eletromagnéticas que causem perturbação, alteração de desempenho, erro de interpretação, perda de informação, degradação e até a interrupção de um serviço de radiocomunicações, que opere de acordo com o regulamento *Radio Technical Commission for Aeronautics* (RTCA) são consideradas como fatores de riscos potenciais (DECEA, 2021).

Atualmente é preocupante para a indústria da aviação que a frequência do serviço de sinal 5G dos Estados Unidos esteja muito próximo do espectro usado pelos rádios altímetros. A precaução do FAA com a interferência fez com que, a entidade emitisse a diretriz que proíbe os pilotos de utilizarem o equipamento em certas localidades para operações de pouso que possam ser afetadas pela interferência em aeroportos onde as condições de baixa visibilidade exijam voo por instrumento (FAA, 2021).

As companhias aéreas e os órgãos reguladores da aviação dos Estados Unidos alertaram que as antenas de sinais 5G perto dos aeroportos podem distorcer as leituras do rádio altímetro, que informam aos pilotos a distância da aeronave em relação ao solo, pois o serviço de telefonia móvel 5G lançado nos EUA, atua no espectro de ondas entre 3,7 e 3,98 GHz conhecido como banda C (FAA, 2021).

O rádio altímetro é mais preciso do que um altímetro barométrico e, por esse motivo, é usado onde a altitude da aeronave sobre o solo precisa ser medida com precisão durante o pouso automático ou outras operações de baixa altitude. O receptor no rádio altímetro é altamente preciso, mas pode fornecer resultados errôneos na presença de emissões de frequências próximas. Em geral os rádio altímetros da aviação comercial operam na banda de 4,2 - 4,4 GHz. Com a implementação dos novos sistemas de telecomunicação a proximidade entre as frequências, podem contaminar o sinal recebido pelo equipamento tornando o risco real (FAA, 2021).

O comportamento errôneo ou inesperado do altímetro de radar leva diretamente a uma perda de consciência situacional para a tripulação de voo. Essa perda de consciência situacional não apenas apresenta um impacto imediato na capacidade da tripulação de voo de manter a operação segura da aeronave por si só, mas também exige que a tripulação de voo tente compensar a falta de informações confiáveis sobre a altitude acima do solo. Usando outros sensores e dicas visuais, se disponíveis. Isso leva ainda a um risco de saturação de tarefas para a tripulação de voo, particularmente durante as operações ou fases de voo que exigem envolvimento contínuo da tripulação, como aproximação final e procedimentos de pouso (RTCA, 2020, p.15).

A FAA emitiu um boletim informativo com exigência para que os operadores de aeronaves regionais identificados como mais suscetíveis à interferência de sinais da banda C 5G, instalem filtros de radiofrequência até o final do ano de 2022 (FAA, 2021).

A implementação deste novo requisito de *retrofit* do filtro de radiofrequência ocorreu após meses de colaboração entre a FAA e a indústria da aviação, com o intuito de buscar uma solução de longo prazo para lidar com a suscetibilidade de alguns rádio altímetros à interferência de banda C 5G (FAA, 2021).

A *Federal Communications Commission* (FCC) emitiu um relatório que incentivou partes interessadas a estabelecer um grupo com o intuito de estudar e abordar os complexos problemas de coexistência na banda de frequência 3,7– 4,2 GHz. Esse relatório tem o intuito de permitir uma reação rápida da indústria de aviação e liderar a análise necessária para entender completamente o risco potencial de interferência prejudicial aos rádio altímetros (RTCA, 2020).

Em parceria com o FAA, o RTCA criou um grupo multissetorial conhecido como Força-Tarefa 5G. Esse grupo tem o intuito de desenvolver padrões atualizados de informações onde abrange o risco potencial e os impactos operacionais da interferência em rádio altímetro, que podem ser causados pelas operações de telecomunicações 5G perto da faixa de 4,2 a 4,4 GHz, formando a *Minimum Operational Performance Specification* (MOPS) compatível com banda adjacente dos rádio altímetros, sendo utilizada nas aprovações do equipamento pela FAA (FAA, 2021).

É fundamental que os pilotos estejam cientes e cumpram todas as restrições impostas via *Airworthiness Directive* (AD), *Aircraft Flight Manual* (AFM), as NOTAMs da FAA e da companhia aérea. As restrições do manual de voo quanto às diretivas de aeronavegabilidade juntas aos NOTAMs que informam sobre a presença do 5G ou restrições de procedimentos específicos devem ser avaliadas cuidadosamente (ALPA, 2022).

3 METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Micro-ondas. O objetivo foi comprovar a eficiência de blindagens eletromagnéticas entre duas antenas "*patch*" em linha de visada, utilizando uma barreira tipo tela metálica posicionada entre elas. A proposta está ligada à possibilidade de tornar as antenas receptoras das aeronaves menos "sensíveis" às ondas eletromagnéticas provenientes de antenas 5G próximas aos aeroportos.

Nos experimentos, os procedimentos e métodos utilizados buscaram medir a potência recebida pela antena receptora sem e com a colocação da tela metálica entre elas, inferindo-se assim o fator de atenuação obtido.

O arranjo experimental consistiu em duas antenas "*microstrip patch*" instaladas em gabarito de madeira, separadas por 50 cm e posicionadas a 6 cm da base, conforme a Figura 3. Uma das antenas foi conectada à porta de transmissão e a outra à porta de recepção de um analisador de redes *Agilent* modelo 8714ET (300 kHz – 3 GHz), conforme apresentado na Figura 4, com a frequência de operação centrada em 2,27 GHz.

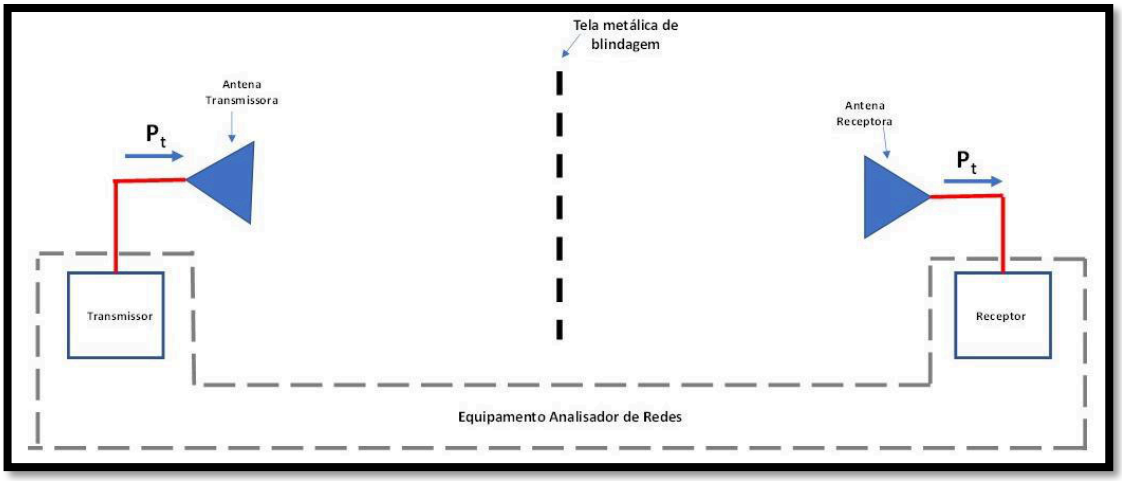


Figura 3: Diagrama da montagem para ensaios. Fonte: Próprios autores 2022.



Figura 4: Analisador de Redes. Fonte: Próprios autores 2022.

O monitor de 17" foi utilizado como uma extensão do *display* para melhor visualização dos registros das medições realizadas e visualização dos espectros de ruído, de acordo com a Figura 5.

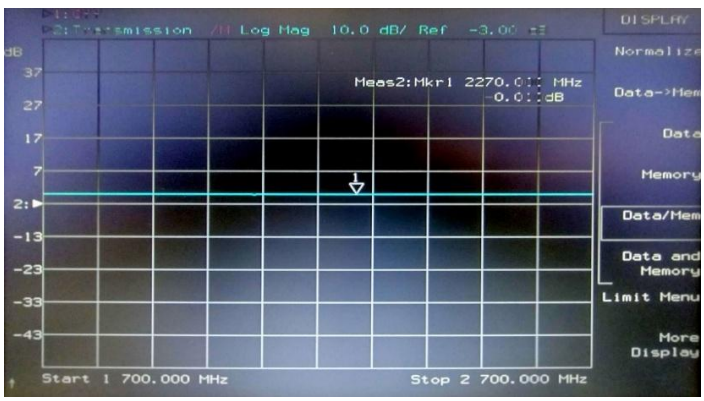


Figura 5: Display do analisador de redes. Fonte: Próprios autores 2022.

Nos ensaios foram utilizados quatro tipos de blindagens metálicas planares, com dimensões físicas de 40 cm de altura, 40 cm de largura, feitas de alumínio suportadas por placa de acrílico dielétrico, fornecendo à montagem resistência física. Durante os ensaios as placas de blindagem eram posicionadas a 25 cm das antenas. Os ensaios foram realizados com os seguintes arranjos:

Blindagem de alumínio em forma de grade (tela) com trama de 15 mm, blindagem de alumínio contendo apenas fios na horizontal, distantes 15 cm um do outro, blindagem de alumínio contendo apenas fios na vertical distantes 15 cm um do outro, e a quarta blindagem é uma placa inteiriça. Na Figura 6 tem-se o gabarito de madeiro com as duas antenas *patch* e o local ao centro onde foram posicionadas as blindagens.

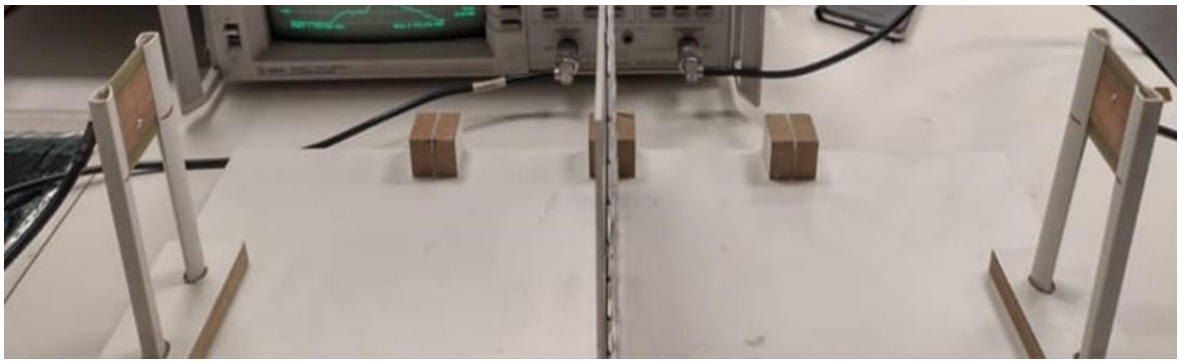


Figura 6: Gabarito de Madeira com as duas antenas "*patch*". Fonte: Próprios autores 2022.

No experimento também foram utilizados conectores especiais para interligação entre antenas e analisador de redes.

Inicialmente programou-se o analisador de redes para atuar na varredura dos sinais emitidos pelas antenas *patch* entre as frequências de 1,7 GHz até 2,7 GHz, visto que a antena utilizada no experimento transmite a 2,27 GHz. Logo em seguida selecionou-se no analisador de redes a saída denominada "*Meas* 2", em seguida, com o auxílio do conector, realizou-se um *jump* no circuito eletrônico com o intuito de provocar um curto circuito e com isso normalizou-se a medida para criar um zero de referência fazendo com que os resultados tivessem uma alta confiabilidade pelo fato de que esse procedimento eliminou possíveis ruídos capazes de afetar os resultados emitidos pelo aparelho.

Logo após, tirou-se o *jump* e montou-se o enlace entre as duas antenas conectando o fio ligado à antena *patch* receptora na entrada denominada *in* do analisador e o fio ligado à antena transmissora na saída denominada *out*, em uma ligação em série.

Incialmente anotou-se os valores de ruído provocados pela interferência das antenas na configuração de enlace livre, ou seja, sem nenhuma barreira e nem blindagem entre as duas antenas. Posteriormente, colocou-se no meio da placa de madeira a blindagem do tipo grade com malha de 15 mm e anotaram-se os resultados de interferência, ou seja, ruídos emitidos pelo enlace. De forma similar anotou-se os resultados obtidos para as blindagens do tipo grade somente com arame horizontal, e somente com arame vertical. Por fim, colocou-se a blindagem inteiriça.

4 RESULTADOS

A medição da perda em espaço livre resultou em uma atenuação de -24,520 dB, por sua vez, a medição com a blindagem do tipo grade com trama de 15 mm, obteve-se uma atenuação de -33,085 dB, indicando uma perda de aproximadamente 8 dB em relação ao espaço livre.

Na blindagem tipo grade com arames apenas na horizontal, a atenuação medida foi de -25,649 dB, ou seja, muito próxima à do espaço livre. Como o campo elétrico varia perpendicularmente ao plano de trabalho, esse resultado indica que essa configuração não atenua significativamente a onda.

Já na blindagem tipo grade com arames apenas na vertical, obteve-se uma atenuação de -30,590 dB, valor semelhante ao obtido com a trama de 15 mm. Isso comprova que, nesse tipo de enlace, a blindagem precisa atuar apenas na vertical, o que possibilita uma construção mais eficiente, com economia de material e tempo de montagem.

Por fim, a blindagem inteiriça, com trama tendendo a zero, apresentou uma atenuação de -42,083 dB resultado compatível com a expectativa, pois representa uma situação com densidade de arames verticais tendendo ao infinito, gerando assim a maior atenuação entre os métodos testados.

Na tabela 1 tem-se o resumo dos valores obtidos nos ensaios laboratoriais que comprovam a viabilidade das blindagens em trama metálica para campos eletromagnéticos de alta frequência.

Tabela 1: Valores de atenuação em dB obtidos com o experimento

Tipo de Blindagem	Valor obtido
Sem blindagem	-24,520 dB
Blindagem tipo grade com trama de 15 mm	-33,085 dB
Blindagem tipo grade com arame horizontal	-25,649 dB
Blindagem tipo grade com arame vertical	-30,590 dB
Blindagem inteiriça	-42,083 dB

Na tabela 2 consta os valores medidos pelo analisador de redes com a blindagem, efetuando o comparativo com o valor sem a blindagem.

Tabela 2: Comparação dos Valores de atenuação medidos

Tipo de Blindagem	Valores medidos		Diferença de Atenuação	%
	Com blindagem	Sem blindagem		
Blindagem tipo grade com 15mm de trama	-33,085 dB	-24,520 dB	**8,565 dB**	**25,89**
Blindagem tipo condutores horizontais distância 15 mm	-25,649 dB	-24,520 dB	**1,129 dB**	**4,40**
Blindagem tipo condutores verticais distância 15 mm	-30,590 dB	-24,520 dB	**6,070 dB**	**19,84**
Blindagem folha de alumínio contínua	-42,083 dB	-24,520 dB	**17,563 dB**	**41,73**

5 CONCLUSÃO

Conforme descrito neste artigo, o sistema de rádio altímetro utilizados pelas aeronaves, opera na faixa de frequência entre 4,2 GHz a 4,4 GHz, sendo próximo do sinal de telecomunicações com tecnologia 5G.

A determinação dos níveis de frequência para operações dos sinais 5G é homologada pelo órgão que normatiza a telefonia no país, de acordo com a FAA, a faixa possível de operação nos EUA é de 3,7 GHz a 3,98 GHz, se aproximando do range de frequência utilizado pelos rádio altímetros, potencializando as possibilidades de interferências eletromagnéticas.

Uma possível solução para mitigar as interferências nas antenas receptoras nos rádio altímetros, proveniente das antenas transmissoras 5G no solo próximas a aeroportos, consistiria em incorporar blindagem eletromagnética para que radiações interferentes que atinjam a antena receptora da aeronave em direções inclinadas sejam atenuadas. Desta forma a operação processaria apenas a radiação refletida pelo solo através de visada direta na vertical.

Como parte prática para efeitos comparatórios, foram realizados ensaios e apresentados os resultados de testes em laboratório, que comprovaram o efeito de blindagem eletromagnética provida por obstáculos tipo grades metálicas, utilizando um set de provas que reproduziu um mini enlace operando em 2,27 GHz.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Airbus. (2016). Airbus SAS Global Market Forecast – Mapping Demand 2016-2035.

Air Line Pilots Association. (2022). Aircraft operations and radar altimeter interference from 5G (9 p.). ALPA.

Agência Nacional de Aviação Civil [ANAC]. (2022, maio 10). Anatel e ANAC acompanham convivência entre faixas futuras do 5G e radares aeronáuticos. https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2021/anatel-e-anac-acompanham-convivencia-entre-faixas-futuras-do-5g-e-radares-aeronauticos

Carvalho, L. B. de. (2015). Introdução aos sistemas aviônicos de rádio navegação (Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá). Universidade Estadual Paulista. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139078/000864923.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Departamento de Controle do Espaço Aéreo [DECEA]. (2021). ICA 102-11: Sistemas de radiomonitoragem (21 p.). DECEA.

Dekker, H., Van Heijster, R. M. E. M., & Van Sambeek, M. (2021). Technical feasibility study on coexistence of private IMT networks and satellite ground stations in the 3800-4200 MHz band and interference study on radar altimeters in the 4200-4400 MHz band.

Federal Aviation Administration [FAA]. (2021). AIR-21-18R1: Risk of potential adverse effects on radio altimeters (4 p.). FAA.

Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. IEEE Access, 3, 1206–1232. https://ieeexplore.ieee.org/document/7169508

Higuti, R. T., & Kitano, C. (2022). Princípios de comunicações. Universidade Estadual Paulista. https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/pesquisas-e-projetos/optoeletronica/materias/principios-de-comunicacoes/

Huang, J., Liu, C. X., Gao, Y., & Yang, Y. (2017). Multi-frequency mmWave massive MIMO channel measurements and characterization for 5G wireless communication systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 35(7), 1591–1605. https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2699399

Nebylov, A., & Yanovsky, F. (2012). Aerospace sensors. Momentum Press.

Radio Technical Commission for Aeronautics [RTCA]. (2020). Assessment of C-Band mobile telecommunications interference impact on low range radar altimeter operations (RTCA paper no. 274-20/pmc-2073) (231 p.). RTCA.

Russell, C. (2018). 5G wireless telecommunications expansion: Public health and environmental implications. Environmental Research, 165, 484–495. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.016

Tooley, M., & Wyatt, D. (2018). Aircraft communications and navigation systems (2ª ed., 346 p.). Routledge.