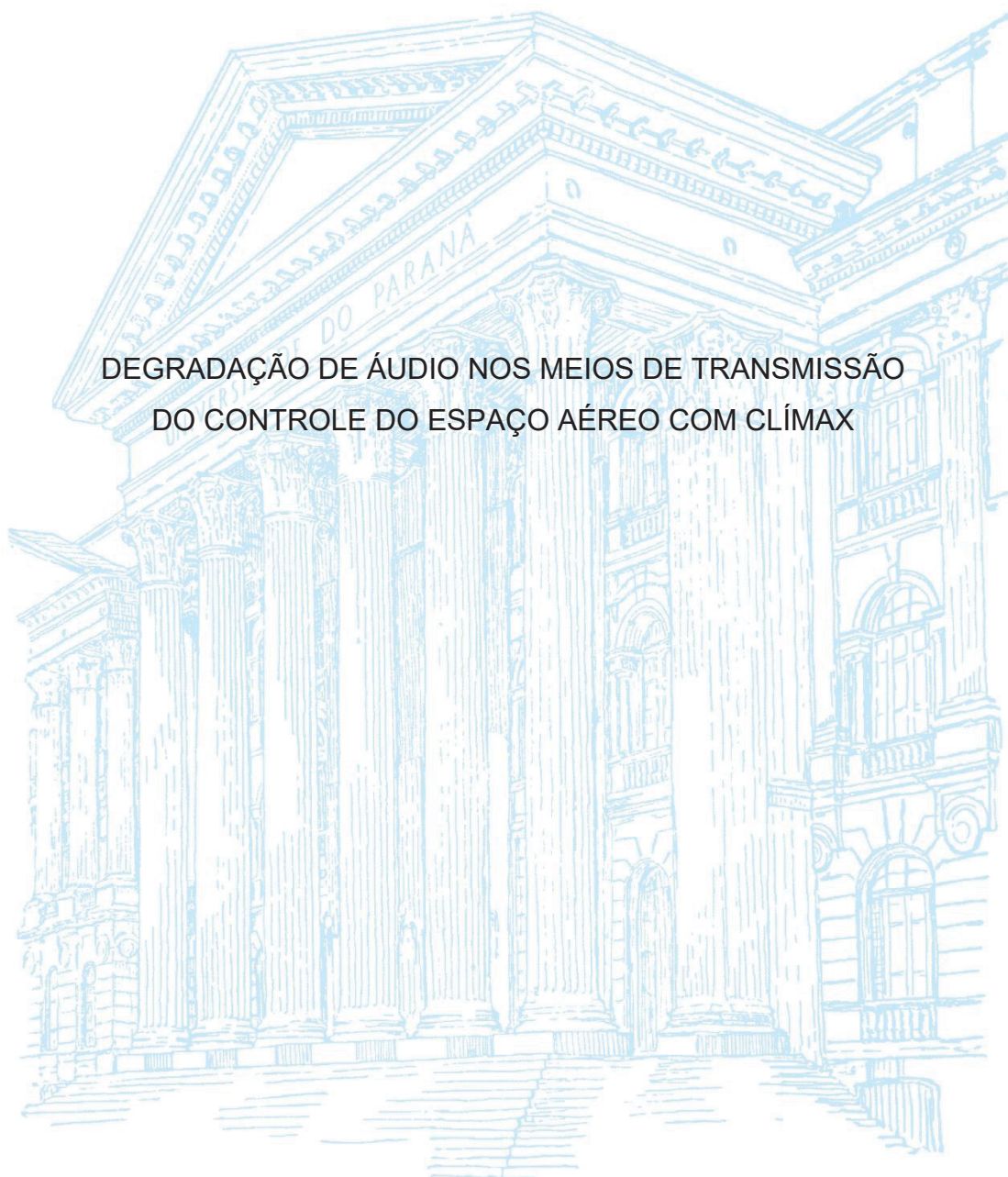


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HILDO VIGNOLI MUNIZ FILHO

DEGRADAÇÃO DE ÁUDIO NOS MEIOS DE TRANSMISSÃO  
DO CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO COM CLÍMAX



CURITIBA

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HILDO VIGNOLI MUNIZ FILHO

DEGRADAÇÃO DE ÁUDIO NOS MEIOS DE TRANSMISSÃO  
DO CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO COM CLÍMAX

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr Eduardo Parente Ribeiro.

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Muniz Filho, Hildo Vignoli

Degradação de áudio nos meios de transmissão do controle do espaço aéreo com clímax / Hildo Vignoli Muniz Filho. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Eduardo Parente Ribeiro

1. Astronáutica - Sistemas de comunicação. 2. Áudio - Qualidade. 3. Espaço aéreo - Controle. 4. Rádio na aeronáutica. 5. Clímax. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Ribeiro, Eduardo Parente. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
ELÉTRICA - 40001016043P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA ELÉTRICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de HILDO VIGNOLI MUNIZ FILHO intitulada: **Degradação de áudio nos meios de transmissão do controle do espaço aéreo com climax**, sob orientação do Prof. Dr. EDUARDO PARENTE RIBEIRO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Agosto de 2022.

Assinatura Eletrônica  
29/08/2022 17:03:33.0  
EDUARDO PARENTE RIBEIRO  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
31/08/2022 14:01:17.0  
ALEXANDRE DE ALMEIDA PRADO POHL  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ/CURITIBA)

Assinatura Eletrônica  
29/08/2022 17:07:02.0  
CARLOS MARCELO PEDROSO  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
30/08/2022 07:15:56.0  
EVELIO MARTÍN GARCÍA FERNÁNDEZ  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço sobretudo a Deus e a Nossa Senhora. Ao meu amado filho e esposa, agradeço pela parceria e compreensão estando presentes em cada conquista e dificuldade e compreendendo as minhas ausências. Agradeço também o incentivo dos meus queridos pais e a torcida dos meus sogros, aos meus irmãos e a todos os meus grandes amigos, em especial àqueles que tiveram, de alguma forma, participação neste projeto, Gustavo Bogusweski, Ivan Armond Sant Anna, Maurício José Azevedo Pinto dos Santos e ao saudoso Leandro Codeço Prazeres que permanece vivo em minha memória.

À toda cadeia de comando do DECEA desde meus colegas e amigos da Sala Técnica, meus chefes diretos até o alto comando. Muito obrigado pelas orientações.

Ao Prof.Dr. Eduardo Parente Ribeiro sou muito grato por sua paciência e orientação.

À equipe da CAV, pelas coordenações e apoio nos testes com aeronaves. Agradeço a todos em nome dos senhores Mauro Massahiro Okabayashi e Ismael da Silva Soares.

À toda equipe do ACC-CW, nas figuras dos senhores Rudimar Jose Zolet e Claudio Gonçalves da Fonseca.

À toda equipe do GEIV, meus sinceros agradecimentos.

À todos os amigos que torceram por essa conquista e colegas que de alguma forma contribuíram para o sucesso desta empreitada.

## RESUMO

O Controle do Espaço Aéreo tem papel fundamental na segurança e fluidez do tráfego aéreo. Para isto, ele utiliza de infraestrutura composta por pessoal especializado e serviços específicos de telecomunicações. Dentre estes serviços, talvez o mais importante para o fim relatado, seja o serviço móvel aeronáutico. Tal serviço consiste também na comunicação de áudio para as coordenações entre controlador e piloto, através de frequências nas faixas de V/U/HF. Este trabalho tem como foco a degradação de áudio deste serviço aferida pelo método objetivo, *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ). Foram analisadas as diferentes canalizações que transmitem estes áudios do Centro de Controle de Área (ACC) até as estações V/UHF. As frequências utilizadas estarão na faixa de frequência VHF aeronáutico e serão consideradas condições de ausência e presença de clímax (transmissão de áudio na mesma frequência por mais de uma estação) para a análise dos efeitos na qualidade de áudio. São realizadas análises relacionadas a diferentes situações encontradas (Solo x Ar, níveis de altitude, voos, setor-voos) além de comparações entre as degradações aferidas nestas situações e em diferentes condições de clímax, levando em consideração as diferentes redes de transmissão nas quais os áudios estão sendo enviados.

Palavras-chave: 1. Análise Perceptual de Áudio (PESQ), 2. Centro de Controle de Área (ACC), 3. Clímax, 4. Controle de Tráfego Aéreo, 5. Degradação, 6. Qualidade de Áudio, 7. Serviço Móvel Aeronáutico

## **ABSTRACT**

Airspace Control plays a fundamental role in the safety and fluidity of air traffic. For this, it uses an infrastructure composed of specialized personnel and specific telecommunications services. Among these services, perhaps the most important for the purpose reported, is the aeronautical mobile service. This service also consists of audio communication, for coordination between controller and pilot, through frequencies in the V/U/HF bands. This work focuses on the audio degradation of this service measured by the objective model, Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ). The different channels that transmit these audios from the Area Control Center (ACC) to the V/UHF stations were analyzed. The frequencies used will be in the aeronautical VHF frequency band and conditions of absence and presence of climax (audio transmission on the same frequency by more than one station) will be considered for the analysis of the effects on audio quality. Analyzes related to different situations found (Ground x Air, altitude levels, flights, flight sector) are carried out, in addition to comparisons between the degradations measured in these situations and in different climax conditions, taking into account the different transmission networks in which the audios are being sent.

Keywords: 1. Audio Perceptual Analysis (PESQ), 2. Area Control Center (ACC), 3. Climax, 4. Air Traffic Control, 5. Degradation, 6. Audio Quality, 7. Aeronautical Mobile Service

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Mapa do Brasil dividido por FIR's. Fonte: (DECEA, 2016).....	14
Figura 2 – Órgãos operacionais do Controle do espaço aéreo. Fonte: (DECEA, 2016) .....	15
Figura 3 – Região de Clímax com duas estações, Santiago e Passo Fundo no nível 200. ....	16
Figura 4 - Proporção da participação das movimentações em 2020.....	18
Figura 5- Digrama de irradiação dos sistemas irradiantes para comunicação VHF do controle do Espaço Aéreo Brasileiro .....	22
Figura 6- Operação em Clímax de duas estações transmitindo. Fonte: ICAO.....	23
Figura 7 – Exemplo de clímax de 2 estações na FIR-CW. Passo Fundo e Morro da Igreja. Nível 200 (20000 pés).....	24
Figura 8- Operação em Clímax de três estações transmitindo Fonte: ICAO.....	24
Figura 9- Clímax de três estações- Nível 200. Guarapuava, Assis e Curitiba .....	25
Figura 10- Estações terrenas do sistema Telesat da FIR-CW .....	26
Figura 11 - Topologia da Rede de Controle do Tráfego Aéreo. Fonte: (FAB, 2011) .	27
Figura 12 - ATN-BR- Redes WAN e Serviços e aplicações associados. Fonte: (Revista CISCEA News, 2017).....	29
Figura 13 - Arquiteturas protocolos OSI, ATN/OSI e ATN/IPS. Fonte: (ICAO, 2011)	30
Figura 14 – Setores e da FIR-CW .....	38
Figura 15 - Caminho do áudio pela RDC. ....	42
Figura 16 - Topologia atual das redes de canalização da FIR-CW .....	43
Figura 17- Dispersão de notas PESQ em clímax e sem clímax.....	48
Figura 18 - Dispersão de notas PESQ - Clímax de duas e três estações .....	49
Figura 19 – Intervalo de confiança (95%) para as médias – 1, 2 e 3 estações .....	49
Figura 20- Notas PESQ vs nº de estações trans. vs Canalização vs Intervalos .....	50
Figura 21 – Intervalo de confiança (95%) para as médias por canalização .....	51
Figura 22 - Curva de Intervalo de confiança (95%) - Canalização vs N° de estações transmitindo.....	52
Figura 23 - Gráfico Violino - Canalização vs N° de estações transmitindo.....	53
Figura 24 - Notas com o avião em voo e avião em solo.....	54
Figura 25 – Clímax x Ambiente (Solo x Ar) .....	55
Figura 26 - Notas CARAVAN vs GEIV .....	56
Figura 27 – Clímax vs Aeronave .....	57

Figura 28 – Dispersão das notas por altitude.....	58
Figura 29 - Notas por altitude vs Canalização.....	58
Figura 30 – Climax vs Altitude.....	59
Figura 31 - Dispersão notas por voo .....	60
Figura 32 - Notas por voo (Médias por canalização).....	61
Figura 33 - Clímax vs Voo .....	62
Figura 34 - Dispersão de Notas por setor em cada Voo .....	63
Figura 35 - Notas X Setor/Voo por Canalização.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Movimentação Anual da FIR-CW. Fonte: (CGNA, 2020) .....	18
Tabela 2 - Correlação entre MOS e valores previstos do PESQ e SESQ.....	34
Tabela 3 – Regiões com Clímax nas frequências primárias da FIR-CW para o nível 100 e nível 400.....	39
Tabela 4 - Regiões com Clímax nas frequências secundárias da FIR-CW para o nível 100 e nível 400.....	40
Tabela 5 - Consolidado - Regiões de Clímax na FIR-CW .....	41
Tabela 6 - Análise completa de notas Setor-Voo .....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

DECEA	- Departamento de Controle do Espaço Aéreo
SISCEAB	- Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
SMA	- Serviço Móvel Aeronáutico
ICAO	- <i>International Civil Aviation</i>
ACC	- <i>Area Control Centre</i>
APP	- <i>Approach Control</i>
TWR	- <i>Tower</i>
CINDACTA	- Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
AM	- <i>Amplitude Modulation</i>
ATCO	- <i>Air Traffic Controller</i>
MPLS	- <i>Multiprotocol Label Switching</i>
UHF	- <i>Ultra High Frequency</i>
VHF	- <i>Very High Frequency</i>
HF	- <i>High Frequency</i>
AM	- Amplitude Modulada
ITU	- <i>International Telecommunications Union</i>
ATC	- <i>Air Traffic Control ou Controle de Trafego</i>
MOS	- <i>Mean Opinion Score</i>
FIR	- <i>Flight Information Region</i>
SESQ	- <i>Single-Ended Speech Quality Assessment</i>
PESQ	- <i>Perceptual Evaluation of Control</i>
PTT	- <i>Push to talk</i>
DG	- Distribuidor Geral de Telecomunicações
TMA	- Área de Controle Terminal
GEIV	- Grupo Especial de Inspeção em Voo.
SMA	- Serviço Móvel Aeronáutico.

## SUMÁRIO

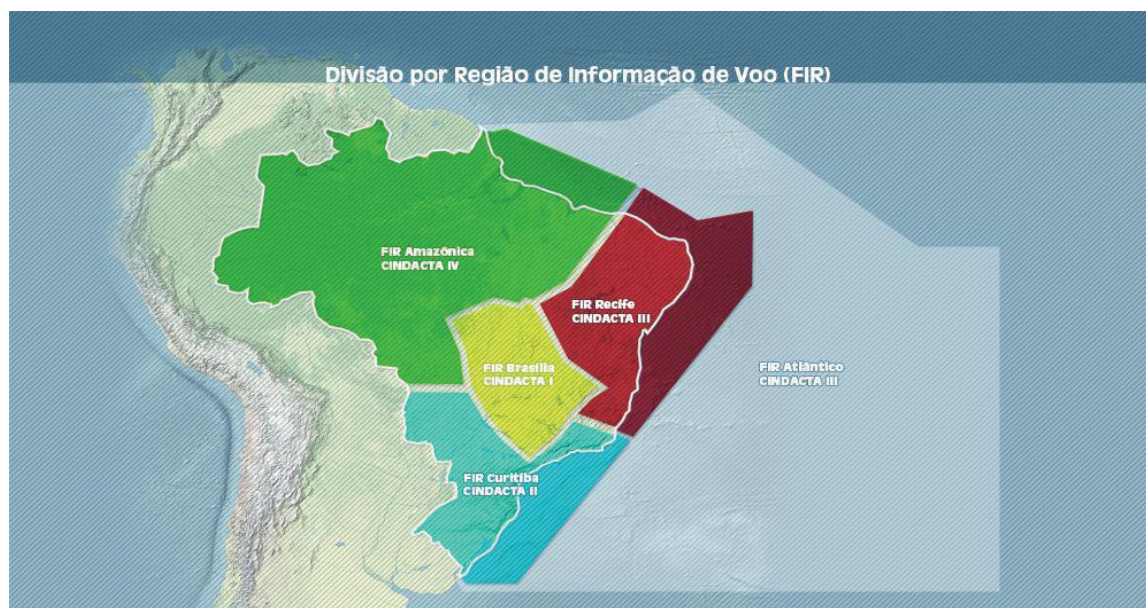
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 RETRATO DA FIR-CW .....	17
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
1.3 OBJETIVOS .....	19
1.3.1 Objetivo geral .....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO</b> .....	<b>21</b>
2.1 CLÍMAX.....	21
2.2 REDE ATN-BR .....	25
2.3 PESQ .....	32
2.3.1 Funcionamento do PESQ.....	35
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
3.1 CAMINHO DO SERVIÇO MÓVEL AERONÁUTICO EM TESTE: SENTIDO CONTROLE-PILOTO .....	41
3.2 PRINCIPAIS MATERIAIS.....	45
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
4.1 CONDIÇÕES PARA A ANÁLISE DOS DADOS .....	47
4.2 ANÁLISE DE DADOS.....	47
4.2.1 Sem clímax x clímax.....	47
4.2.2 Avião: Terra x Ar .....	53
4.2.3 Avião: Caravan x GEIV.....	55
4.2.4 Notas por altitude .....	57
4.2.5 Notas por voo .....	60
4.2.6 Notas setor por voo .....	62
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>69</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	71
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Controle do Espaço Aéreo Brasileiro garante a segurança e a fluidez do fluxo de aeronaves civis e militares no espaço sob responsabilidade do País. As diretrizes para tal controle são definidas pelo Comando da Aeronáutica através do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), por meio de normatizações, recursos humanos especializados, equipamentos de diversas áreas de atuação (Telecomunicações, auxílio a navegação, meteorologia, etc.) e infraestrutura de rede e eletricidade. Esta organização militar gerencia e provê, por meio de suas organizações subordinadas, serviços de navegação aérea que viabilizam os voos e a ordenação dos fluxos de tráfego aéreo no País tendo como missão a contribuição na garantia da soberania nacional, por meio do gerenciamento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

Devido a importância associada ao tráfego aéreo no deslocamento de materiais e pessoas, pode-se dizer que o mesmo possui relevância estratégica e de segurança nacional. No Brasil, o controle do tráfego aéreo assume proporções gigantescas, conforme pode ser observado na Figura 1, na qual demonstra o mapa do país dividido por regiões de abrangência que somadas possuem uma dimensão total de 22 milhões de quilômetros quadrados. Estas regiões são denominadas Regiões de Informação de Voo (FIR) e existem 5 (cinco) sob a responsabilidade do Controle do Espaço Aéreo brasileiro: FIR Brasília, FIR Curitiba (CW), FIR Recife, FIR Atlântico e FIR Amazônica.

Figura 1– Mapa do Brasil dividido por FIR's. Fonte: (DECEA, 2016)



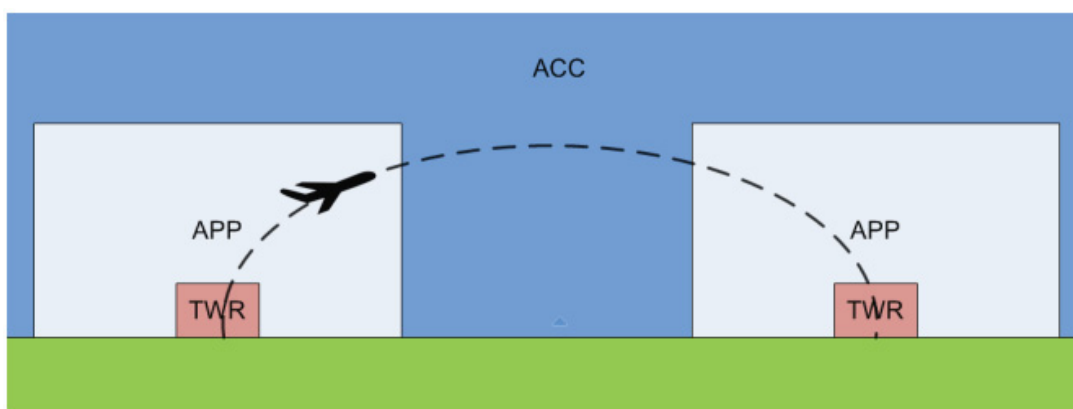
A integração do controle do tráfego aéreo civil e das operações militares de defesa aérea são realizadas por diversas Organizações, espalhadas por todo o território nacional, tendo a centralização das coordenações, quando em controle de área, nos Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (Cindacta). A evolução do fluxo de tráfego aéreo no espaço aéreo nacional é controlada diariamente por grandes órgãos operacionais Cindacta1, Cindacta2, Cindacta3, Cindacta4 e os Centros Regionais de Controle do Espaço Aéreo (CRCEA), subordinados diretamente ao DECEA. Abaixo dos Centros (CINDACTA's) citados existem órgãos operacionais localizados em locais estratégicos que atuam diretamente no controle: Torre de controle (TWR – Tower Aerodrome Control), Controle de aproximação (APP - Approach Control) e o Centro de controle de área (ACC – Area Control Centre), conforme demonstrado na Figura 2.

A torre controla os tráfegos das aeronaves com relação aos pousos e decolagens que ocorrem dentro da região de abrangência do aeródromo em que a mesma se encontra. Também controla o tráfego das aeronaves no solo. O APP controla o tráfego de aeronaves que ocorrem dentro de sua área de controle e/ou dentro de uma área de Controle de Terminal, o que inclui tanto as aeronaves que saíram do voo de cruzeiro quanto aeronaves que saíram do aeródromo de partida e que estão subindo para posteriormente ingressarem na abrangência do ACC. Já o ACC controla os tráfegos de aeronaves que ocorrem dentro das aerovias. Esses

espaços aéreos são aqueles quando as aeronaves já estão no nível de voo mais alto, deslocando em voo "reto e nivelado", após as regiões sob a responsabilidade dos APP's.

A jurisdição de um ACC e a solução tecnológica adotada para se prover o meio de comunicação do SMA tornam esses centros muito dependentes de redes de comunicação, especialmente daquelas destinadas ao transporte de sinais de voz (Rossi, 2015).

Figura 2 – Órgãos operacionais do Controle do espaço aéreo. Fonte: (DECEA, 2016)



Dentre diversos serviços prestados pelo Controle do Espaço Aéreo, pode-se considerar fundamental para o controle do tráfego aéreo o serviço móvel aeronáutico (SMA), o qual é responsável pela comunicação entre controlador e piloto de modo a ser possível as coordenações necessárias para a segurança e fluidez das aeronaves.

As comunicações por áudio na faixa VHF para o SMA ocorrem na faixa de 117 a 137 MHz, em AM, e são half-duplex, podendo se distanciar por centenas de quilômetros.

Neste contexto, o controlador é a pessoa encarregada de separar o tráfego de aeronaves no espaço aéreo e nos aeroportos, de modo seguro, ordenado e rápido, sendo necessário que diversos serviços cheguem em seu posto operador e saiam destes e sejam encaminhados até a aeronave. Este profissional presta o serviço de controle a todas as aeronaves que estejam voando em território nacional, baseado nas informações importantes como as meteorológicas, visualização radar e outras. Também, é responsável por dar instruções às aeronaves para que essas evitem áreas perigosas ou tráfego de aeronaves conflitantes para assim realizarem

um voo seguro (SOUSA e SOUSA, 2016).

No Controle do Espaço Aéreo é utilizado um sistema de deslocamento da portadora (*carrier off-set*) para minimizar a interferência de estações próximas que transmitem no mesmo canal (Badinelli et al., 1990) principalmente nas abrangências sob a responsabilidade dos ACC. O clímax no tráfego aéreo consiste em duas ou mais estações transmitindo na mesma frequência com um pequeno deslocamento de frequência padronizado para cada uma destas estações. Diversas regiões no espaço aéreo brasileiro possuem situações de clímax e utilizam este deslocamento padrão para diminuir interferências indesejáveis, de forma que se tenha maior segurança e qualidade na comunicação. Contudo, é percebido na prática, através de testemunho de pilotos, que o clímax afeta a qualidade de áudio entregue, principalmente, no sentido controlador-piloto. No sentido piloto-controlador, existem equipamentos de maior porte na ACC que realizam processamento mais elaborado do sinal reduzindo a degradação da comunicação.

Figura 3 – Região de Clímax com duas estações, Santiago e Passo Fundo no nível 200.



Na prática, o clímax atua sobre a aeronave como ilustrado na Figura 3, onde a estação de Passo fundo e Santiago possuem uma região de interseção de irradiação de suas antenas que transmitem e recebem pela mesma frequência base da portadora, porém deslocada por um offset. Embora seja esperada uma degradação na qualidade do áudio mesmo com o offset, não foi encontrado na literatura um relato detalhado da magnitude desta degradação, em condições típicas de voo no espaço aéreo brasileiro em comparação com outras degradações que ocorrem numa transmissão por rádio.

Storm (2007) realizou diversas simulações com comprometimento dos sinais equivalentes ao clímax (adição de ruído branco e impulsivo, defasagem dos áudios, tons interferentes e perda de dados). A qualidade desses áudios artificialmente degradados foi analisada por método objetivo (*PESQ – evaluation of speech quality*) e foi obtida boa concordância com método subjetivo (*MOS – mean opinion score*).

Outro estudo, com gravações de áudio transmitidas para aeronaves, verificou boa correlação entre a avaliação subjetiva e objetiva do PESQ (Frigotto e Pohl, 2018). Algumas situações de clímax foram identificadas com grande degradação, mas não foi feita uma análise sistemática das degradações e comparações entre as diferentes redes de canalização.

Este trabalho pretende investigar a degradação no serviço móvel aeronáutico em regiões com e sem clímax em comunicações que chegam na aeronave.

Serão realizadas análises de qualidade de áudio em várias regiões, levando em consideração todos meios de canalização disponibilizados pela infraestrutura de telecomunicações da FIR-CW, ou seja, canalização pela rede determinística contratada (RDC), enlace satelital da FAB (Telesat) e rede ATN-BR (Rede de Telecomunicações Aeronáuticas do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro).

Uma contribuição que este trabalho visa trazer é a verificação da qualidade de áudio no meio de transmissão da ATN-BR, rede em implantação, e a comparação destes áudios com outros que foram degradados por outros meios de transmissão. Tal rede é considerada por muitos a inovação que substituirá as redes legadas, Telesat e rede determinística contratada.

## 1.1 RETRATO DA FIR-CW

Tendo em vista a necessidade de demonstrar a importância e abrangência da FIR-CW e conseqüentemente do estudo levantado por esta dissertação é fundamental o detalhamento desta região de controle.

A FIR-CW é responsável por uma área de quase 1.800.000 km<sup>2</sup>. A movimentação de aeronaves sob a responsabilidade desta FIR no ano de 2020 foi de 243.743, tendo um decréscimo em compensação do ano anterior de quase 50%, principalmente, devido a pandemia por COVID-19 no Brasil e no mundo, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Movimentação Anual da FIR-CW. Fonte: (CGNA, 2020)

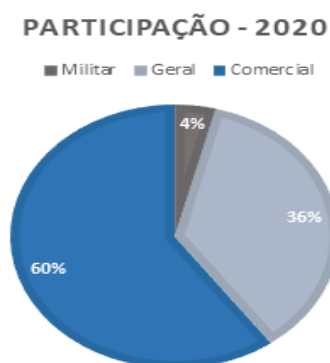
Número de Movimentos no ano				
	2018	2019	2020	Cresc. em 2020
Total	488.743	470.181	243.743	-48,20%
Comercial	376.535	364.559	146.254	-59,90%
Geral	101.245	95.623	88.724	-7,20%
Militar	10.963	9.999	8.765	-12,30%

As movimentações das aeronaves possuem diversas finalidades, inclusive a militar. Ou seja, apesar do controle do espaço aéreo ser realizado por uma organização militar e na sua grande maioria por militares, este serviço é disponibilizado, principalmente, para o meio civil, tendo um benefício direto para a sociedade, além da realização das operações militares no que tange a segurança e a soberania nacional.

Pode-se dividir estas movimentações em três grandes grupos: militar, geral e comercial, sendo que a aviação geral retrata toda aviação que não é exclusiva de operações militares, sendo diferente da aviação comercial por não possuir plano de voo repetitivo.

Em termos percentuais, para o ano de 2020, elaborou-se a Figura 4 que demonstra que a contribuição dos movimentos de voo para a aviação militar em operação, na FIR-CW, foi de apenas 4%, demonstrando a ocupação de grande parcela dos movimentos e da infraestrutura do Controle do Espaço Aéreo, desta região de voo, pela aviação comercial e geral. Valendo ressaltar que FIR compreendeu cerca de 26% das movimentações de voo de todas regiões de voo para o determinado ano.

Figura 4 - Proporção da participação das movimentações em 2020



Fonte: (CGNA, 2020)

## 1.2 JUSTIFICATIVA

As telecomunicações aeronáuticas compõem importante parcela da navegação aérea no mundo. Representa o serviço de apoio e orientação ao transporte aéreo, que é gerido no âmbito das infraestruturas aeroportuárias (Feitosa, 2013).

Devido à importância econômica e social destas comunicações torna-se interessante o aprofundamento na qualidade das mesmas e uma possível tentativa de melhoria. Conforme demonstrado no item anterior, o serviço de controle de tráfego aéreo possui elevada importância, devido a criticidade do transporte aéreo, no qual pequenos erros podem causar acidentes sérios.

Em meio a um cenário onde pilotos relatam a diminuição da qualidade da comunicação com o controlador em determinadas regiões de clímax, certamente uma análise sobre a qualidade de áudio mais aprofundada, baseada em comunicações reais e por meio das diversas redes de canalização da FIR-CW poderá servir como referência para ações modificadoras e/ou mitigadoras, objetivando a melhoria da comunicação.

Outro aspecto importante deste trabalho é a análise da rede ATN-BR em relação a qualidade dos áudios que são entregues pela mesma.

## 1.3 OBJETIVOS

De acordo com o exposto anteriormente, este trabalho tem como objetivo verificação da qualidade de áudios, de acordo com os parâmetros adotados pelo modelo objetivo PESQ, ao serem encaminhados pelos diferentes meios de transmissão adotados pelo Controle do Tráfego Aéreo da FIR-CW e em diferentes condições de clímax.

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar um projeto que agregue contribuição através da avaliação de desempenho da qualidade de áudio, comparando vários cenários disponíveis, por meio da análise da qualidade de áudio das comunicações

do SMA em clímax e nas diferentes redes de transmissão existentes atualmente na FIR-CW. Pretende-se aferir a diminuição desta qualidade em regiões de clímax e ainda verificar a comunicação de áudio na rede de transmissão ATN-BR.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar medições de áudio por cada um dos meios de transmissão utilizados pela FIR-CW para o serviço móvel aeronáutico.
- Aferir a qualidade de áudio da rede ATN-BR.
- Avaliar a qualidade do áudio em ambientes sem e com clímax e fazer comparativos entre eles.
- Avaliar a qualidade de áudio em condições distintas de altitude, aeronaves, voos, setores, etc.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 CLÍMAX

Os sistemas clímax ou multi-carrier são usados para razões de redundância, de forma a garantir segurança operacional e estabilidade do sistema, pois permitem que o controlador e piloto tenham a possibilidade de utilizar mais de uma estação como meio de comunicação de serviços móveis aeronáuticos.

A utilização do sistema multi-carrier também é justificada para setores de grandes extensões ou em situações que o relevo dificulte a propagação e necessite de mais estações transmissoras.

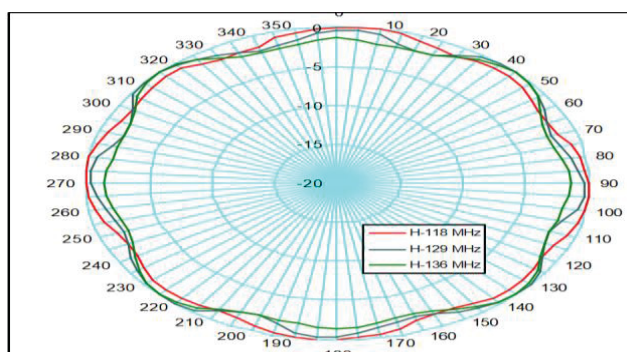
O clímax oferece maior redundância e melhor cobertura em baixa altitude e em ambientes hostis. Este sistema multiportadora é atendido para comunicação terra-ar e baseia-se no conceito de mais de um transmissor transmitindo na mesma frequência com um pequeno deslocamento.

Frigotto e Pohl (2018) retrataram análises de qualidade de áudio do SMA em clímax através de modelo subjetivo e modelos objetivos. Storm (2007) também mediu a degradação do áudio através do PESQ por meio de simulação e não de comunicações reais.

Para as comunicações do serviço móvel aeronáutico sob a responsabilidade do ACC-CW, em um determinado nível de voo, haverá clímax por uma questão de segurança, sendo que quanto maior a altitude maior também serão as regiões onde ocorrem o sistema multi-carrier.

Tal fato ocorre já que os modelos de sistema irradiante utilizados nas estações VHF do controle do Espaço Aéreo na FIR-CW, independentemente da quantidade de antenas ou da característica diretivas de propagação das mesmas, possuem o conjunto irradiante do sistema sempre semelhante a de uma antena omnidirecional. Tal diagrama de irradiação pode ser melhor observado na Figura 5.

Figura 5- Digrama de irradiação dos sistemas irradiantes para comunicação VHF do controle do Espaço Aéreo Brasileiro



Da Figura 5 pode-se observar o diagrama de irradiação no eixo x e y (latitude e longitude) do espaço próximo as antenas irradiantes das estações VHF remotas. A irradiação no eixo z (altitude), entre o nível 100 e o nível 400 (região de interesse), é ampliada com o aumento da altura, formando uma espécie de cone invertido, aumentando a abrangência da antena e do clímax com o aumento da altitude.

Não faz muito tempo os setores possuíam, algumas vezes, até 5 estações transmitindo em clímax. Entretanto, devido a verificações práticas de queda na qualidade da comunicação no serviço móvel aeronáutico e impacto na inteligibilidade do áudio principalmente por pilotos, foi definido que no máximo 3 estações poderiam receber e transmitir sinais em clímax para os setores, nos diversos setores que compreendem o espaço aéreo da FIR-CW.

Ou seja, atualmente ficou definido que a FIR-CW, só possuirá em seus setores de ACC até três estações funcionando em sistema multi-carrier.

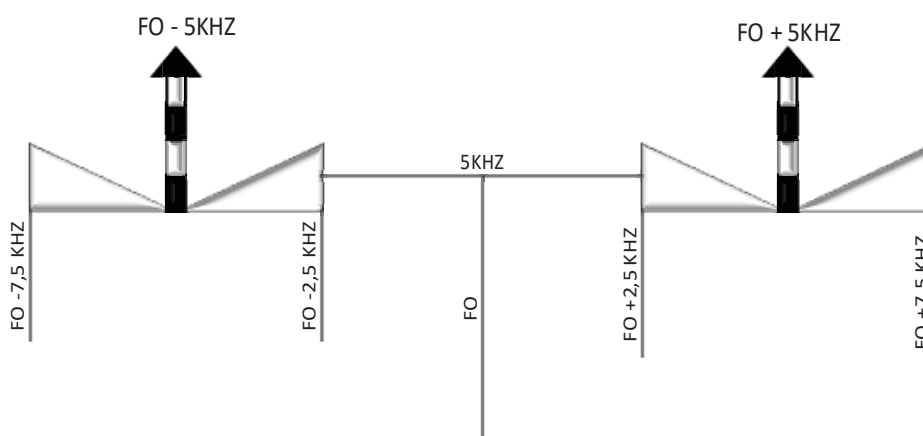
A Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) padroniza o afastamento mínimo entre as portadoras para Sistema de portadora offset em canais espaçados de 25 kHz, 50 kHz e 100 kHz da seguinte forma:

- a) Sistema de 2 portadoras. As portadoras devem ser espaçadas em mais e menos 5 kHz. Isso requer uma estabilidade de frequência de mais ou menos 2 kHz (15,3 partes por milhão a 130 MHz).
- b) Sistema de 3 portadoras. As portadoras devem ser espaçadas em zero e mais ou menos 7,3 KHz. Isso requer uma estabilidade de frequência de mais ou menos 0,65KHz (5 partes por milhão a 130 MHz). (ICAO, 2007, p.257)

O deslocamento de frequência ou offset impede que a mesma frequência seja recebida pela aeronave no mesmo instante de tempo. Do contrário a comunicação seria bastante prejudicada por interferência, ruído, causando perda de qualidade e inteligibilidade.

Sendo assim, em situação de clímax de duas ou três estações transmitindo verifica-se as seguintes situações:

Figura 6- Operação em Clímax de duas estações transmitindo. Fonte: ICAO.

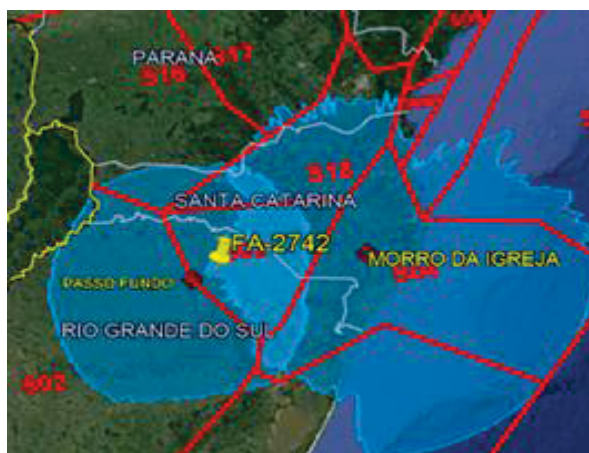


A Figura 6 retrata as transmissões do serviço móvel aeronáutico em caso de duas estações transmitindo em clímax. Conforme pode-se observar, ambas são deslocadas em 5 kHz da frequência central, ou seja, da frequência que desejava-se transmitir.

Na Figura 7 percebe-se na prática o que demonstrou-se na Figura 6, um exemplo de situação em que a estação de Passo Fundo e Morro da Igreja estão transmitindo na mesma frequência e a aeronave FA-2742 encontra-se numa região de interseção da abrangência das duas antenas.

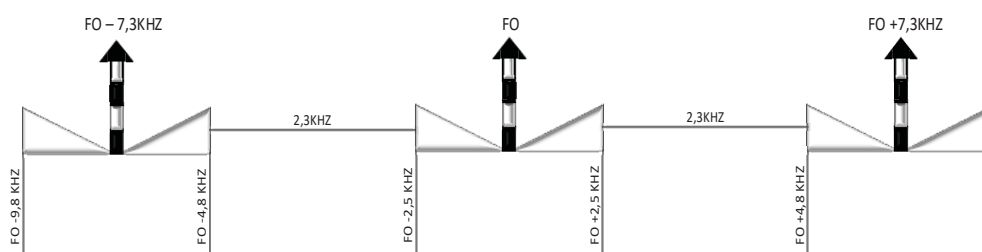
O ACC-CW possui 18 setores e cada um deles 2 frequências, sendo uma principal e outra secundária. Normalmente o tráfego dentro de um setor é realizado pela frequência principal e em caso de contingência utiliza-se a frequência secundária. Logo, na situação da Figura 6, é de se esperar que a comunicação com a aeronave (Caravan) fosse realizada por Santiago e Passo Fundo em situação de clímax de duas estações.

Figura 7 – Exemplo de clímax de 2 estações na FIR-CW. Passo Fundo e Morro da Igreja. Nível 200 (20000 pés)



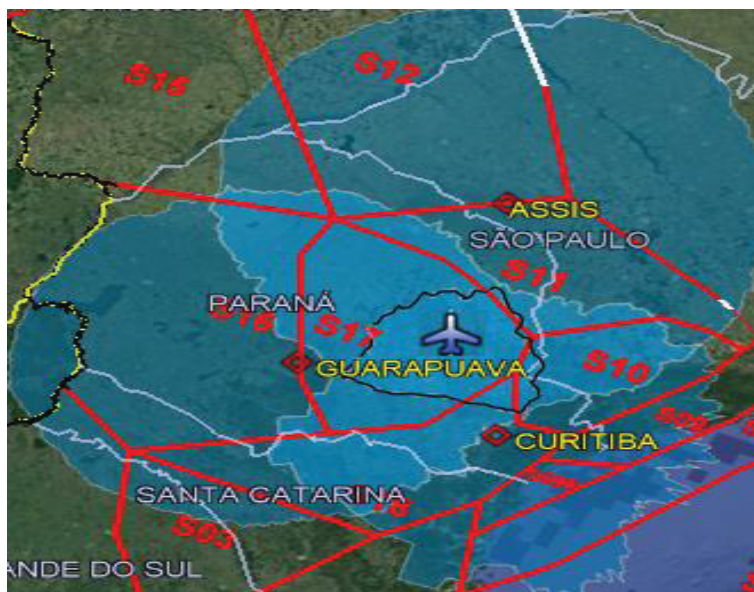
A Figura 8 retrata as transmissões do serviço móvel aeronáutico em caso de três estações transmitindo em clímax. Conforme foi preconizado pela ICAO, uma das estações transmitirá na frequência central e as outras duas serão deslocadas em - 7,3kHz e +7,3kHz.

Figura 8- Operação em Clímax de três estações transmitindo Fonte: ICAO.



Como exemplo prático de uma transmissão multi-portadora com três estações transmitindo em mesma frequência para uma aeronave temos a Figura 9, na qual observa-se diagramas de irradiação das três antenas, sendo que a aeronave se encontra numa região de interseção da abrangência das três estações, Assis, Guarapuava e Curitiba, delimitada por uma linha preta.

Figura 9- Clímax de três estações- Nível 200. Guarapuava, Assis e Curitiba



O espaçamento entre canais adotados na FIR-CW é de 25 kHz, conforme padronizado pela ICAO e o transmissor utiliza Modulação em amplitude (AM) de banda lateral dupla (DSB), com a designação de emissão A3E, conforme preconizado no item 2.1.1.1 do Volume III do Anexo 10, segunda edição da ICAO.

No que diz respeito a comunicação no sentido piloto-controlador o clímax não afeta a comunicação de maneira semelhante, pois o transmissor do avião transmite na frequência central e a transmissão é recebida em cada antena dentro do alcance e quando vários sinais chegam no mesmo intervalo de tempo a Central de Áudio é selecionado o sinal mais adequado e o entrega ao Controlador.

Por esse motivo, este trabalho se concentrou na comunicação no sentido controlador-piloto.

## 2.2 REDE ATN-BR

Já faz certo tempo que Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) vem trabalhando no conceito de Rede de Telecomunicações Aeronáutica para o futuro das comunicações aeronáuticas. Este tipo de rede utiliza links de dados digitais, para comunicação de voz e fornecem outros serviços de tráfego aéreo. Segundo Signore e Girard (1998) esta rede possui quatro elementos principais, o primeiro consiste na capacidade de transferir dados para uma aeronave sem que o remetente tenha conhecimento da localização da mesma, o segundo retrata a capacidade de utilização

simultânea de múltiplas conexões terra-ar, o terceiro consiste na utilização de baixa largura de banda e o ultimo retrata a necessidade de padronização dos serviços do tráfego aéreo.

Antes de detalhar a nova rede de transmissão de dados administrativos e operacionais que está sendo instalada no Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro é necessário verificar em qual contexto ela será introduzida. Sendo assim, deve-se levar em consideração que, atualmente, as redes de transmissão de voz e dados existentes para canalização do serviço móvel aeronáutico, dentre diversos outros serviços do tráfego aéreo, são: uma rede satelital e outra rede determinística contratada de grandes empresas de telecomunicações do país.

A rede satelital é denominada de Telesat e consiste em diversas estações terrenas que se comunicam através de uma estrutura estrela tendo o satélite como repetidor orbital. Na Figura 10, pode-se observar um modelo das estações terrenas da FIR-CW, sendo que a estação Central está localizada no CINDACTA 2.

Figura 10- Estações terrenas do sistema Telesat da FIR-CW



De acordo com DECEA (2011) através da Diretriz de Comando da Aeronáutica 102-1, a rede de Controle do Tráfego aéreo é atendida pela rede satelital já mencionada e uma rede de operadora de Telecomunicações, conforme demonstrado na figura 11.

Figura 11 - Topologia da Rede de Controle do Tráfego Aéreo. Fonte: (FAB, 2011)



A Rede da Operadora de Telecomunicações é determinística e contratada diretamente por cada Organização Militar responsável por seu Centro de Controle. Sendo assim, o backbone da empresa contratada ou o Telesat podem ser utilizados para a canalização de serviços e se interligar com os sítios remotos, nos quais encontram-se as estações VHF que se comunicam com as aeronaves.

A rede ATN-BR atenderá a aplicações e serviços atuais e futuros, interligando-se a equipamentos digitais e a equipamentos legados, que eram inicialmente analógicos. Esta rede não irá substituir a rede legada de forma imediata. Desde o início, o projeto foi pensado para que as redes pudessem operar de forma paralela, até que a nova solução técnica esteja consolidada e seja operacionalmente confiável e assim seja possível a verificação da manutenção destas redes.

O Brasil, que segue a padronização da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), com isso tem adotado medidas para a implantação dessa nova rede (Aeronautical Telecommunication Network using IP suite) ATN/IPS no SISCEAB (Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro) através do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), conforme os requisitos básicos das redes de comunicações do Comando da Aeronáutica (COMAER). A mudança dos atuais enlaces dedicados para os diversos serviços e informações que trafegam na rede aeronáutica para uma canalização única digital traz o desafio do gerenciamento eficiente dos pacotes de dados e dos enlaces disponíveis para garantir a continuidade nas comunicações.

(Sernagiotto; Rosset; Nascimento, 2018, p 1)

Segundo idealizadores da solução, a ATN-BR possui uma tecnologia de rede abrangente, com suporte de altos níveis de disponibilidade, flexibilidade operacional e escalabilidade para atender às atuais e futuras demandas da gestão do tráfego

aéreo brasileiro, podendo contemplar ainda o benefício adicional que representa a redução do custo de operação das WAN do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

A rede pressupõe que todos os equipamentos ligados a ela já sejam digitais, sendo assim houve etapa de modernização de diversos equipamentos que migraram de analógicos para IP.

Esta rede poderá interligar nacionalmente os grandes Centros de Controle, permitindo o compartilhamento de recursos de rede, os meios de informação e telecomunicações para o controle do tráfego aéreo, sendo ainda possível a implementação futura de backup de ACCs em casos de contingência.

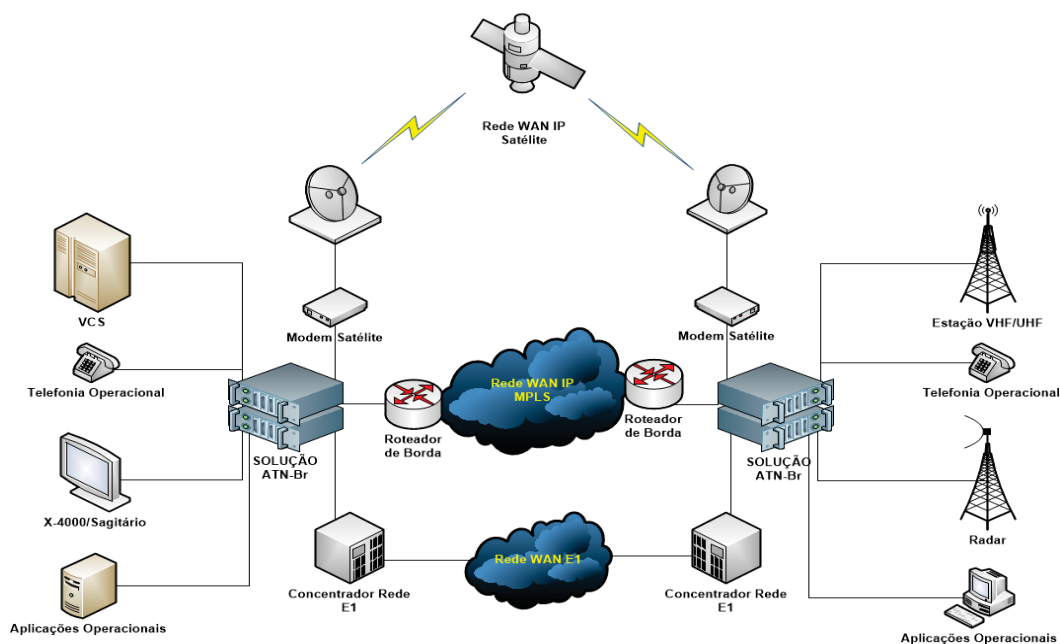
Com isso, em situação de emergência, no caso de impossibilidade da atuação de um centro de controle ou destacamento será possível que outra organização venha a prover os serviços fundamentais do Controle do Espaço Aéreo.

A ATN-BR utiliza elementos convencionais de rede e elementos definidos por software, sendo capaz de convergir diferentes aplicações e serviços. Suas camadas controlam os fluxos de dados de maneira diferenciada para cada tipo de aplicação, categoria ou priorização.

De acordo com tendência mundial de emprego da tecnologia IP em Controle do Tráfego Aéreo, a solução de projeto adotada, baseia-se nas recomendações da EUROCAE.

Considerando o aspecto geográfico brasileiro, certa instabilidade de serviços de telecomunicações oferecidos pelas operadoras de telecomunicações e necessidade de confiabilidade na comunicação, optou-se pela constituição de três grandes redes WAN para a rede ATN-BR, E1/TDM, IP/MPLS, IP/VSAT, conforme Figura 12. A infraestrutura da ATN-BR é responsável pela integração destas redes em transmissões ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto contínua, entre organizações que fornecem e consomem serviços para o Controle.

Figura 12 - ATN-BR- Redes WAN e Serviços e aplicações associados. Fonte: (Revista CISCEA News, 2017)

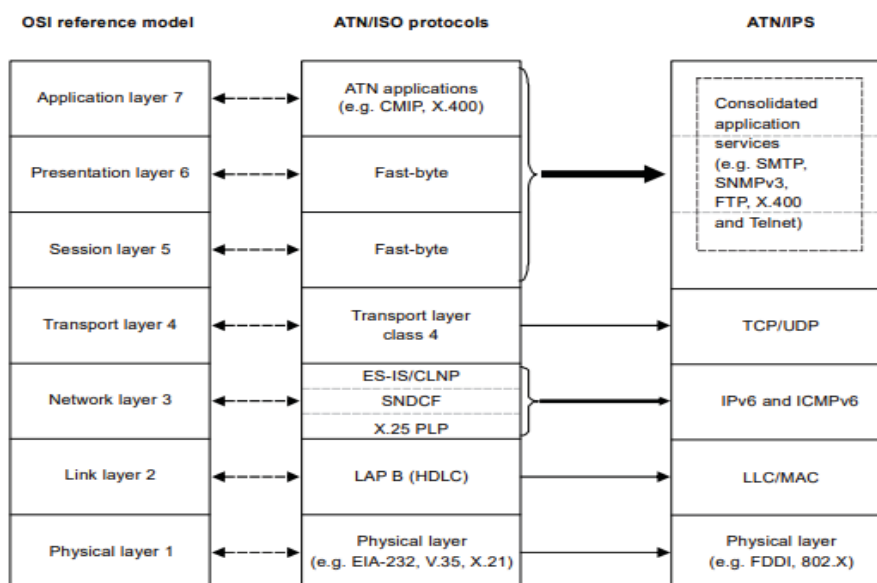


A Figura 12 mostra ainda diversos serviços e aplicações operacionais (telefonia, Sagitário, Radar, SMA, etc.) que poderão trafegar por uma das três redes disponíveis.

Para SLIM, MAHMOUD, PIROVANO e LARRIEU (2014) a ICAO desenvolveu a rede ATN como uma estratégia para integrar comunicações de dados ar/terra e terra/terra em uma rede global que atende ao tráfego aéreo, já que a utilização de uma rede ATN/IPS permite a interoperabilidade confiável e contínua necessária para essas comunicações IP de ponta a ponta.

A ICAO em *Aeronautical Telecommunication Network (ATN) Manual for the ATN using IPS Standards and Protocols* (Doc 9896) (ICAO,2011) mostra a relação entre as arquiteturas protocolos OSI, ATN/OSI e ATN/IPS, Figura 13, para auxiliar novos contratantes na implantação de redes ATN-IPS. Tal documento também retrata os serviços básicos mínimos que devem ser fornecidos pela rede ATN/IPS com prioridade e segurança.

Figura 13 - Arquiteturas protocolos OSI, ATN/OSI e ATN/IPS. Fonte: (ICAO, 2011)



De acordo com projeto de Alam, Hu, Pillai, XU e Baddoo (2017) as atuais redes de telecomunicações aeronáuticas (ATN) têm utilizado o recurso de seleção automática de enlaces a fim de oferecer um ambiente confiável para as comunicações, levando em consideração diferentes atributos incluindo segurança, QoS, custos e preferências do usuário/operador, para a melhoria de desempenho nas redes aeronáuticas.

Nesse contexto, o processo de escolha do enlace deve considerar os requisitos das aplicações, visto que a rede é composta por diversos dispositivos heterogêneos conectados a diversos redes de canalização.

No caso da solução brasileira para ATN (ATN-BR), a respeito dos serviços de comunicação de áudio, elementos de rede monitoram constantemente parâmetros essenciais de desempenhos, tais como, jitter, perda de pacote e atraso para encaminhar o tráfego, conforme os requisitos de desempenho esperados.

O trabalho de SERNAGIOTTO et al. (2018), que teve como objetivo a proposição de aplicação para gerencia dos enlaces da rede ATN-BR, também considera importante a gerencia dos enlaces disponíveis a fim de otimizar os recursos contratados e garantir a maior disponibilidade possível, balanceando a carga de dados em cada um dos enlaces contratados, em cada localidade atendida pela rede.

Na solução utilizada especificamente para rede ATN-BR existe a possibilidade de comutação automática entre as diferentes redes de longa distância, com critérios

de rota e prioridades configuráveis, para garantir a disponibilidade requerida para cada tipo de serviço e aplicação operacional e assim poder garantir a efetiva gestão e otimização do emprego dos meios de comunicação disponíveis.

Havendo disponibilidade de todas as redes é possível a distribuição de cargas dos serviços entre as mesmas.

A estação ATN atuará como mediadora das três redes de longa distância que compõem a ATN-Br, a saber:

- a) Satélite WAN do COMAER - TELESAT - uma rede de comunicação via satélite atualmente atualizada com tecnologia IP, para operação ponto-multiponto. Trata-se de um segmento de recursos próprios (TELESAT), de considerável capilaridade no Sistema;
- b) WAN estatística (IP) - provisionada por um operador de telecomunicações - uma rede estatística terrestre, principalmente com tecnologia MPLS, implementada para operação ponto-multiponto pelo fornecedor contratado;
- c) WAN determinista (E1) - provisionada por um operador de telecomunicações - rede terrestre do tipo determinista implementada para operação ponto-a-ponto pelo fornecedor contratado.

Vale ressaltar que na rede ATN-BR tráfegarão serviços administrativos e todos os serviços operacionais que dão suporte ao Controle do Espaço Aéreo.

Resumindo, atualmente existe a possibilidade do SMA ser canalizado por 5 redes distintas, sendo uma rede determinística satelital (Telesat), duas redes determinísticas contratadas TDM (time Division multiplex), uma rede MPLS (Multi-Protocol Label Switching) estatística e uma rede estatística VSAT.

A rede determinística é baseada em multiplexadores TDM (time Division multiplex) e pressupõe o mapeamento dos serviços em canais de 64Kbit/s. Para possibilitar a transmissão destes canais eles são multiplexados em estruturas de 32 canais de 64 Kbit/s que são denominados E1.

Diferentemente da rede de comutação por pacotes os sistemas determinísticos alocam permanentemente o canal de comunicação para a chamada durante toda a sua duração. Isso apresenta a vantagem de garantir uma melhor qualidade de voz, evitando valores elevados de jitter e atraso, mas apresenta a desvantagem de aproveitar pouco o meio de transmissão e recursos de rede.

A rede MPLS utiliza lógica de roteamento baseado em pacotes rotulados, onde cada rótulo representa um índice na tabela de roteamento do próximo roteador. Pacotes com o mesmo rótulo e mesma classe de serviço são indistinguíveis entre si e por isso recebem o mesmo tipo de tratamento.

Nas redes TDM o canal é mantido. Como o recurso não é compartilhado, a latência será constante e previsível. Valente (2019) demonstra que a rede MPLS, ao ser comparada com a comunicação baseada no método de transmissão TDM, possui maior eficiência na sua flexibilidade proporcionada pela gestão dinâmica da sua largura de banda.

Em contraste com uma largura de banda fixa por canal oferecida pelo método TDM, no MPLS a largura de banda disponível pode ser distribuída entre os diversos serviços existentes, o que otimiza fluxos de múltiplas aplicações sem reduzir o desempenho da rede. Para garantir a eficiência deste processo, o MPLS possui mecanismo, de engenharia de tráfego, que permite estipular rota para serviços prioritários.

### 2.3 PESQ

Existem diversos modelos para a realizar análise da qualidade de áudio, dividindo-se em dois grandes grupos, análise objetiva e subjetiva.

A análise subjetiva consiste na capacidade de notar diferenças em sons provenientes de equipamentos de áudio distintos, comparando-os e apontando os aspectos observados. O termo subjetivo deve-se a que cada pessoa possui uma capacidade particular de verificação dos parâmetros de áudio e, em virtude disso, é preciso fazer vários testes para chegar a alguma conclusão concreta.

Esta análise, geralmente, é utilizada como referência para as demais, apesar dos altos custos associados e números de pessoas relacionadas para execução do modelo, visto que é necessário um grupo de pessoas para a avaliação da qualidade do sinal.

Na tentativa de validação dos testes objetivos geralmente utiliza-se resultados de análises subjetivas, conforme pode ser verificado em estudos como MoLLER(2016) e SALEHI (2016).

A ITU-T define a recomendação P.800 - Methods for Subjective Determination of Transmission Quality (ITU, 1996), que possui desvantagem de ter elevados custo e

tempo para análise (SUN, IFEACHOR, 2002). Tal método utiliza o conceito Mean opinion score (MOS) que consiste no julgamento da qualidade da transmissão da voz ao escutarem o áudio que passou por um sistema em teste. Após estes testes, os sujeitos irão qualificar a qualidade da voz de acordo com uma escala padronizada, sendo o MOS obtido através da média das avaliações do grupo para o determinado áudio.

Porém este projeto terá como foco uma verificação objetiva da qualidade do serviço móvel aeronáutico a qual possui custos menos elevados para a realização da análise, além de não ser necessário um grupo de pessoas para a verificação dos áudios.

Os métodos objetivos utilizam recursos computacionais para verificação da qualidade da voz submetida ao sistema em teste. Dentre os métodos objetivos, tem-se métodos conhecidos como modelos perceptuais os quais fazem uso do conhecimento do sistema auditivo humano para comparar um sinal de referência (sinal original) com um sinal degradado (sinal de referência após ser submetido ao sistema de transmissão em teste).

Sendo assim buscou-se encontrar projetos que abordassem um dos seguintes métodos perceptuais no serviço móvel aeronáutico do Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, *Perceptual Speech Quality Measure* (PSQM, recomendação ITU-T P.861, (ITU,1996)), *MNB - Measuring Normalizing Blocks* (MNB - Anexo II à recomendação ITU-T P.861 (ITU,1996)) e o PESQ (recomendação ITU-T P.862, (ITU,2001)).

Na dissertação de Frigotto (2018) foi levantada a tabela 2 de correlação entre os valores de MOS do método subjetivo e as notas dos testes objetivos dos métodos PESQ e SESQ (recomendação ITU-T P.563, (ITU,2004)) utilizando frases aleatórias padronizadas por normas *International Telecommunications Union*, ITU, e frases padronizadas com jargões do Controle do Espaço Aéreo, ATC.

Desta tabela pode-se aferir que a correlação entre os métodos PESQ e o subjetivo são melhores para frases aleatórias, tendo valores maiores que 90%. Como a análise realizada pelos autores foi no serviço móvel aeronáutico teve-se um bom indicativo para a utilização do método PESQ para a verificação da degradação dos áudios nas redes de canalização com clímax da FIR-CW.

Tabela 2 - Correlação entre MOS e valores previstos do PESQ e SESQ.

Técnica	Tipo de Frases	Correlação de Pearson ( $\rho$ )	Correlação de Spearman ( $r_s$ )
PESQ	ITU	0,922	0,906
SESQ	ITU	0,514	0,522
PESQ	ATC	0,841	0,743
SESQ	ATC	0,564	0,584

Fonte: Frigotto (2018)

O valor de correlação de Pearson de 92,2% da Tabela 2, para frases aleatórias no SMA, de acordo com padronização da ITU-T, mostrou-se razoável para a utilização do PESQ, norma P.862 (2001), com a finalidade atual.

Segundo Falk e Parsa (2015) o PESQ é um algoritmo padrão de medição de qualidade objetiva amplamente utilizado.

Aproveitou-se para verificar na prática a utilização de um método de verificação de qualidade de áudio sem sinal de referência, Single-Ended Speech Quality Assessment (SESQ). Porém a média geral das notas SESQ tiveram 20% de diferença da média geral do PESQ e em vários áudios as notas dispersavam em mais de 50% ora acima das notas PESQ encontradas ora abaixo.

Tal fato somado a baixa correlação com as notas encontradas no PESQ, em teste prático, mostrou a necessidade de descartar tal método para análise deste projeto.

Ressalta-se que a Tabela 2 demonstra a correlação entre o SESQ e o método subjetivo e que, para diferentes métodos de correlação, a mesma não atingiu 60%.

Neste contexto, a análise será verificada somente pelo modelo PESQ.

O PESQ retrata um modelo intrusivo de análise de qualidade de áudio, ou seja, ele utiliza o sinal original para verificação do sinal degradado, amostrados a 8 ou 16 kHz, que passam pelo sistema em teste, dando uma Estimativa Perceptiva da Qualidade da fala para banda estreita (NB, 300-3.400 Hz).

Tal método é consolidado e foi utilizado para tentativa de validação de modelo de estudo como em Mrvova e Pocta (2013) ou para verificação da qualidade de diferentes serviços e aplicações juntamente com o SESQ em redes de pacotes e em diferentes codificações em Pocta e Holub (2011). Cabe ressaltar que no último estudo, o PESQ alcançou melhor desempenho que o SESQ em quase todas as condições investigadas.

O PESQ aborda a filtragem, atraso variável e distorções localizadas curtas com equalização de função de transferência, alinhamento de tempo e um novo algoritmo para calcular a média de distorções ao longo do tempo.

### 2.3.1 Funcionamento do PESQ

Segundo Storm (2007) o PESQ compara um sinal original  $X(t)$  com um sinal degradado  $Y(t)$  que é o resultado da passagem de  $X(t)$  por um sistema de comunicações. A saída do PESQ é uma previsão da qualidade percebida que seria dada a  $Y(t)$  pelos sujeitos em um teste subjetivo de escuta.

Este modelo é definido na recomendação P.862[ITU-T 2001] e introduz um método objetivo que compara o áudio original com a gravação do mesmo áudio após passar pelo sistema de comunicação em teste.

O algoritmo do PESQ faz inicialmente um alinhamento temporal das duas gravações, sinais de entrada e saída são nivelados para levar em consideração os ganhos e perdas do sistema, para depois, então, comparar a degradação dos sinais de áudio.

Os sinais são separados em trechos chamados elocuições e a comparação de tais elocuições fornece atrasos que a rotina de alinhamento temporal repassa ao modelo perceptual. O resultado após o alinhamento temporal é o valor e o grau de confiança do atraso de cada elocução, levando em conta os períodos de silêncio. O impacto das variações de atraso dos tempos de elocução e de silêncio é computado na degradação de qualidade do áudio.

É utilizado um algoritmo de alinhamento para comparar a confiança de ter dois atrasos em um determinado intervalo de tempo com a confiança de ter um único atraso para aquele intervalo.

Baseando-se no conjunto de atrasos levantados, o PESQ compara o sinal de entrada e de saída alinhada do dispositivo em teste usando um modelo perceptual. Para isto o método transforma os sinais para uma representação análoga semelhante ao sistema auditivo humano levando em consideração a frequência perceptiva e o volume.

Tal procedimento é obtido através de diversos estágios, a saber: alinhamento de tempo, alinhamento de nível para um nível de audição calibrado, mapeamento de

frequência de tempo, deformação de frequência e escala de intensidade de compressão.

### 3 METODOLOGIA

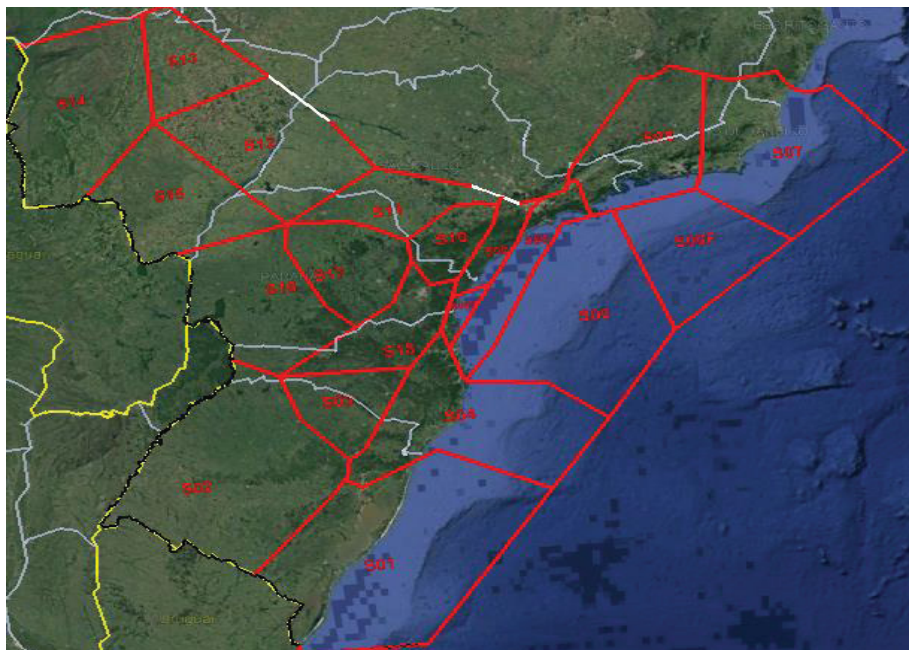
A FIR-CW abrange uma vasta região do espaço aéreo brasileiro cerca de 1.800.000 km<sup>2</sup> compreendendo 18 setores, conforme Figura 14, e mais de 20 organizações militares subordinadas ao CINDACTA 2 dentre destacamentos de controle do espaço aéreo (DTCEA) e Estações de Apoio ao Controle do Espaço Aéreo (EACEA's), podendo o número de sítios serem elevados, visto que novos equipamentos estão sendo instalados para acompanhar a demanda crescente de tráfego e garantir a confiabilidade da abrangência do Controle realizado pelo CINDACTA 2 e órgãos operacionais subordinados.

Os DTCEA's e EACEA's são sítios onde estão localizadas a infraestrutura dos sistemas de telecomunicações, auxílios a navegação, radiodeterminação, meteorologia, elétrica, etc. que dão suporte ao controle do tráfego aéreo, sendo que o primeiro termo é utilizado para denominar Organizações Militares que são assistidas por pessoal da aeronáutica e o segundo retrata organizações que possuem somente os equipamentos e sistemas de infraestrutura para o controle de tráfego e segurança aérea.

Vale ressaltar que a maioria dos sítios da FIR-CW possuem sistemas de telecomunicações responsáveis pelo SMA, tendo em vista a importância deste serviço e a necessidade de sua abrangência.

Devido à complexidade e dimensão da FIR-CW outras localidades que não são subordinadas ao CINDACTA II ajudam na abrangência da irradiação das antenas V/UHF para compreender, com segurança, todo o espaço controlado referente aos 18 setores. Essas organizações são subordinadas também a outros grandes Centros de Controle, sendo que ao todo, atualmente, mais de 50 localidades são responsáveis pela infraestrutura fornecida ao ACC Curitiba.

Figura 14 – Setores e da FIR-CW



Conforme descrito anteriormente, o clímax é uma das preocupações para a manutenção da qualidade de áudio na comunicação do tráfego aéreo, entretanto é necessária uma análise do alcance de regiões onde o mesmo ocorre para a verificação da severidade da questão levantada e abrangência da mesma.

Para isso foi necessário verificar as regiões limítrofes sob a responsabilidade da FIR-CW, ou seja, as altitudes de atuação do ACC e os polígonos referentes a cada setor. Sabe-se que o ACC costuma fazer a comunicação e coordenação com aeronaves aproximadamente entre os níveis 100 (10000 pés) e 400 (40000 pés), logo focou-se em verificar a abrangência do clímax nestas regiões.

Sendo assim, foram elaboradas as tabelas 3 e 4 as quais possuem as mesmas informações só que para frequências distintas, frequência principal (FPx) para a tabela 3 e frequência secundária (FSx) para tabela 4. Ambas as tabelas também possuem área estimada por setor, nível de voo, área total do clímax verificada em km<sup>2</sup> e percentual da área total do setor com clímax de 2 e 3 estações, percentual da área total do setor com clímax de 2 estações e percentual da área total do setor com clímax de 3 estações.

Tabela 3 – Regiões com Clímax nas frequências primárias da FIR-CW para o nível 100 e nível 400

Setor	Área Estimada em km <sup>2</sup>	Nível de Voo	Frequência Princ.	Area total de clímax (2 e 3)	% da area total (2 e 3)	% da area total (2)	% da area total (3)
1	218000	FL.100	FP(1)	35000	16%	16%	0%
		FL.400		170000	78%	78%	0%
2	178000	FL.100	FP(2)	48000	27%	27%	0%
		FL.400		174000	98%	98%	0%
3	40000	FL.100	FP(3)	24000	60%	60%	0%
		FL.400		40000	100%	45%	55%
4	118000	FL.100	FP(4)	13000	11%	11%	0%
		FL.400		76000	64%	0%	0%
5	43000	FL.100	FP(5)	450	1%	1%	0%
		FL.400		35000	81%	53%	28%
6	214000	FL.100	FP(6)	8000	4%	4%	0%
		FL.400		126000	59%	30%	29%
7	145000	FL.100	FP(7)	34000	23%	18%	6%
		FL.400		141000	97%	52%	45%
8	86000	FL.100	FP(8)	18000	21%	9%	12%
		FL.400		78000	91%	21%	70%
9	26000	FL.100	FP(9)	0	0%	0%	0%
		FL.400		24000	92%	92%	0%
10	27000	FL.100	FP(10)	3700	14%	14%	0%
		FL.400		27000	100%	100%	0%
11	44000	FL.100	FP(11)	10000	23%	23%	0%
		FL.400		43000	98%	0%	98%
12	105000	FL.100	FP(12)	48000	46%	37%	9%
		FL.400		105000	100%	5%	95%
13	55000	FL.100	FP(13)	29000	53%	53%	0%
		FL.400		55000	100%	0%	100%
14	147000	FL.100	FP(14)	39000	27%	27%	0%
		FL.400		147000	100%	50%	50%
15	88000	FL.100	FP(15)	49000	56%	56%	0%
		FL.400		88000	100%	100%	0%
16	89000	FL.100	FP(16)	53000	60%	60%	0%
		FL.400		89000	100%	100%	0%
17	54000	FL.100	FP(17)	5000	9%	9%	0%
		FL.400		54000	100%	2%	98%
18	46000	FL.100	FP(18)	0	0%	0%	0%
		FL.400		39000	85%	85%	0%

Tais tabelas foram elaboradas através da utilização do google Earth e de software de abrangência das estações VHF, sendo verificado através das antenas das estações responsáveis por cada setor, tendo como parâmetro as coordenadas latitude, longitude e altura das mesmas para a verificação do diagrama de irradiação

de cada uma delas e da interseção dos mesmos, onde ocorre o clímax, nos níveis 100 (10000 pés) e 400 (40000 pés).

Tabela 4 - Regiões com Clímax nas frequências secundárias da FIR-CW para o nível 100 e nível 400

Setor	Área Estimada em km <sup>2</sup>	Nível de Voo	Frequência Princ.	Area total de climax (2 e 3)	% da area total (2 e 3)	% da area total (2)	% da area total (3)
1	218000	FL.100	FS(1)	26000	12%	12%	0%
		FL.400		150000	69%	69%	0%
2	178000	FL.100	FS(2)	48000	27%	27%	0%
		FL.400		174000	98%	98%	0%
3	40000	FL.100	FS(3)	23000	58%	58%	0%
		FL.400		40000	100%	100%	0%
4	118000	FL.100	FS(4)	55000	47%	47%	0%
		FL.400		118000	100%	47%	53%
5	43000	FL.100	FS(5)	450	1%	1%	0%
		FL.400		33000	77%	47%	30%
6	214000	FL.100	FS(6)	8000	4%	4%	0%
		FL.400		126000	59%	30%	29%
7	145000	FL.100	FS(7)	34000	23%	18%	6%
		FL.400		141000	97%	52%	45%
8	86000	FL.100	FS(8)	30400	35%	35%	0%
		FL.400		86000	100%	31%	69%
9	26000	FL.100	FS(9)	900	3%	3%	0%
		FL.400		26000	100%	100%	0%
10	27000	FL.100	FS(10)	1200	4%	4%	0%
		FL.400		27000	100%	0%	100%
11	44000	FL.100	FS(11)	8000	18%	18%	0%
		FL.400		44000	100%	7%	93%
12	105000	FL.100	FS(12)	17000	16%	16%	0%
		FL.400		105000	100%	5%	95%
13	55000	FL.100	FS(13)	29000	53%	53%	0%
		FL.400		55000	100%	0%	100%
14	147000	FL.100	FS(14)	72000	49%	46%	3%
		FL.400		147000	100%	18%	82%
15	88000	FL.100	FS(15)	59000	67%	47%	20%
		FL.400		88000	100%	0%	100%
16	89000	FL.100	FS(16)	53000	60%	60%	0%
		FL.400		89000	100%	100%	0%
17	54000	FL.100	FS(17)	5000	9%	9%	0%
		FL.400		54000	100%	2%	98%
18	46000	FL.100	FS(18)	0	0%	0%	0%
		FL.400		39000	85%	85%	0%

Consolidando a informação das tabelas 3 e 4 elaborou-se a tabela 5. Nela é possível verificar que a área total da FIR-CW é de aproximadamente 1.723.000 km<sup>2</sup>.

Para a frequência principal no nível 100 temos, uma região onde duas estações transmitem na mesma frequência de 390.150 km<sup>2</sup> e de 27.000 km<sup>2</sup> para clímax de 3 estações, que correspondem a 22,64% e 1,57% de regiões com clímax.

Permanecendo na análise de clímax na frequência principal, porém para o nível 400, temos regiões com clímax de 966.000 km<sup>2</sup> e 545.000 km<sup>2</sup>, para duas e três estações respectivamente, que correspondem a 56,07% e 31,63% de regiões com clímax.

Tabela 5 - Consolidado - Regiões de Clímax na FIR-CW

		Clímax					
		Frequência Principal			Frequência Secundária		
		2 estações	3 estações	Área total	2 estações	3 estações	Área total
em km <sup>2</sup>	Nível 100	390.150	27.000	417.150	438.550	31.400	469.950
	Nível 400	966.000	545.000	1.511.000	795.000	747.000	1.542.000
% da área total	Nível 100	22,64%	1,57%	24,21%	25,45%	1,82%	27,28%
	Nível 400	56,07%	31,63%	87,70%	46,14%	43,35%	89,50%

Para a frequência secundária no nível 100 temos, uma região onde duas estações transmitem na mesma frequência (clímax) de 438.550 km<sup>2</sup> e 31.400 km<sup>2</sup> para clímax de 3 estações, respectivamente, 25,82% e 1,82% de regiões com clímax.

Permanecendo na análise de clímax nas frequências secundárias, porém para o nível 400, temos regiões com clímax de 795.000 km<sup>2</sup> e 747.000 km<sup>2</sup>, para duas e três estações respectivamente, que correspondem a 46,14% e 43,35% de regiões com clímax.

Finalizando a análise verifica-se que para o nível 100 temos um total de regiões de clímax de 24,21% e 27,28% para a frequência principal e reserva, respectivamente, já para o nível 400 as regiões de clímax em relação a área total de abrangência do controle do espaço aéreo da FIR-CW é 87,70% e 89,50% para a frequência principal e reserva, respectivamente.

Com isso é possível observar que o clímax é parte integrante do controle do espaço aéreo e possui maior ocupação em maiores altitudes, sendo quase 90% da região controlada no nível 400, o que demonstra relevante importância quanto a verificação dos efeitos nocivos ao SMA nestas regiões.

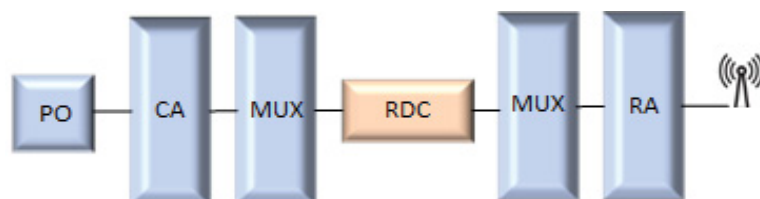
### 3.1 CAMINHO DO SERVIÇO MÓVEL AERONÁUTICO EM TESTE: SENTIDO CONTROLE-PILOTO

Inicialmente, os áudios originais, não degradados e devidamente criados em laboratório são enviados do Centro de Controle Curitiba (ACC-CW) por diferentes redes de canalização até chegar numa estação VHF de um sítio remoto e pela qual são transmitidos por uma frequência na faixa VHF. Posteriormente os áudios são

recebidos por aeronave que, no momento, estava tendo seu tráfego controlado pelo determinado ACC.

A Figura 15 demonstra um exemplo no qual o áudio é canalizado do ACC até a estação remota por meio da rede determinística contratada.

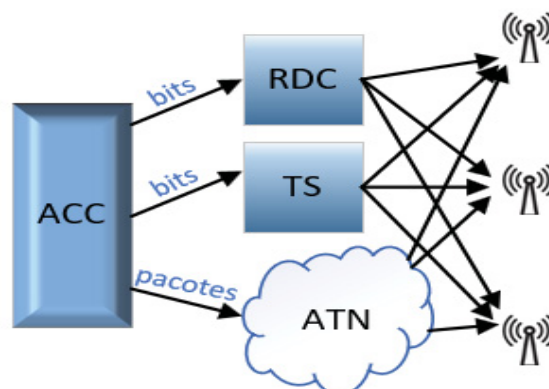
Figura 15 - Caminho do áudio pela RDC.



No sentido controlador-piloto, o áudio é gerado pelo controlador no posto operador (PO). Tal áudio, que se caracteriza como um sinal analógico, utiliza a sinalização E&M (interface comum utilizada para entroncamento analógico), sendo encaminhado pela central de áudio (CA) até chegar em um multiplexador determinístico (MUX), que realiza codificação através do padrão ITU-T G.711 (ITU, 1993) e atribui o sinal digitalizado para um canal de 64kbps na estrutura E1, percorrendo o backbone da rede da empresa contratada. Ao chegar no sítio remoto o sinal digital é demultiplexado e convertido numa interface analógica com sinalização E&M, então, o sinal é transmitido pelo rádio transceptor (RA) sendo irradiado pela antena omnidirecionalmente.

Com a introdução da rede ATN-BR o cenário para a canalização dos serviços, inclusive o SMA para o Controle do Espaço Aéreo da FIR-CW é representado de acordo com a Figura 16.

Figura 16 - Topologia atual das redes de canalização da FIR-CW



Caso os áudios sejam encaminhados do ACC por meio da rede ATN, os mesmos já são fornecidos em formato digital, através de pacotes, conforme o padrão G.711 pela Central de áudio e são convertidos para padrão ITU-T G.729 (ITU,2012) por meio de um gateway da rede ATN-BR, tendo como objetivo diminuir a ocupação de largura de banda nos meios de backbone, mantendo razoavelmente a qualidade de voz. Ao chegar no gateway do sítio remoto, o sinal é convertido novamente para o padrão G.711 e enviado a aeronave através da estação VHF.

Importante ressaltar que os áudios podem chegar à aeronave sendo encaminhados do Centro de Controle as estações remotas por meio de diferentes redes de canalização disponíveis para o determinado setor da FIR-CW na qual encontra-se a aeronave. Entretanto, para que fosse aferida a degradação originada por cada meio de transmissão, foi necessário, no caso de mais de um meio disponível, que um dos meios fosse desabilitado, pelo controlador do Centro de Controle, diretamente na Central de Áudio.

Foi criada uma metodologia para que fosse possível uma padronização no envio dos áudios em teste. Tal método iniciava antes mesmo das ações junto ao Centro de Controle e aeronave.

Primeiramente, foi realizada coordenação com todas as áreas operacionais e com piloto para verificação quanto a disponibilidade e aproveitamento de missão para o posterior envio dos áudios no sentido controle-piloto.

Foi utilizada uma planilha de canalização na qual estavam presentes todas as 36 frequências da FIR-CW distribuídas duas a duas, frequência principal e reserva, em cada um dos dezoito setores existentes. Com a certeza do voo de uma determinada aeronave e a possibilidade de compartilhamento de missão, era

desenhada toda rota da mesma de sua origem ao seu destino, focando-se em seu deslocamento dentro da FIR-CW, verificando quais setores e frequências, segundo planilha de canalização citada, estariam relacionados ao teste.

Com os setores e frequência relacionados, uma ordem de envio de áudios adequada foi padronizada. Primeiramente, por meio de coordenação junto ao Centro de Controle, as aeronaves de um determinado setor eram coordenadas a sintonizarem somente na frequência principal e a aeronave de estudo sintonizava na frequência secundária, sendo assim os áudios eram enviados pela frequência secundária, por meio da canalização Telesat, e os mesmos áudios eram enviados, em seguida, por meio da Rede ATN-BR, nesta mesma frequência. A mudança de canalização era feita diretamente na console da Central de Áudio de maneira transparente para o piloto.

Após o envio destes dois conjuntos de áudios, era a vez de utilizar a frequência principal, com as devidas coordenações do Centro de Controle, sempre preocupados com a segurança das aeronaves, e de maneira análoga a frequência reserva, mais dois conjuntos de áudios eram enviados pela canalização da rede determinística e pela rede ATN-BR.

Com o envio dos áudios os mesmos eram captados e gravados pelas aeronaves. No GEIV os áudios foram gravados pela console da própria aeronave e depois enviados por email para análise e estudo. No CARAVAN com uso de um cabo com interface apropriada, os áudios foram recebidos pelo avião e destinados à interface de áudio Behringer UCA222 e posteriormente armazenados em um laptop. De posse das gravações de áudios degradados (áudios que passaram pelo caminho do centro de controle até o avião e sofreram diversas degradações dentre elas as degradações devidas as redes de canalização e clímax associado a determinada situação) os mesmos foram avaliados pelo PESQ.

Após compilação do algoritmo PESQ foi gerada a nota para cada áudio degradado, sendo feita uma comparação do áudio original com o áudio recebido e gravado na aeronave. Com as notas dos áudios degradados foi possível realizar análise de dados para verificação das degradações devido ao clímax e redes de transmissão responsáveis pelo envio dos áudios dos centros de controle às estações V/UHF remotas.

Para saber em qual situação de clímax que a aeronave se encontrava, no momento do envio do áudio, eram anotadas suas coordenadas (altitude, longitude e latitude). Tais coordenadas posteriormente foram inseridas no google Earth

identificando a localização da aeronave naquele determinado espaço de tempo e com o auxílio de software de abrangência das estações foi verificado se havia uma situação sem clímax ou com clímax de duas ou três estações.

### 3.2 PRINCIPAIS MATERIAIS

Alguns dos mais importantes materiais utilizados para que fosse possível o envio e o recebimento dos áudios para a verificação da qualidade dos mesmos constam abaixo:

1. **Avião Caravan. Objetivo:** captação e gravação dos áudios degradados em regiões e condições apropriadas para os testes. **Especificação:** Grand Caravan, 9 passageiros, velocidade de cruzeiro 340 km/h, com a capacidade de 9 passageiros, totalizando a carga máxima de 1200 Kgs. **Nível de voo utilizado nos testes:** Nv.90 (9000 pés) e Nv.110 (11000 pés).

2. **Avião GEIV. Objetivo:** captação e gravação dos áudios degradados em regiões e condições apropriadas para os testes. **Especificação:** Embraer Legacy 500 velocidade de cruzeiro de 863 km/h, com a capacidade de 12 passageiros, totalizando a carga máxima de 1270 Kgs. **Nível de voo utilizado nos testes:** Nv.278 (27800 pés), Nv.327 (32700 pés), Nv.350(35000) e Nv.370(37000).

3. **Notebook lenovo . Objetivo:** gravação e reprodução de áudios de análise. **Especificação:** Lenovo B490. Processador Intel® Core™ i3-1115G4 (6MB Cache, 3.00 GHz).

4. **Reprodutor e gravador de audio digital 16 bits, 44,1 kHz. Objetivo:** reprodução com maior qualidade dos áudios em teste. **Especificação:** Behringer UCA222 - interface de áudio com impedância de saída de 400 ohm, saída máxima de 2 dBV, THD inferior a 0,05 %, resposta em frequência de 10 Hz a 20 kHz ( ± 1 dB).

5. **Conector Centro de Avião-Gravador. Objetivo:** interface para captação e envio de áudio na aeronave Carvan; **Especificação:** Conector proprietário 12 pinos. conector tipo PJ-068, utilizado para a conexão do microfone do headset dos tripulantes e adaptado para realizar casamento de impedância para a conexão com a interface áudio Behringer UCA222 à console do piloto para envio e recebimento de áudios.

6. **Conector Centro de Controle-Gravador. Objetivo:** interface para captação e envio de áudio na central de áudio; **Especificação:** Conector específico e

proprietário, ODU tipo 0Y R-P010 0-000, da central de áudio para realizar casamento de impedância para a conexão com a interface áudio Behringer UCA222 à central de áudio do controlador para envio e recebimento de áudios.

## 4 RESULTADOS

Foram analisados os áudios e agrupados de acordo com a quantidade de estações por clímax, setor utilizado, meio que canalizou o serviço de áudio entre o controlador e o avião, avião utilizado, níveis de voo dentre outras características importantes para a verificação da qualidade de áudio.

Vale ressaltar que todas as comunicações com o ACC se deram a partir do nível 90, ou seja, altitude de 9000 pés até o nível 370, 37000 pés.

### 4.1 CONDIÇÕES PARA A ANÁLISE DOS DADOS

Utilizou-se como sinais originais áudios gravados por FRIGOTTO e POHL (2018). Estes áudios foram gravados em estúdio com as condições recomendadas pela norma ITU-T P.800, tais como reverberação e ruído do ambiente. Realizou-se procedimento definido nesta norma na gravação de frases aleatórias de curta duração em ambiente e em situações controladas.

Os sinais gravados e editados foram exportados pelo software PROTOOLS utilizando resolução como de 16 bits 44,1 kHz. Para a utilização do PESQ áudios foram convertidos para 16KHz quando necessário.

### 4.2 ANÁLISE DE DADOS

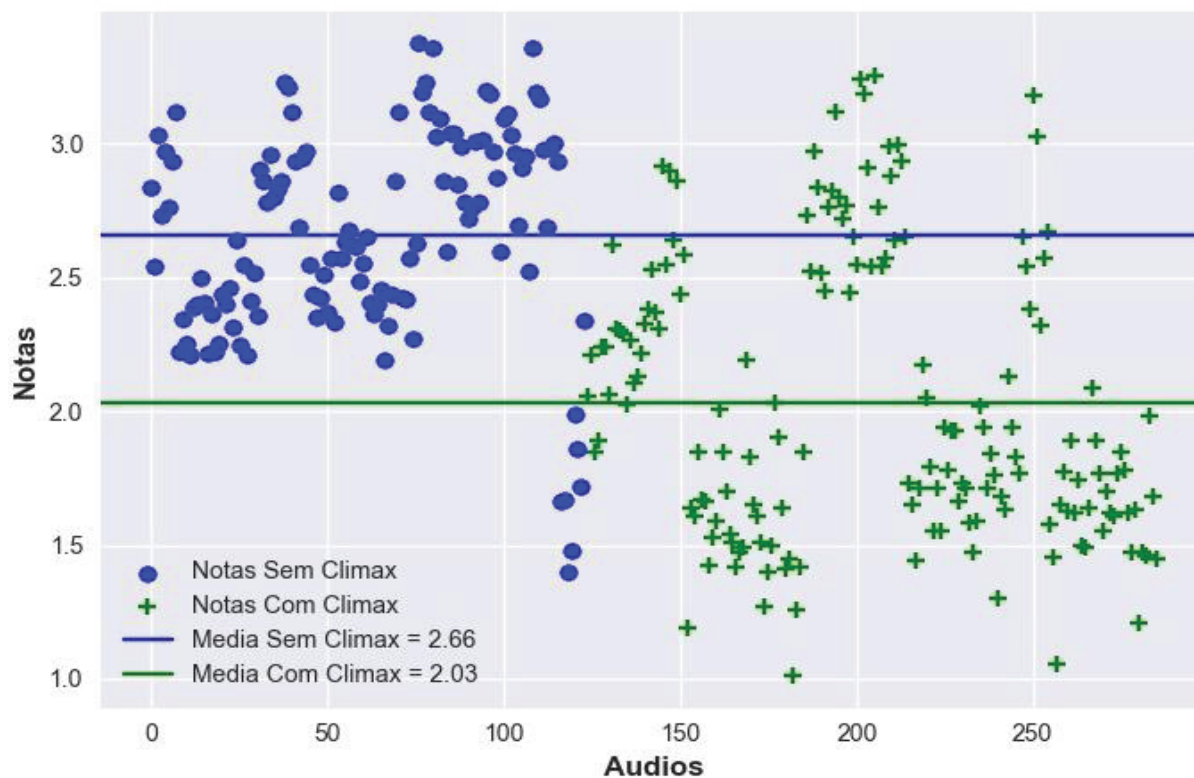
Os dados deste projeto foram captados por 6 voos distintos utilizando duas aeronaves (CARAVAN e GEIV), com níveis de voos, dias, setores e condições climáticas diferentes entre si.

Destes voos foram aproveitados 287 áudios, após descartes devido a interferências indesejadas, tais como, áudios concomitantes do Controle ou do próprio piloto.

#### 4.2.1 Sem clímax x clímax

Como um dos focos deste trabalho é a análise da degradação em condições de clímax, foi elaborada a Figura 17 na qual verifica-se os áudios testados em duas condições, sem clímax e com clímax. Esta figura contém 133 áudios captados em regiões sem clímax e 154 áudios captados em condições de clímax, seja com duas ou três estações transmitindo na mesma frequência.

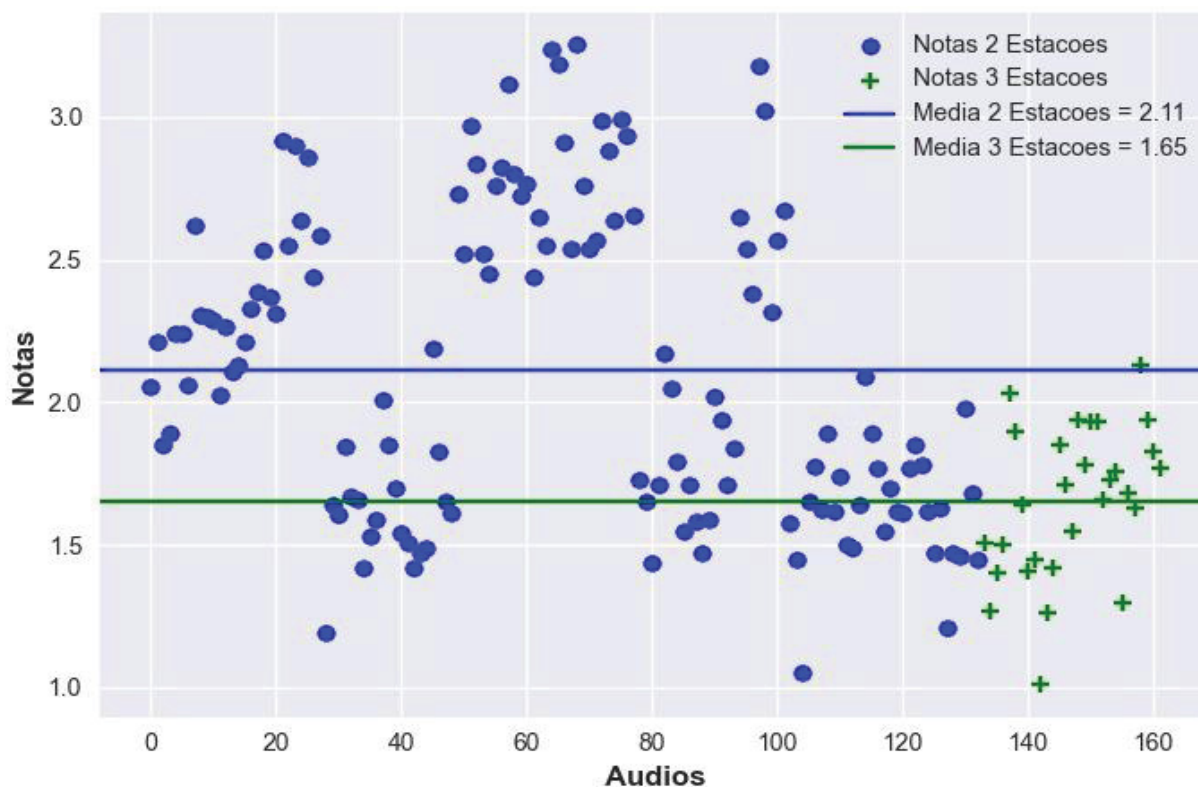
Figura 17- Dispersão de notas PESQ em clímax e sem clímax



Da Figura 17 é possível verificar a dispersão das notas referentes aos áudios degradados com clímax e sem clímax. As suas médias gerais destoam em 0,63 (cerca de 24%), o que demonstra que os áudios em clímax sofreram maior degradação dos que foram gravados em regiões sem clímax.

Para fazer uma análise mais profunda das notas em clímax dividiu-se as condições de clímax em clímax de duas e três estações, conforme verifica-se na Figura 18.

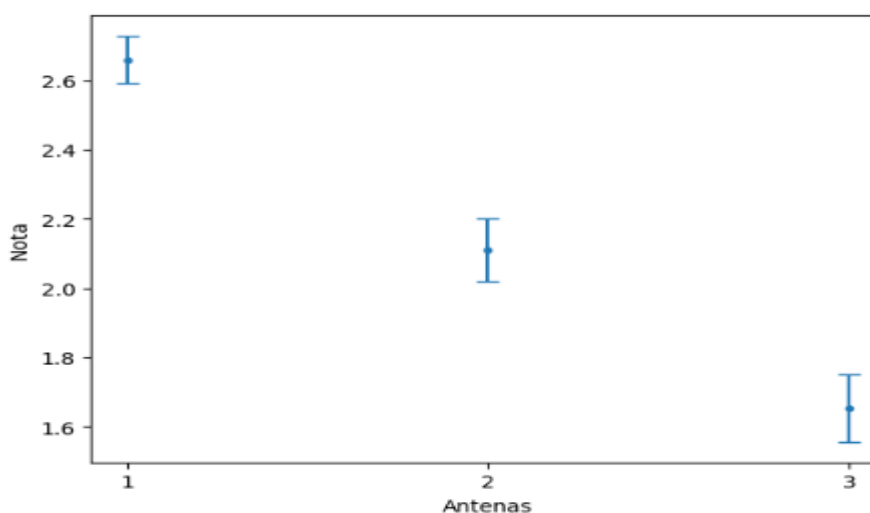
Figura 18 - Dispersão de notas PESQ - Clímax de duas e três estações



Analisando a Figura 18 conjuntamente com o resultado da Figura 17 verifica-se que a média geral das notas em condições sem clímax (2,66) é a maior e que as médias gerais para condição de clímax de 2 e 3 estações foram menores em 0,55 e 1,01, respectivamente.

De forma que sejam definidos intervalos dentro dos quais seja provável encontrar a média para as notas dos áudios transmitidos por 1, 2 e 3 estações elaborou-se a figura 19.

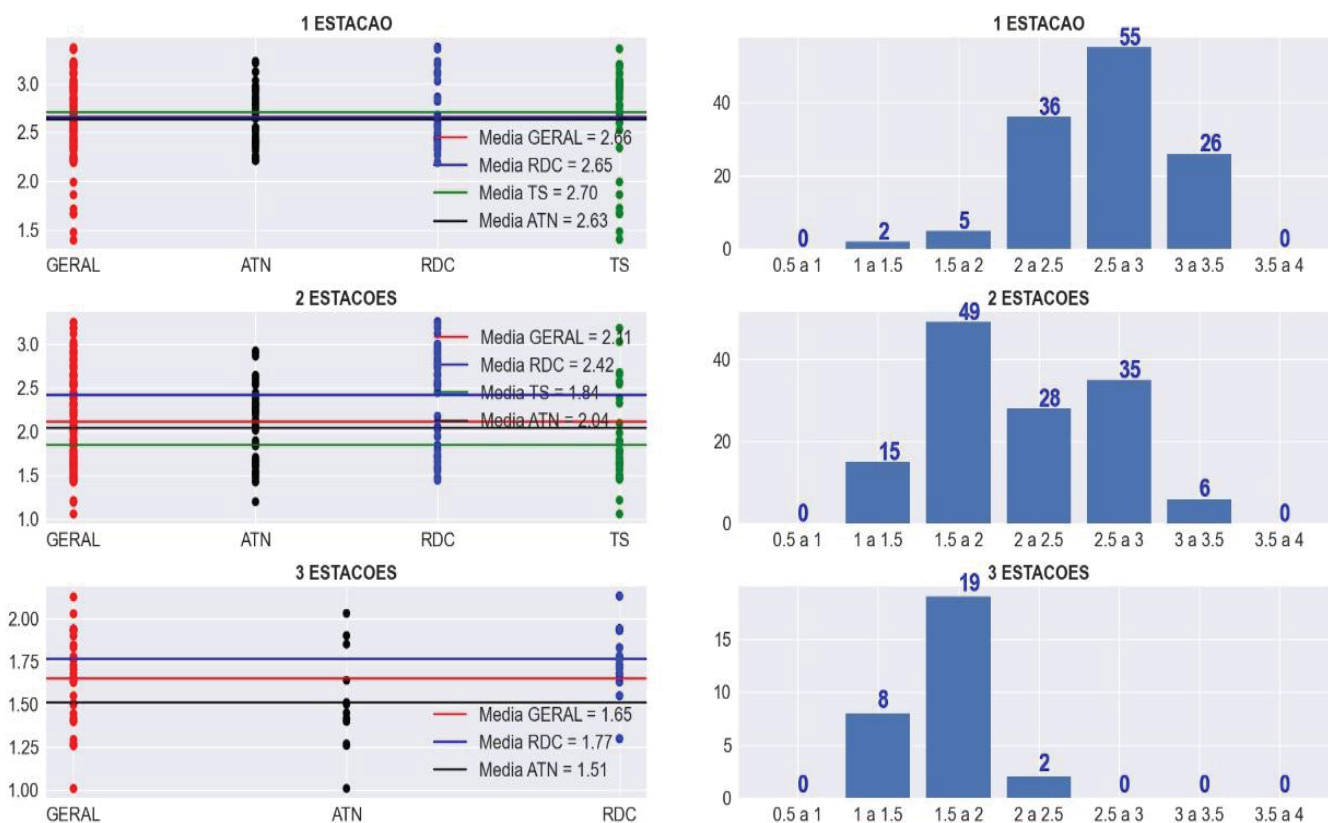
Figura 19 – Intervalo de confiança (95%) para as médias – 1, 2 e 3 estações



Da Figura 19 é possível verificar que para um intervalo de confiança de 95% a média para uma estação transmitindo tende a ficar entre 2,6 e 2,8; para duas estações transmitindo a média provavelmente estará entre 2,0 e 2,2 e para três estações transmitindo entre 1,5 e 1,7. Logo é possível verificar que para o intervalo de confiança adotado, para esta amostra de 287 áudios, as médias tendem a cair com o aumento de estações transmitindo.

Para que fosse possível uma análise da qualidade de áudio das diferentes condições de clímax por meio de canalização utilizada para o tráfego do áudio do Centro de Controle às estações VHF remotas e, ainda, ter um detalhamento quantidade de notas por intervalo, elaborou-se a Figura 19. Desta figura percebe-se que os 287 áudios foram divididos pelas redes de transmissão, sendo possível verificar a concentração das notas dos áudios degradados por intervalo e observar, para os áudios verificados, que quanto maior o número de estações transmitindo tende-se a ter maior degradação.

Figura 20- Notas PESQ vs nº de estações trans. vs Canalização vs Intervalos

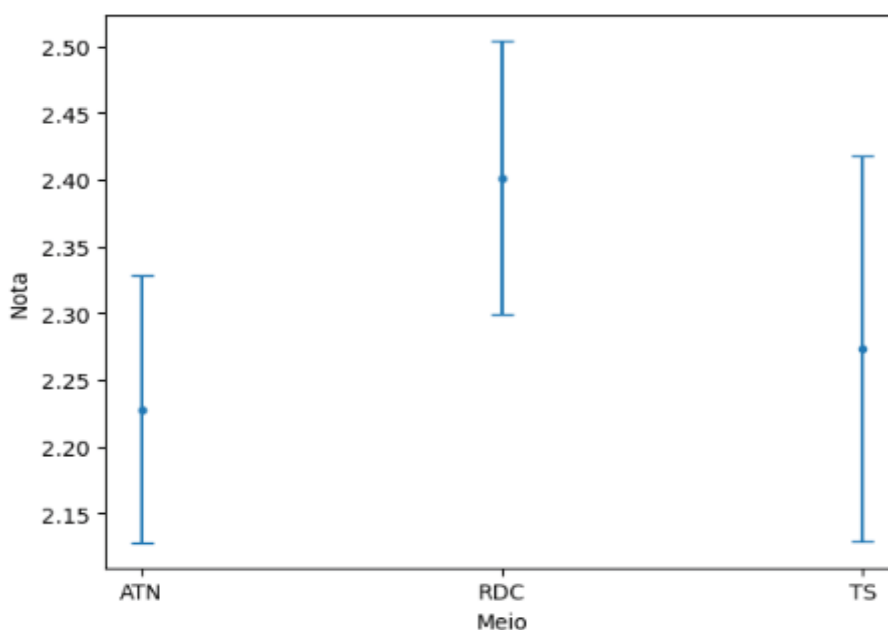


Da figura 20, observa-se que as médias das notas que foram canalizadas pelas três redes destoaram pouco para a condição sem clímax e que para situação de clímax as notas dos áudios canalizados foram maiores para RDC.

Não havia uma perspectiva concreta quanto as notas de áudio canalizados pela rede ATN por dois motivos: a rede ATN não foi entregue integralmente e estava em fase de testes quando da captação dos áudios e esta rede possui 3 redes de canalização interna, sendo uma rede determinística, uma rede estatística e uma rede satelital.

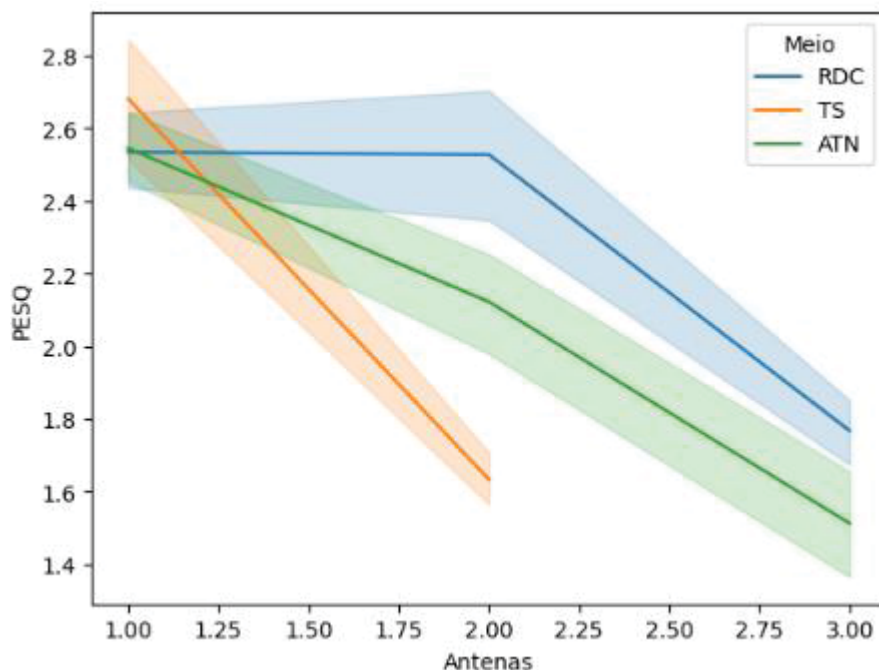
Assim como feito com as notas por estação transmitindo, elaborou-se, através da Figura 21, intervalos de confiança de 95% para as médias das notas por canalização. Contudo, através desta medida estatística não foi possível observar distinção das médias, já que os intervalos das 3 canalizações possuem interseção entre si.

Figura 21 – Intervalo de confiança (95%) para as médias por canalização



Continuando a analisar a situação das notas por canalização e clímax, foi elaborada a Figura 22.

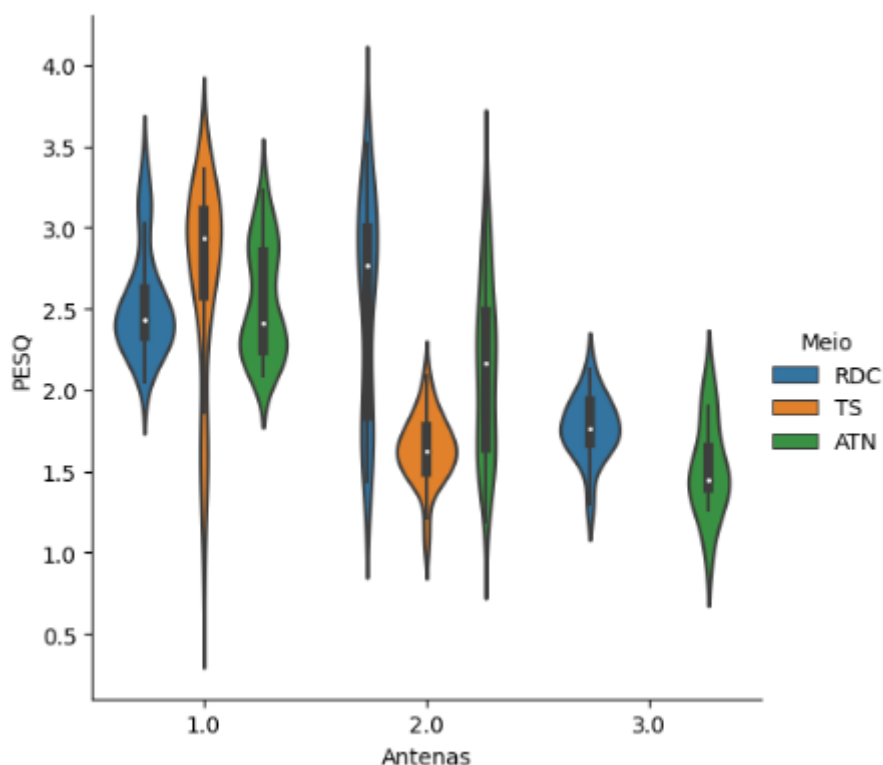
Figura 22 - Curva de Intervalo de confiança (95%) - Canalização vs N° de estações transmitindo



A Figura 22 mostra as curvas de intervalo de confiança de 95% para as diferentes canalizações no contexto de 1, 2 e 3 estações transmitindo. Desta figura percebe-se que para todas as canalizações a média das notas gravadas diminui com o aumento das estações e que para uma estação transmitindo todas as canalizações apresentam média provável similar, porém com o aumento do número das estações transmitindo a rede determinística contratada mostra-se com menor degradação.

Para confirmar tal análise elaborou-se um gráfico violino na Figura 23. As curvas no entorno do gráfico boxplot representa a função densidade de probabilidade estimada via kernel, sendo que quanto mais largas na horizontal, maior será a densidade de pontos, ou seja, existe uma maior frequência de pontos na determinada região.

Figura 23 - Gráfico Violino - Canalização vs N° de estações transmitindo

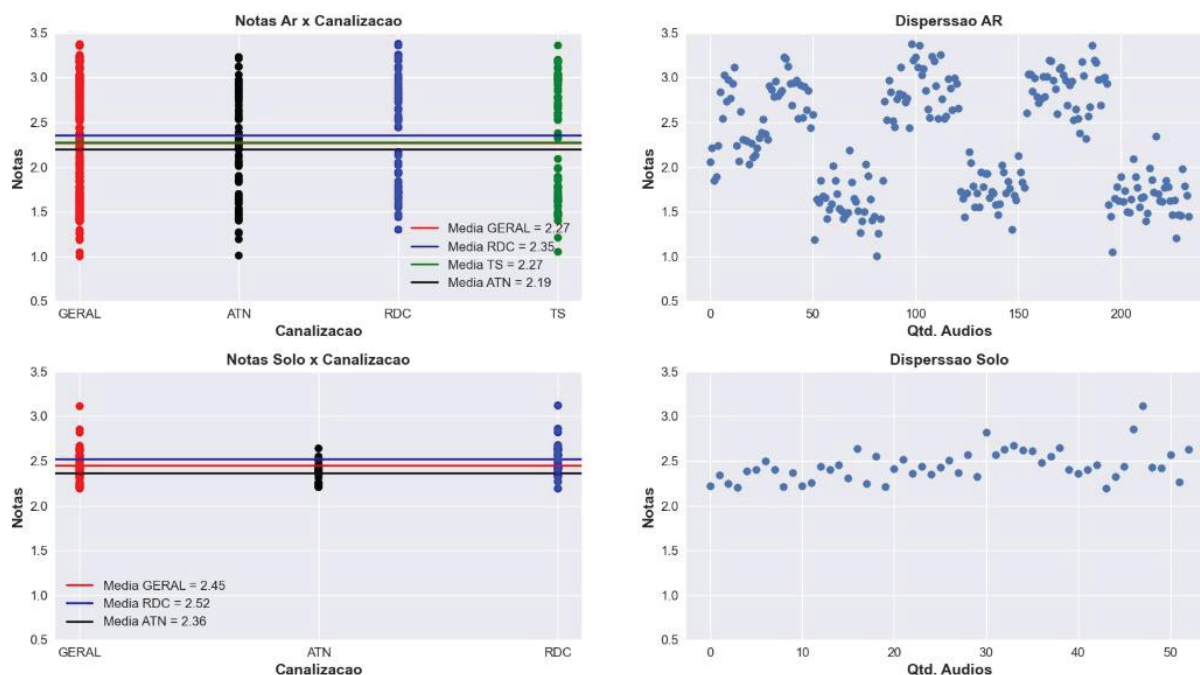


Da Figura 23 percebe-se que na maioria dos casos os dados estão pouco concentrados, sendo necessário buscar situações mais homogêneas para as comparações. Nas análises realizadas até agora no item 4.2 leva-se em consideração que os áudios foram gravados em contextos distintos: diversas condições distintas de altitude, aeronaves, relevo, distanciamento da aeronave à antena transmissora e até condições climáticas, sendo assim não é razoável uma comparação direta entre 1, 2 e 3 estações transmitindo. Sendo assim, objetivando conseguir fazer comparações entre as canalizações, buscou-se fazer análises mais específicas e somente realizar a análise das degradações de cada canalização quando em igualdade de condições de degradação e estações transmitindo em mesma frequência.

#### 4.2.2 Avião: Terra x Ar

Observando atentamente as notas associadas ao algoritmo PESQ foi possível verificar uma diferenciação quando captadas em avião em pleno voo e no avião taxiando ou parado em solo. Sendo assim, foi elaborada a Figura 24.

Figura 24 - Notas com o avião em voo e avião em solo

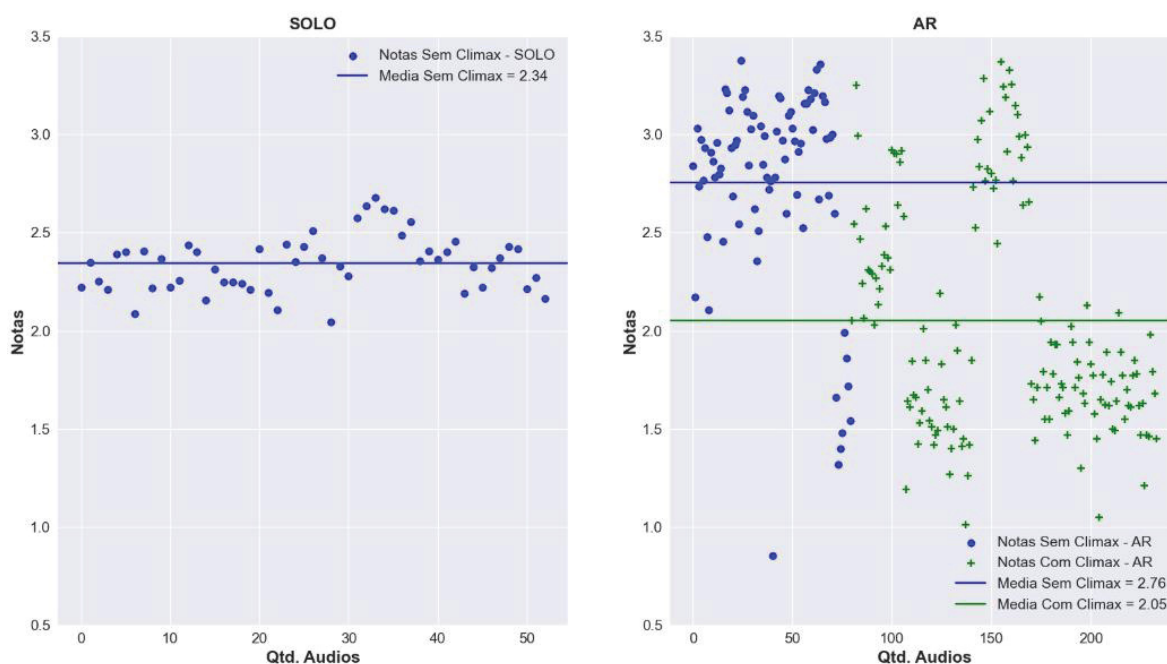


Conforme pode-se observar os 287 áudios são analisados na Figura 24. Da primeira coluna dos gráficos podemos verificar que a média geral quando o avião está no ar e quando o avião está no solo são bastante próximas, ficando em 2,27 no ar e 2,45, no Solo.

Observando o primeiro gráfico de dispersão percebe-se que os dados não estão homogêneos, já que para a condição “Ar”, associa-se diferentes aeronaves, nível de voo, setores e condições climáticas heterogêneas. Já para a condição do avião no solo, verifica-se condições mais homogêneas o que também pode ser percebido no seu gráfico de dispersão tendo em vista se tratar de um único voo com somente um avião e nível de voo.

Apesar de haver uma tendência que demonstre que a canalização da rede determinística contratada (RDC) é mais apropriada para os áudios nestas situações, não é possível fazer tal comparação a partir deste filtro, sendo necessário encontrar fatores de degradação mais homogêneos.

Figura 25 – Climax x Ambiente (Solo x Ar)



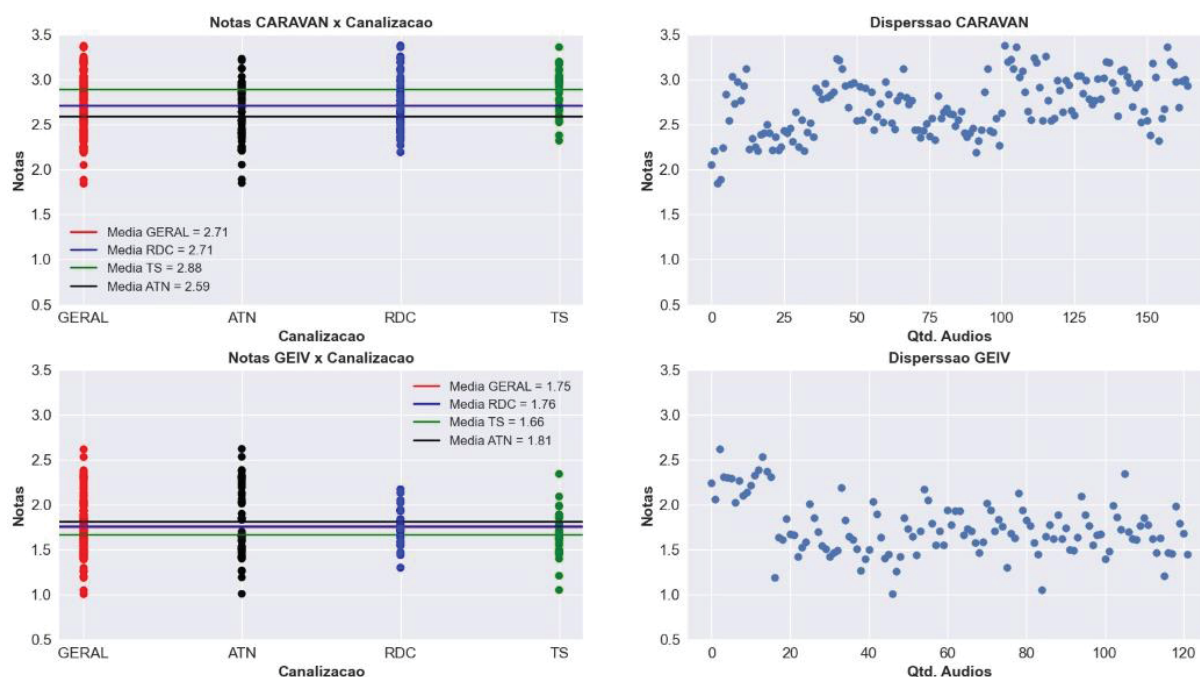
Na Figura 25 demonstra-se uma análise das notas em regiões com e sem clímax para diferentes ambientes. Para o Solo não houve notas em clímax, já para os áudios captados nos aviões em pleno ar houve um decréscimo de qualidade, segundo o PESQ, de 0,71 da média de situações sem clímax para situações com clímax, ou seja, 26%.

#### 4.2.3 Avião: Caravan x GEIV

Tendo em vista uma análise preliminar das notas foi verificado que houve diferenças nas mesmas entre voos realizados pelas duas aeronaves, Caravan e GEIV.

Na Figura 26, os 287 áudios foram divididos em áudios captados quando a aeronave era o Caravan e quando o voo era realizado pelo GEIV.

Figura 26 - Notas CARAVAN vs GEIV

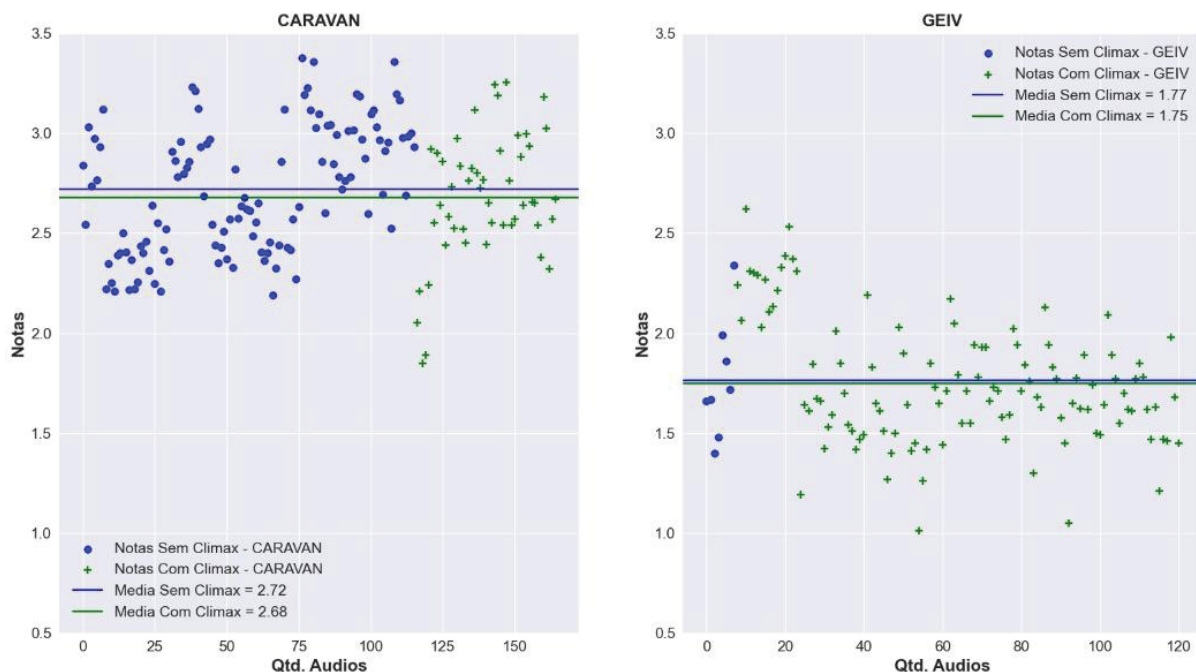


Conforme pode-se notar nos gráficos, as notas aferidas pelo GEIV são geralmente mais baixas que as notas do CARAVAN, tal situação ocorre provavelmente por dois fatores. O primeiro fator consiste nas notas captadas no CARAVAN serem retiradas da Console do avião diretamente por uma interface de áudio apropriada, já no GEIV, sem auxílio desta interface, eram diretamente recebidas. Vale ressaltar que os áudios do Caravan foram gravados numa resolução como de 16 bits e 44,1 kHz e já os do GEIV no momento da gravação obtinha-se 16 bits e 16 KHz. Tal situação ocorreu devido a impossibilidade de inserir interface compatível com a console do avião GEIV e conectar a uma interface de áudio apropriada, sendo uma importante adaptação a ser feita num futuro estudo, caso seja possível. O segundo fator das notas do GEIV serem inferiores pode consistir na altitude que esta aeronave voa, enquanto o CARAVAN, nos voos de captação de áudio, voava entre o nível 90 e o nível 150 (9000 à 15000 pés) o GEIV voou do nível 270 ao nível 370 (27000 à 37000 pés), contudo o distanciamento das antenas de transmissão em maiores altitudes não difere muito de altitudes mais baixas, porém a atenuação, devido as condições da atmosfera, pode diferir a cada caso.

Verifica-se uma maior média na canalização Telesat na condição “Caravan” e “ATN” para o GEIV, porém, como observado nos gráficos, as notas estão bastante dispersas, isto deve-se as condições climáticas e distanciamento das antenas

distintos, etc. não sendo possível fazer uma comparação mais assertiva entre as degradações nos meios de transmissão.

Figura 27 – Climax vs Aeronave



Na Figura 27 pode-se observar que as notas sem clímax no Caravan e no GEIV são maiores que as notas com clímax, contudo as médias, em ambos os casos, estão bem próximas.

#### 4.2.4 Notas por altitude

Observando a análise do item anterior, percebeu-se a importância da verificação da qualidade do áudio segundo os parâmetros do PESQ em diferentes níveis de altitude, visto que ele também contribui na degradação dos áudios. Logo todos os 287 foram verificados, sendo separados por nível de altitude a qual foram gravados. Sendo assim foram elaboradas as Figuras 27 e 28 abaixo:

Figura 28 – Dispersão das notas por altitude

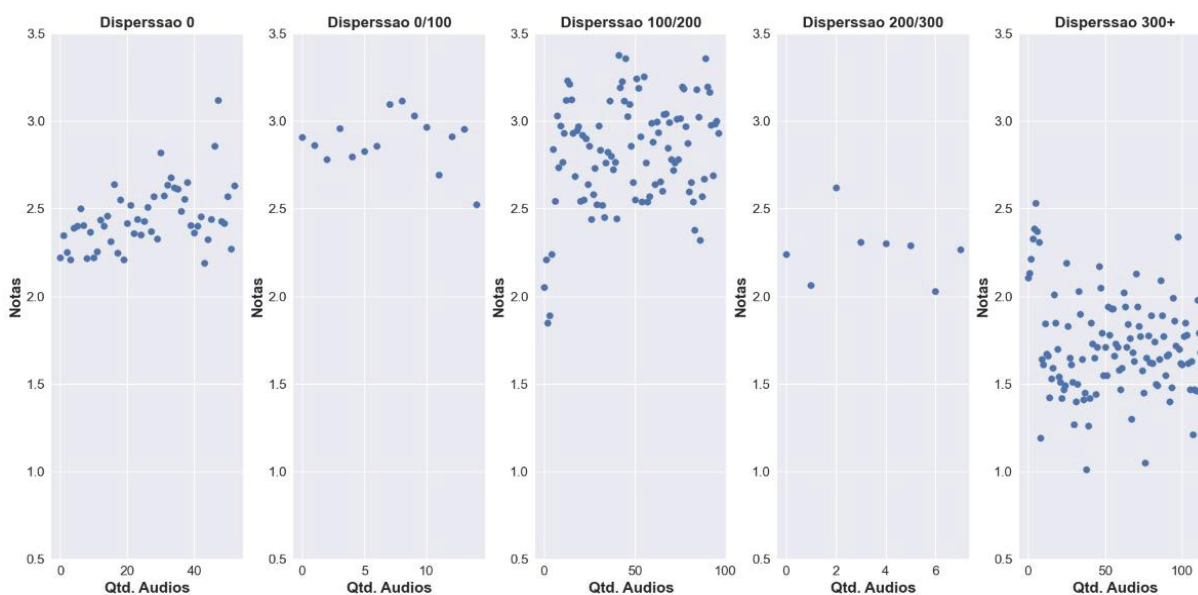
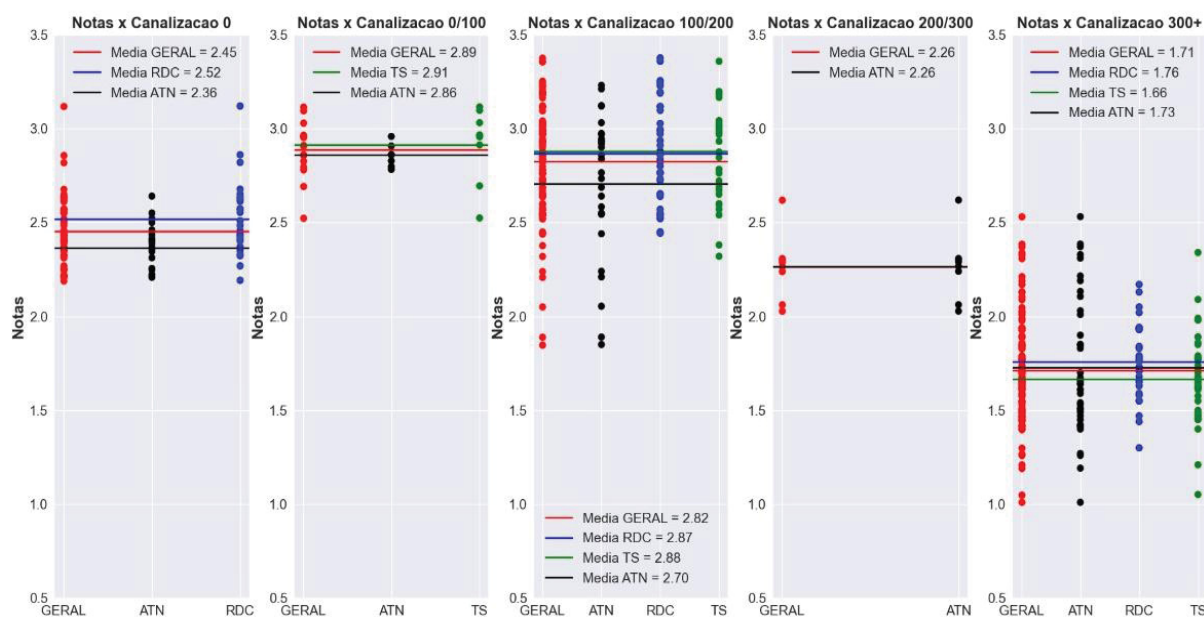


Figura 29 - Notas por altitude vs Canalização



Observa-se que foram verificadas 5 faixas de altitude dos aviões quando captados os áudios, nos quais as 287 notas foram distribuídas, sendo elas: nível 0, do nível 0 ao nível 100, do nível 100 ao nível 200, do nível 200 ao nível 300 e do nível 300 ao nível 400.

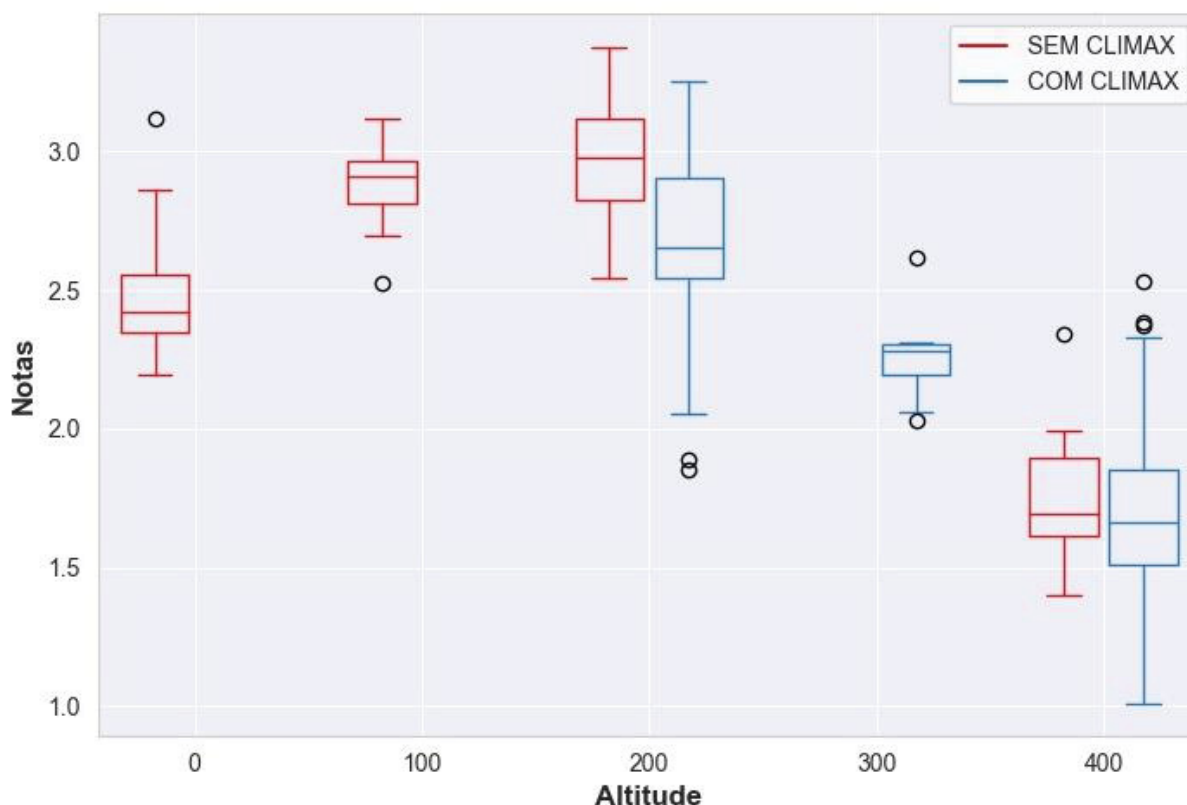
Analisando a Figura 28 é possível verificar que a dispersão de notas no nível 0 tendem a se dispersarem entre o 2,2 e 3,0, do nível 0 ao nível 100 as dispersões de notas tendem a se concentrar entre o 2,5 e 3,1, do nível 100 ao nível 200 dispersões

de notas tendem a se concentrar entre o 1,8 e 3,4, do nível 200 ao nível 300 as dispersões de notas tendem a se concentrar entre o 2,0 e 2,6, já do nível 300 ao nível 400 as dispersões de notas tendem a se concentrar entre o 1,0 e 2,4.

Sendo assim, também se verifica grande dispersão das notas por altitude, o que pode ainda ser constatado, na Figura 29. As degradações são maiores ora em uma canalização ora em outra e os áudios mesmo agrupados em níveis de voos, sofreram com condições climáticas distintas, aeronaves distintas e em voos realizados em dias diferentes.

Logo, para tornar as condições iniciais mais homogêneas buscou-se fazer uma verificação voo a voo.

Figura 30 – Climax vs Altitude



De forma a analisar o efeito do climax nas diferentes altitudes elaborou-se a Figura 30, através de gráfico boxplot com as notas com e sem climax por faixa de altitude. Este tipo de gráfico exclui pontos que estão não conformes com os demais, sendo assim seus limites desconsideram os denominados *outliers*. O retângulo deste gráfico demonstra a limitação entre o primeiro e terceiro quartil, ou seja, onde estão concentrados de 25% a 75% das amostras. Logo, estão agrupadas nesta região 50%

dos valores e a sua divisória horizontal é o segundo quartil ou mediana das notas daquela determinada situação.

Percebe-se que não foram captados áudios em condição de clímax para o nível 0, 1-100 e que não foram captados áudios sem clímax no nível 201-300. Como o intuito é fazer uma comparação da degradação, verifica-se que no nível 101-200 e 301-400 as medianas das notas sem clímax são superiores as medianas das notas com clímax. Calculou-se também as médias destas situações, para o nível 101-200 as notas sem clímax tiveram média de 2,96 e a médias para as notas com clímax foi de 2,68, decréscimo de aproximadamente 10%. Para o nível 301-400 também houve uma maior degradação do áudio para as notas com clímax, sendo 1,71, enquanto a média das notas sem clímax foi de 1,77, decréscimo de aproximadamente 4%.

#### 4.2.5 Notas por voo

A análise por voo é importante para este trabalho, pois fazendo uma verificação específica de cada voo é possível buscar comparações entre as degradações das canalizações, já que existe uma maior homogeneidade no avião utilizado e nível de voo.

Sendo assim, foram elaborados gráficos de dispersão das notas de cada voo, gerando a Figura 31. Sabe-se que os voos 1, 2, 3 e 5 foram realizados pelo CARAVAN, já os voos 4 e 6 pelo GEIV.

Figura 31 - Dispersão notas por voo

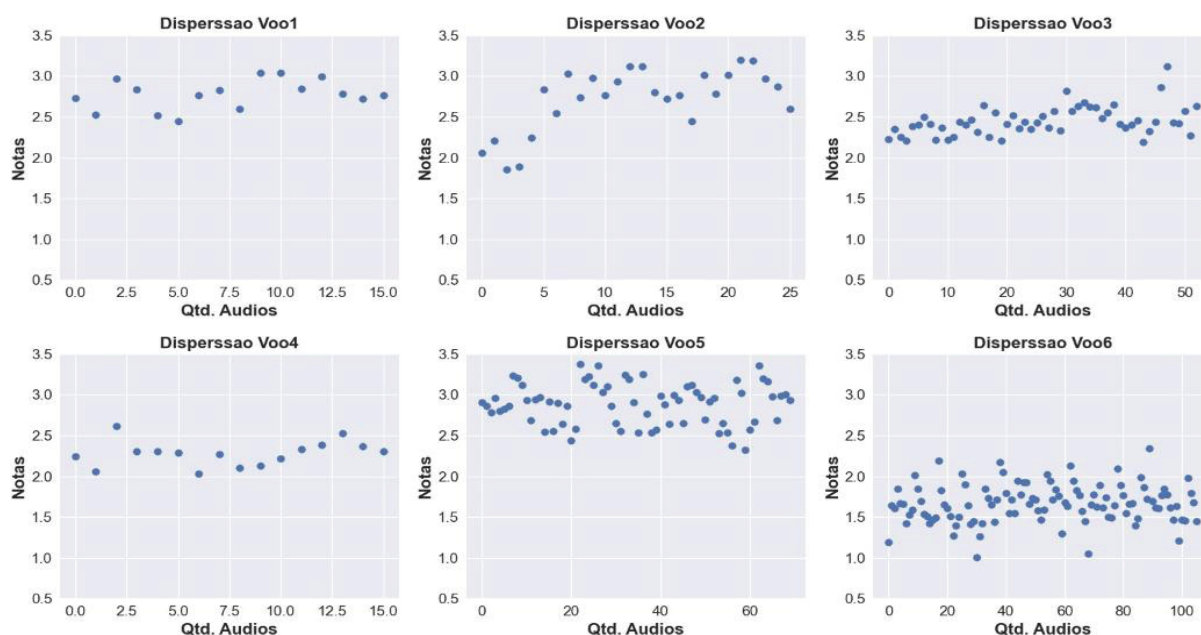
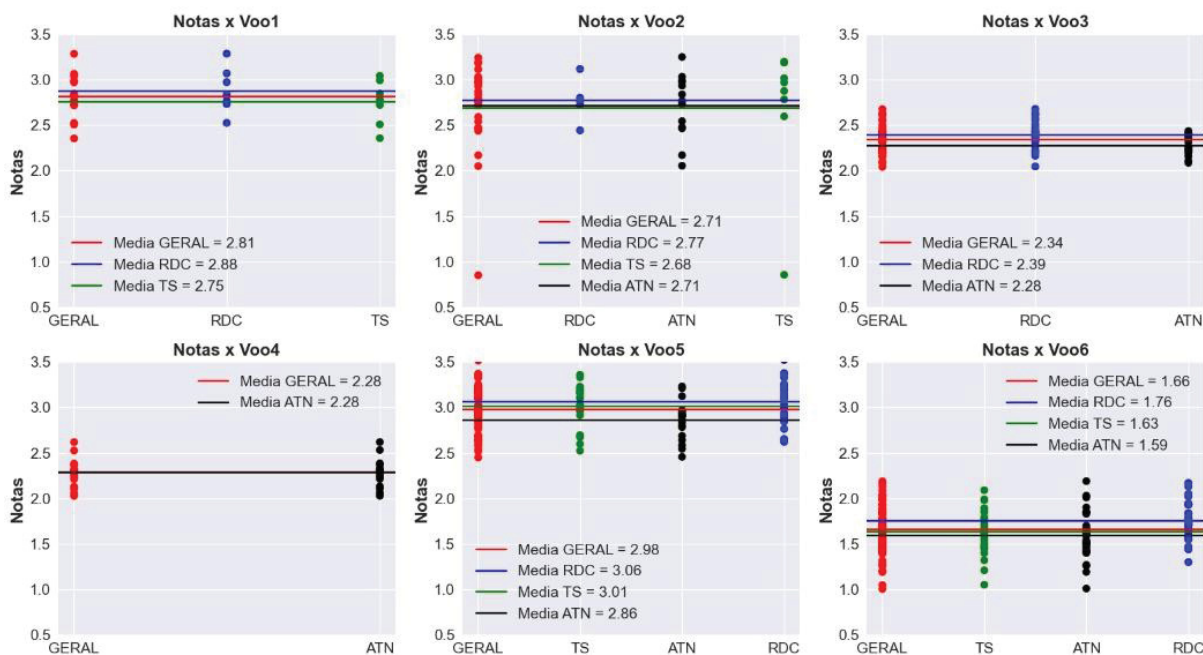


Figura 32 - Notas por voo (Médias por canalização)



Analisando a Figura 32 percebe-se que para condições mais homogêneas podemos fazer uma breve verificação das degradações dos áudios por canalização, ficando a menor degradação quando um áudio é canalizado pela RDC, porém ora a degradação da qualidade do mesmo é maior quando canalizado pela ATN e ora pelo Telesat.

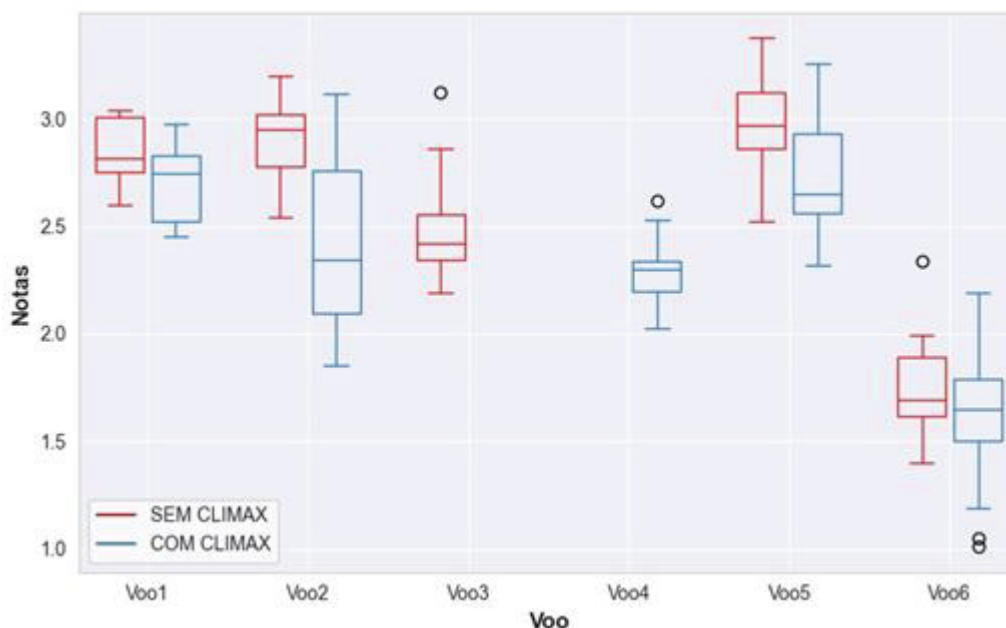
Da figura 31, verificou-se que para alguns voos os dados ainda estavam dispersos, por isso buscou-se ainda uma condição mais homogênea para fazer a comparação das degradações.

Em um voo existem condições diferentes de níveis de altitude, distanciamento das antenas de transmissão, condições meteorológicas e até mesmo de clímax, já que a maioria dos voos duraram de 1 a 3 horas, e que as velocidades podem superar 500 km/h, fazendo com que as condições atmosféricas e climáticas tenham modificações consideráveis, o que pode impactar na qualidade do áudio.

Verifica-se também que num mesmo voo o avião consegue trafegar por diferentes setores da FIR-CW.

Sendo assim, considerou-se importante realizar uma análise ainda mais específica, ou seja, uma verificação das degradações dos áudios por setor dentro de um determinado voo.

Figura 33 - Clímax vs Voo



Com relação ao clímax, foi elaborada a Figura 33 que demonstra as notas sem clímax e com clímax por cada um dos 6 voos. Vale ressaltar que nem todos os voos encontram-se as duas situações, mas quando existiram, as medianas das notas sem clímax foram maiores que as das notas com clímax para um mesmo voo. Para estes casos calculou-se as médias das situações sem e com clímax, sendo que a primeira apresentou maior qualidade nos áudios segundo o PESQ. No voo 1 teve-se a média 2,85 e 2,70, já o voo 2 apresentou 2,91 e 2,41, no voo 5 obteve-se 2,94 e 2,76 e no voo 6 obteve-se 1,77 e 1,66 para as médias sem clímax e médias com clímax, respectivamente.

#### 4.2.6 Notas setor por voo

De forma a diminuir ao máximo possível a heterogeneidade de alguns fatores importantes de degradação de áudio foi feita uma análise mais específica em cada setor que aeronave passou num determinado voo.

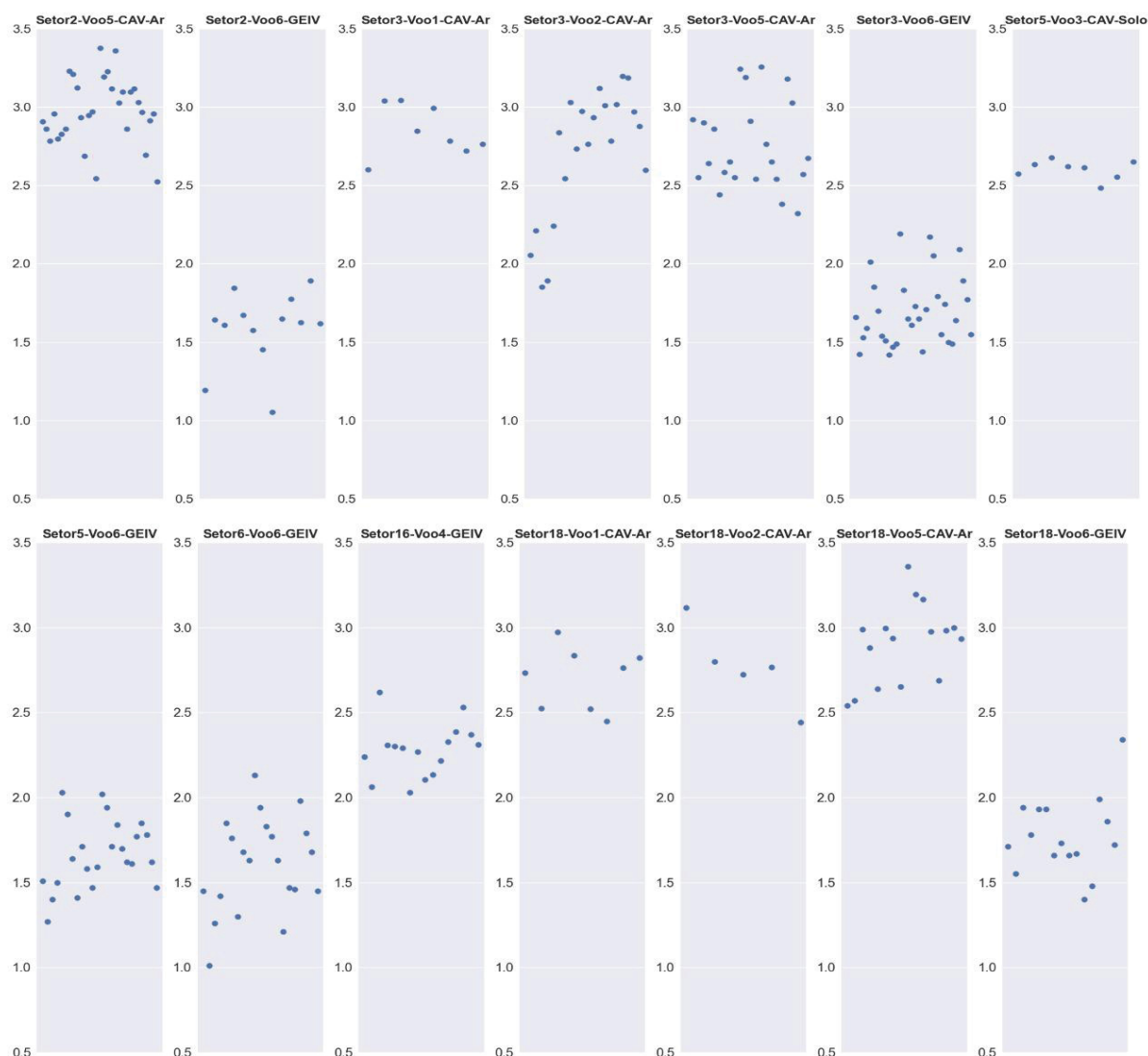
Sabe-se que em um determinado voo a aeronave pode passar por mais de um setor, cada setor abrange uma grande aérea da FIR-CW, podendo até ter condições climáticas distintas de outros setores adjacentes a ele, logo podendo impactar na degradação do áudio de maneira distinta entre eles.

Tendo como premissa que num determinado setor para um determinado voo a aeronave se mantém, as condições climáticas são mais homogêneas, a altitude do avião tende a ser mantida e a distância da aeronave a estação transmissora difere menos que em qualquer uma das situações já analisadas neste projeto, logo considera-se que esta análise é a mais completa e significativa deste trabalho.

Sendo assim, devido as condições relatadas terem maior homogeneidade, será possível verificar as degradações distintas por canalização e compará-las.

Logo, foi elaborada a Figura 34:

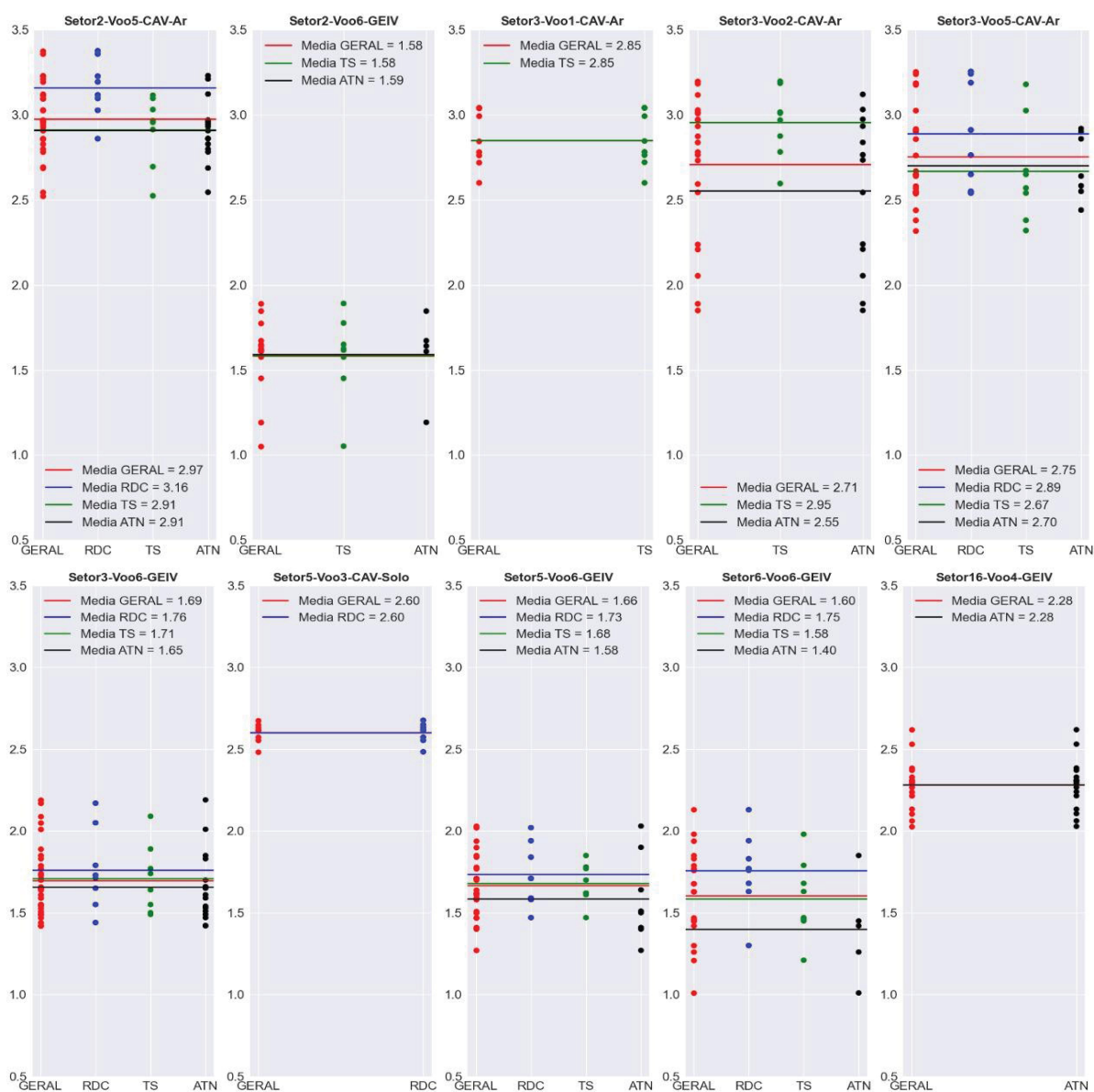
Figura 34 - Dispersão de Notas por setor em cada Voo

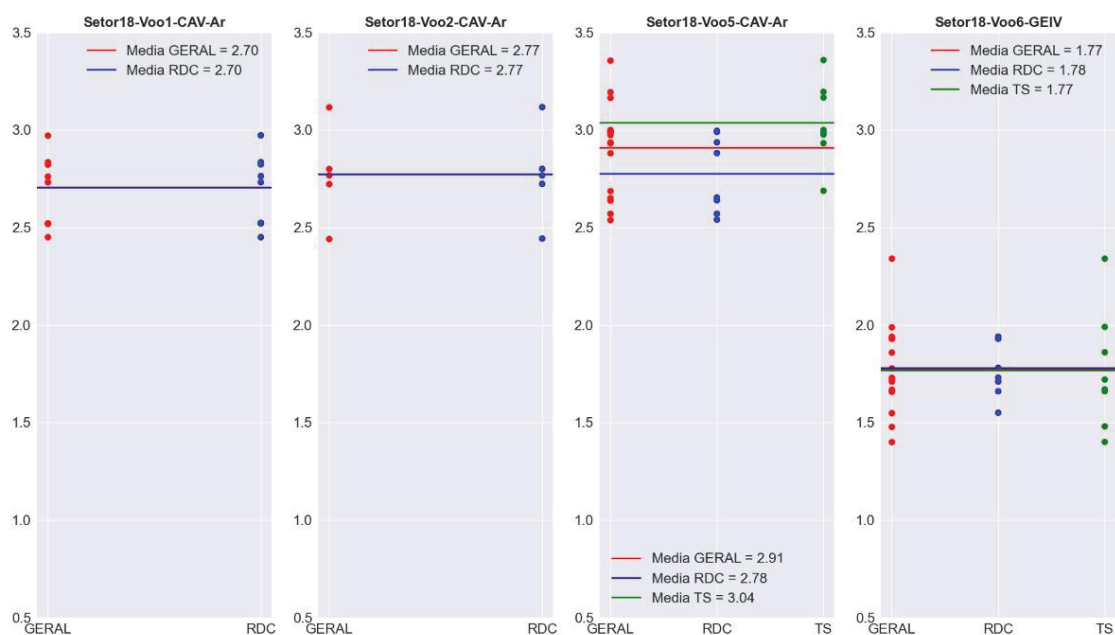


Da Figura 34 é possível aferir que as notas num mesmo setor em cada voo se concentraram numa faixa menor.

Elaborou-se também a Figura 35 que possui como foco as notas x por setor verificadas em cada canalização assim como suas médias.

Figura 35 - Notas X Setor/Voo por Canalização





Observa-se na Figura 34 que as médias por canalização diferem dependendo do setor-voo e aeronave utilizada, assim como as canalizações com menor degradação. Sendo assim, faremos uma verificação mais detalhada de cada uma das situações para fazer uma análise comparativa da degradação por canalização.

Consolidando todas as informações sobre as 14 situações de setor por voo temos a seguinte tabela:

Tabela 6 - Análise completa de notas Setor-Voo

Condição	Avião	Nível de voo	Canalização	Nº de áudios	Nº Est. Trans.	Média
Setor 2 – voo5	Caravan	90 e 110	Geral	31	1	2,97
		110	RDC	8	1	3,15
		90	TS	8	1	2,91
		90 e 110	ATN	15	1	2,91
Setor 2 – voo6	GEIV	350 e 370	Geral	13	2	1,58
		350	TS	8	2	1,58
		370	ATN	5	2	1,59
Setor 3 – voo1	Caravan	110	Geral	8	1	2,85
		110	Ts	8	1	2,85
Setor 3 – voo2	Caravan	110	Geral	21	1 e 2	2,71
		110	TS	8	1	2,95
		110	ATN	8	1	2,87
				5	2	2,05

Setor 3 – voo5	Caravan	90 e 110	Geral	23	2	2,75
		110	RDC	8	2	2,89
		90	TS	8	2	2,67
		90 e 110	ATN	7	2	2,70
Setor 3 – voo6	GEIV	370	Geral	32	2	1,69
		370	RDC	8	2	1,76
		370	TS	8	2	1,71
		370	ATN	16	2	1,65
Setor 5 – voo3	Caravan	0	Geral	53	1	2,45
		0	RDC	30	1	2,52
		0	ATN	23	1	2,36
Setor 5 – voo6	GEIV	370	Geral	24	2 e 3	1,66
		370	RDC	8	2	1,73
		370	TS	8	2	1,68
		370	ATN	8	3	1,58
Setor 6 – voo6	GEIV	370	Geral	21	2 e 3	1,60
		370	RDC	8	3	1,76
		370	TS	8	2	1,58
		370	ATN	5	3	1,40
Setor 16 – voo4	GEIV	278 e 327	Geral	16	2	2,28
		278 e 327	ATN	16	2	2,28
Setor 18 – voo1	Caravan	110	Geral	8	2	2,70
		110	ATN	8	2	2,70
Setor 18 – voo2	Caravan	110	Geral	5	2	2,77
		110	RDC	5	2	2,77
Setor 18 – voo5	Caravan	110	Geral	16	1 e 2	2,91
		110	RDC	8	2	2,78
		110	TS	8	1	3,04
Setor 18 – voo6	GEIV	370	Geral	16	1 e 3	1,77
		370	RDC	8	3	1,77
		370	TS	8	1	1,78

Da Tabela 6 verifica-se 14 diferentes situações de gravação de áudios, cada qual com sua aeronave, nível de voo, número de áudios enviados, número de estações em clímax e média associada a situação. Pode-se observar que não há dados suficientes para chegar à ordem de grandeza quanto a degradação devido ao Clímax, pois sendo essa a situação mais homogênea, seria ideal que pudessem ser realizadas comparações nas notas relacionadas a uma mesma canalização em condições de clímax diferentes.

Tal verificação não foi possível, pois as medições foram realizadas por meio de aproveitamento de voos em missões, ou seja, todas as rotas já estavam definidas e cabia ao estudo levantar as gravações dos áudios degradados nas situações possíveis. Como exemplo, são os voos que se mantiveram em somente uma situação

de clímax, não sendo viável a condução da aeronave para outra situação por meio de modificação de sua rota e/ou altitude.

Contudo, é possível verificar no conjunto de áudios levantados que há degradação devido ao clímax, já que para todas as outras situações demonstradas neste projeto houve um decréscimo da qualidade dos áudios por esta razão.

Ademais, verificou-se na situação “Setor 3-Voo2” que para a canalização ATN, nas condições sem clímax e clímax de duas estações que as médias foram 2,87 e 2,05, respectivamente. Tal fato exemplifica o que se verificou nas análises anteriores, ou seja, as situações de clímax tendem a degradar a comunicação do SMA.

A tabela 6 é apropriada para outro propósito, a comparação da qualidade do áudio nas diferentes redes de canalização.

Primeiramente, percebe-se que algumas situações não contribuem para o propósito desta análise, pois nelas somente um meio de canalização foi utilizado para o envio dos dados. São elas: Setor 3-Voo1, Setor 16- Voo4, Setor 18- Voo1 e Setor 18-Voo2.

Para todas as situações nas quais encontrava-se as 3 redes, Setor 2 – Voo5, Setor 3 – Voo5, Setor3 - Voo6, Setor 5 – Voo6 e Setor 6-Voo6 as médias dos áudios degradados canalizados pela RDC foram maiores que das demais redes e ora a rede ATN-BR teve a segunda maior média ora a rede Telesat.

Para as situações em que os áudios foram canalizados pelas rede ATN-BR e Telesat, Setor2 – Voo6, Setor 3 – Voo 2, a média dos áudios canalizados pelas duas redes ficou bastante aproximada e numa situação a média maior foi dos áudios canalizados pela rede ATN-BR e na outra situação foi da rede Telesat.

Para a situação em que os áudios foram canalizados pelas Rede ATN-BR e RDC, Setor5-Voo3, a média dos áudios canalizados pela RDC foi maior que pela outra rede.

Para as situações em que os áudios foram canalizados pelas Rede Telesat e RDC, Setor 18 – Voo5 e Setor 18 – Voo6, a primeira situação os áudios encaminhados pela rede Telesat tiveram maior média PESQ que os da RDC, contudo os áudios da primeira rede estavam em ambiente sem clímax e os áudios da RDC foram enviados em condição de clímax de duas estações. Para a segunda situação aos áudios da rede Telesat e RDC foram praticamente iguais, porém os áudios da última rede foram enviados em clímax de 3 estações enquanto os canalizados pelo Telesat foram enviados sem clímax.

Logo, de acordo com a amostra de dados (287 áudios captados), foi possível observar que o serviço móvel aeronáutico detém maior qualidade, segundo os parâmetros do PESQ, quando canalizados pela RDC.

## 5 CONCLUSÃO

Utilizando os 287 áudios degradados gravados verificou-se que a qualidade de áudios analisados, segundo o método objetivo PESQ, sem clímax quando comparados com áudios em clímax, é melhor dando uma média de cerca de 25% maior. Houve ainda a possibilidade de aferir a degradação devido ao número de estações transmitindo, o que mostrou degradação maior quanto maior era o número de estações transmitindo pela mesma frequência.

Contudo devido à falta de homogeneidade nas condições dos fatores de degradação (avião utilizado, distância da antena transmissora, nível de voo, condições climáticas na gravação, etc.) foi necessário analisar cada um dos fatores até ser possível encontrar condições menos heterogêneas para a comparação da degradação dos áudios que passam por cada uma das três canalizações (RDC, Telesat e ATN-BR) e analisar, mais especificamente, degradações devido ao clímax.

Com relação a comparação Terra x Ar, ou seja, quando o avião está em voo e quando ele está parado no pátio, pode-se verificar que a média das notas foram bastante próximas. Porém, houve cinco voos com avião em ar em diferentes condições, tendo uma maior dispersão, e somente um “voo” com avião em solo. Para situação “Ar” a média das notas sem clímax foram 26% maior que a média em condições de clímax.

Com relação a comparação da degradação dos áudios devido ao GEIV e ao Caravan, observou-se que a média geral do Caravan foi mais de 50% acima da média do GEIV. Contudo, vale ressaltar que não foi possível gravar áudios no GEIV com interface de áudio apropriada, conforme utilizado no Caravan e que o GEIV voa em níveis bem mais elevados que o Caravan. Em ambas as situações a média das notas sem clímax foram maiores que média em condições de clímax.

Com relação a comparação das notas por altitude, aferiu-se que nos maiores níveis de voo há maior degradação, contudo não é possível uma análise comparativa assertiva da qualidade dos áudios devido ao nível de voo, pois mesmo sendo o mesmo avião, em voos distintos, pode-se ter condições climáticas distintas e um distanciamento da antena transmissora distinto. Para estes casos as notas sem clímax também apresentaram maior média que as com clímax assim como na análise por voo.

Com relação as notas por voo, percebeu-se uma menor dispersão das mesmas devido ao fator climático, avião e nível de voo serem mais homogêneos, porém sabe-se que para um mesmo voo os áudios foram captados em momentos distintos e devido ao diferente distanciamento da antena transmissora as degradações também foram diferentes.

Houve a necessidade de encontrar situações mais homogêneas quanto possível para fazer análise comparativa de degradações por canalização e situação de voo com e sem clímax.

Daí iniciou-se a análise das degradações por setores da FIR-CW em cada voo. Tal situação não deixa os fatores de degradação homogêneos, porém foram as condições menos heterogêneas encontradas nesta dissertação para esta análise.

Logo, da comparação das degradações dos áudios em um determinado setor de um determinado voo foi possível perceber, com o conjunto de áudios analisados, que, na maioria das situações, a menor degradação da qualidade de áudios devido a uma canalização foi da RDC.

Outra conclusão foi que ora a canalização do áudio degradava mais devido ao Telesat e ora devido a canalização ATN. Tal fato pode ser explicado por dois motivos, a rede ATN possui três canalizações distintas, uma rede estatística contratada, uma rede determinística contratada e uma rede satelital, logo o serviço teria diferentes degradações devido às diferentes redes que era canalizado. O outro motivo consiste que os áudios foram canalizados por uma rede ATN ainda em fase de teste e não entregue integralmente para operação.

Espera-se que os áudios que são canalizados pela rede determinística da rede ATN-BR degradem de maneira semelhante a canalização da RDC. No caso dos áudios serem canalizados pela rede estatística, teríamos diferentes situações de degradação devido ao estado da rede no momento da gravação do áudio.

Todavia, a rede ATN pode utilizar configurações de qualidade de serviço, seleção de múltiplos caminhos, ou outras abordagens de engenharia de tráfego que permitam obter qualidade igual ou superior às outras canalizações, além de trazer maior flexibilidade de gerenciamento e operação, o que poderá ser analisado no momento em que ela estiver completamente entregue à operação.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se como trabalho futuro a introdução de análise de qualidade de áudio automática do SMA do Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, de forma a verificar a degradação imposta pela canalização utilizada e clímax associado, através da utilização de modelos objetivos de aferição de qualidade de áudio.

Outro projeto interessante seria análise da qualidade de áudio na rede ATN-BR já entregue definitivamente à operação, de forma que também fossem analisadas as degradações devido a cada meio de canalização utilizado por esta rede.

Também seria importante elaborar estudos com áudios sendo enviados por um mesmo meio de canalização no mesmo setor e voo em condições de 1, 2 e 3 estações transmitindo. Desta forma, as notas ficariam ainda mais homogêneas e a análise da degradação devido ao clímax teria menos dispersão.

A segurança em rede ATN também retrata uma necessidade atual.

## REFERÊNCIAS

- Alam, A. S.; Hu, Y. F.; Pillai, P.; XU, K.; Baddoo, J.. Optimal Datalink Selection for Future Aeronautical Telecommunication Networks. IEEE, 2017.
- Badinelli, M.; Cushman, A., e Randazzo, P. Feasibility of Using Offset Carrier Systems on Very High Frequency Air/Ground Voice Channels. Documento técnico OOT/FAA/CT-TN89/71. Atlantic City International Airport, 1990.
- CGNA, Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo 2020, CGNA, 2020.
- DECEA, DCA 102-1 Requisitos básicos das redes de comunicações do COMAER, DECEA, 2011.
- DECEA. Regiões de informação de voo. [www.decea.gov.br](http://www.decea.gov.br), 2016.
- Falk, T. H.; Parsa, V.; Santos, J.F.; Arehart, K.; Hazrati, O.; Huber, R., Kates, J.M.; Scollie, S. Objective Quality and Intelligibility Prediction for Users of Assistive Listening Devices. IEEE Signal Processing Magazine, 2015.
- Feitosa, F. B. Telecomunicações Aeronáuticas: natureza jurídica, regime regulatório e formas de delegação. Law, State and Telecommunications Review, 2013.
- Frigotto, R.; Pohl, A. Análise da Qualidade de Áudio no Serviço Móvel Aeronáutico. Anais de XXXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais, 2018.
- Frigotto, R. Análise da Qualidade de Áudio no Serviço Móvel Aeronáutico. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2018.
- ICAO, Manual on the ATN using IPS Standards and Protocols (Doc 9896). ICAO, 2011.
- ICAO, Annex-10 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Telecommunications, Volume III Communication Systems, ICAO, 2007.
- ITU. ITU-T Rec. G.729 - Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP). ITU, 2012.
- ITU. ITU-T Rec. P.800 - Methods for Subjective Determination of Transmission Quality. Geneva, 1996.
- ITU. ITU-T Rec. P.862 - Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. ITU, 2001.
- ITU. ITU-T Rec. G.711 Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies. ITU, 1993.
- ITU. ITU-T Recommendation P.861, Objective quality measurement of telephone-band speech codecs. ITU, 1996.

- ITU. ITU-T Rec. P.563 - Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications, 1996. ITU. 2004.
- Moller, S.; Koester, F.; Cercos-Llombart, V.; Mittag, V. Non-intrusive estimation model for the speech-quality dimension loudness. ITG-Fachbericht 267: Speech Communication, 2016.
- Mrvova, M.; Pocta, P. Quality estimation of synthesized speech transmitted over ip channel using genetic programming approach. In: The International Conference on Digital Technologies 2013.
- Počta,P; Holub, J. Predicting the Quality of Synthesized and Natural Speech Impaired by Packet Loss and Coding Using PESQ and P.563 Models, in Acta Acustica united with Acustica. Slovaquia and Prague, 2011.
- Revista CISCEA News, ATN-Br, uma evolução da rede de comunicações operacionais do SISCEAB. CISCEA, 2018.
- Rossi, D. S. Z. Modelo de Uso dos Canais de Comunicação do Controle de Tráfego Aéreo. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2015.
- Salehi, V. P. H. Nonintrusive speech quality estimation based on perceptual linear prediction. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Canadá, 2016.
- Sernagiotto, M. A.; Rosset, V., Nascimento, M.C.V. Seleção de Redes Heterogêneas no Contexto da ATN-BR. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA, 2018.
- Signore, T. L., e Girard, M. Aeronautical Telecommunication Network (ATN). Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM, 1998.
- Mahmoud M.S.B; Pirovano, A; Larrieu, N. Aeronautical communication transition from analog to digital data: A network security survey. Computer Science Review 11–12, 2014.
- Sousa, F. F. R. DE; Sousa, S. B. DE. Análise dos sistemas computacionais críticos utilizados no controle de tráfego aéreo brasileiro. Revista Brasileira de Computação. Aplicada, 2016.
- Storm, A. Speech Quality Investigation using PESQ in a simulated Climax system for ATM. Luleå University of Technology, 2007.
- Sun, L.; Ifeachor, E. C. Perceived speech quality prediction for voice over ip-based networks. IEEE International Conference on, Plymouth, 2002.
- Valente, J.R. Migração da Tecnologia SDH para (IP) MPLS. Universidade da Madeira, 2019.