

JULIANA MARIA ARAUJO CALDEIRA

**Inteligibilidade de fala de usuários de implante coclear
na situação de pilotos de helicóptero**

Tese apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Ciências

Programa de Otorrinolaringologia

Orientador: Prof. Dr. Ricardo
Ferreira Bento

**São Paulo
2017**

Ao meu pai, José Guilherme, pelo apoio e participação em todas minhas conquistas e minha mãe, Maria Goreti (in memoriam), minha estrela guia, meu anjo protetor, pelo amor incondicional traduzido em esforço para minha formação.

Ao meu irmão Guilherme Caldeira, meu amigo de todas as horas.

Ao meu marido-professor Bira, pelo estímulo, paciência, exemplo e companheirismo.

À minha filha Mariana, pela presença marcada na minha vida logo no início deste projeto, por me propiciar força, coragem e a maior felicidade do mundo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ricardo Ferreira Bento, orientador desta tese, agradeço pela oportunidade, confiança e pelas orientações neste trabalho.

À Prof. Dra. Maria Valéria Schmidt Gomez Goffi, orientadora e maior incentivadora deste projeto, agradeço pelo acolhimento, pela imensa dedicação em me ajudar e por vibrar comigo em todas as etapas desta tese.

Ao Prof. Dr. Rui *Imamura*, *exemplo de competência e conhecimento na área da pesquisa pela colaboração na estatística deste trabalho e pelas orientações no exame de qualificação.*

Ao Prof. Dr. Robinson *Koji* Tsuji, idealizador deste projeto, pelos ensinamentos ministrados em aulas e valiosas sugestões direcionadas à minha pesquisa *no exame de qualificação.*

Ao Prof. Dr. Luiz Ubirajara Sennes, responsável pelo programa de pós-graduação da disciplina de otorrinolaringologia da FMUSP, pelas correções e por pensar junto comigo em todas as etapas deste trabalho.

Ao comandante Jorge Bitar, diretor da empresa de táxi aéreo Helimarte, pelo empreendedorismo, apoio à pesquisa, que gentilmente abriu as portas da Helimarte e disponibilizou o helicóptero para a realização dos testes, derrubando todas as barreiras logísticas para execução deste trabalho.

Aos meus chefes superiores hierárquicos na Aeronáutica, Brig Jordão, Cel Eliezar, Cel Bittencourt, Cel Sidney, Cel Nakano, Cel Mesquita e Cel Oliveira pela confiança e apoio neste projeto, em especial Cel Kanashiro exemplo de notório saber na área de medicina aeroespacial, agradeço pelo incentivo neste trabalho.

Ao Ten Cel Almeida, então Chefe da Divisão de Sistemas Aeronáuticos - IAE/DCTA que autorizou a pesquisa naquela instituição e me ajudou no desenvolvimento do projeto piloto desta tese.

Ao Cel Adalberto, chefe do Seripa IV pela receptividade, interesse no assunto e pelo fornecimento de dados estatísticos relevantes para este trabalho.

Aos funcionários e pilotos da Helimarte, especialmente Guilherme, pilotos Aline, Guilherme e Samuel, por me ajudarem infinitamente na operacionalização do trabalho no hangar da empresa.

Ao engenheiro Marcos Antônio Ribeiro e analista de sistemas Jana D"Arc Abdalla Alonso do IAE, pela disponibilidade e pronta ajuda sempre que solicitada no projeto piloto, sem o qual este estudo não teria seguimento.

Aos responsáveis técnicos da empresa Marte Updates & Avionics, Paulinho e Eduardo, por desmistificarem assuntos técnicos, pela disponibilidade, e por desenvolverem as adaptações necessárias nos equipamentos de radiofonia.

Aos voluntários usuários de implante coclear e pilotos desta pesquisa, sem os quais nada teria acontecido, pela paciência, prontidão e confiança.

Aos meus eternos amigos do Hospital Central da Aeronáutica, Cel Kleber, Maj Hélius e Maj Augusto, pelo incentivo constante de crescimento profissional.

Aos meus colegas militares do HFASP por fazerem parte da minha jornada e estarem sempre solícitos em me ajudar em prol a este projeto.

À secretária Marileide pelas lembranças frente aos prazos e ajuda nos procedimentos burocráticos desta empreitada.

À minha funcionária Ana Maria e minha sogra Neusa pela prontidão e cuidado com meu bem maior, minha filha, me disponibilizando tempo e concentração para o desenvolvimento desta tese.

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 OBJETIVOS.....	23
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	25
3.1 Critérios auditivos para pilotos da aviação civil.....	25
3.1.1 Critérios sugeridos pela ICAO.....	25
3.1.2 Certificação médica na aviação civil nos Estados Unidos.....	26
3.1.3 Certificação médica na aviação civil no Brasil.....	27
3.1.4 Uso de aparelho de amplificação sonora individual na aviação civil.....	29
3.1.5 Audição monoaural na aviação civil.....	30
3.1.6 Teste de inteligibilidade no ruído.....	30
3.2 Inteligibilidade dos usuários de implante coclear.....	32
3.3 Perda auditiva em pilotos.....	38
3.4 Fones de ouvido com sistema de supressão de ruídos.....	39
3.5 Consequências da falha de entendimento na aviação civil.....	41
3.6 Comunicação por enlace de dados controlador-piloto (CPDLC).....	43
4. MÉTODOS.....	47
4.1 Aprovação na comissão de ética.....	47
4.2 Desenho do estudo e casuística.....	47
4.3 Testes de inteligibilidade.....	50
4.4 Sistema de transmissão da gravação.....	51
4.5 Sistema de recepção no helicóptero.....	51
4.6 Padronização dos fones de ouvido e do sistema de conexão direta à aeronave.....	52

4.7 Testes no helicóptero desligado.....	54
4.8 Testes no helicóptero ligado.....	54
4.8.1 Teste com fone sem supressão de ruído.....	55
4.8.2 Teste com fone com supressão de ruído.....	55
4.8.3 Teste com conexão direta implantado/sistema de rádio.....	55
4.9 Revisão das fichas com implantados e pilotos.....	56
4.10 Correção dos testes de inteligibilidade.....	56
4.11 Análise estatística.....	56
5. RESULTADOS.....	59
6. DISCUSSÃO.....	66
6.1 Discussão da casuística.....	66
6.2 Testes de inteligibilidade.....	68
6.3 Correção dos testes e análise estatística.....	69
6.4 Análise dos resultados.....	70
6.5 Teste de interferência do <i>squelch</i>.....	73
6.6 Considerações finais.....	74
7. CONCLUSÕES.....	77
8. ANEXOS.....	79
8.1 Anexo A – Aprovação CAPPesq.....	79
8.2 Anexo B – Modelo das folhas de respostas.....	81
8.3 Anexo C – Listas de sentenças.....	82
8.4 Anexo D – Listas de números palavras.....	85
9. REFERÊNCIAS.....	87
10. APÊNDICE	

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASI	aparelho de amplificação sonora individual
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CAPPesq	Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
<i>CFR</i>	<i>Code of Federal Regulations</i>
CMA	certificado médico aeronáutico
<i>CPDLC</i>	<i>controller pilot data-link communications</i>
<i>CROS</i>	<i>Contralateral Routing Signal</i>
<i>DECEA</i>	<i>Departamento de Controle do Espaço Aéreo</i>
ICAO	Organização Internacional da Aviação Civil
IRF	índice de reconhecimento da fala
IS	instrução suplementar
RBAC	<i>Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil</i>
<i>FAA</i>	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
<i>FDA</i>	<i>Food and Drug Administration</i>
HC-FMUSP Paulo	Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
IC	implante coclear
LAeq	nível sonoro contínuo equivalente ponderado A
MCA	manual do Comando da Aeronáutica

PBL	piloto de balão livre
PC	piloto comercial
PLA	piloto de linha aérea
PP	piloto privado
PP-IFR	piloto privado com habilitação para voo por instrumentos
S/R	relação sinal ruído
<i>SRT</i>	<i>speech reception threshold</i>
<i>VHF</i>	<i>very high frequency</i>
1º/8º G Av	Primeiro Esquadrão do Oitavo Grupo de Aviação

LISTA DE SÍMBOLOS

dB	decibel
Hz	hertz
KHz	quilohertz
%	percentual
<	menor que
+	mais
-	menos
°	grau
=	igual a

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios auditivos para pilotos da aviação civil.....	26
Quadro 2 – Critérios auditivos para pilotos da aviação civil nos EUA.....	27
Quadro 3 - Critérios auditivos para pilotos da aviação civil no Brasil.....	29

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Supressão de ruídos pelo fone de ouvido. (A) Atenuação passiva (azul); (B) Atenuação ativa (verde) associada à atenuação passiva (azul).....40
- Figura 2** – Helicóptero Esquilo.....49
- Figura 3**- Rádio *VHF* de frequências aeronáuticas IC- A14.....51
- Figura 4**- (A) Cabo com adaptador para conexão direta entre o sistema de rádio da aeronave e (B) o plug de áudio de telefone do implante coclear.....52
- Figura 5** Teste na cabine de audiometria para validação do modelo de bola de isopor oca para medir a intensidade sonora emitida pelos fones de ouvido. (A) Microfone do decibelímetro no interior da bola oca de isopor com dois orifícios laterais que simulava uma cabeça com as orelhas, onde foram posicionados os fones de ouvido do tipo concha. (B) Microfone colocado entre os fones.....53
- Figura 6** – Teste dos cabos com adaptador para o sistema de conexão direta entre o implante e a aeronave. Microfone do decibelímetro no interior de uma bola oca de isopor com dois orifícios que simulam uma cabeça com as orelhas onde foram posicionados fones de ouvido do tipo *plug*.....54
- Figura 7** - *Intercom* portátil PA-400ST.....74

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Média dos resultados, em percentual de índice de reconhecimento da fala, dos controles e dos usuários de IC na cabine de audiometria e no helicóptero ligado.....59
- Gráfico 2** - Performance dos 12 voluntários usuários de IC nos testes de inteligibilidade para frases, números e dissílabos em cada situação testada: audiometria, helicóptero desligado e helicóptero ligado.....60
- Gráfico 3** - Reconhecimento das frases nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.....61
- Gráfico 4** - Reconhecimento dos números nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.....62
- Gráfico 5** - Reconhecimento dos dissilábicos nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.....63
- Gráfico 6** - Índice de reconhecimento da fala de pilotos (controles) e implantados para dissílabos na audiometria e no helicóptero ligado, sendo que nessa última situação os usuários de implante coclear usaram a conexão direta.....64
- Gráfico 7** - Média do índice de reconhecimento das frases, números e dissilábicos dos usuários de implante coclear nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.....70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da casuística.....48

Tabela 2 - Resultados em teste de inteligibilidade, em percentual de acertos, de usuário de IC com *squelch* aberto e fechado.....74

RESUMO

Caldeira JMA. *Inteligibilidade de fala de usuários de implante coclear na situação de pilotos de helicóptero* [Tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2017.

Introdução: Apesar do usuário de implante coclear (IC) apresentar limiares tonais audiométricos compatíveis com os critérios exigidos para pilotos à obtenção do certificado médico aeronáutico (CMA), a inteligibilidade da fala via rádio no ambiente de ruído da aeronave pode não ser suficiente para uma boa comunicação. As regras de aptidão para o CMA de pilotos de 1ª classe constam no manual da Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO): devem escutar em cada um dos ouvidos separadamente, até 35 dB NA nas frequências de 500, 1 000 e 2 000 Hz, e até 50 dB NA em 3 000 Hz. Pilotos também podem ser aprovados em teste de inteligibilidade no ruído com exigência mínima de acerto de 80% das palavras foneticamente equilibradas. **Objetivos:** (1) avaliar se implantados, que atingem limiares tonais exigidos pela ICAO, tem inteligibilidade da fala suficiente para comunicação via rádio, na situação de ruído da cabine do helicóptero; (2) avaliar se recursos de atenuação de ruído otimizam a inteligibilidade da fala de usuários de IC; (3) avaliar se a comunicação pelo rádio prejudica a inteligibilidade de usuários de IC. **Métodos:** Foi avaliada a performance em testes de inteligibilidade de 12 usuários de IC com surdez pós-lingual, que preencheram os critérios audiométricos da ICAO, e de 3 pilotos normo-ouvintes (controles). Realizamos testes com sentenças, números e dissílabos em diferentes situações: no silêncio da cabine audiométrica, no helicóptero desligado (testes via rádio), no helicóptero ligado sem e com ativação do sistema antirruído do fone e no helicóptero ligado através da conexão direta do processador de fala do IC ao sistema de rádio da aeronave. **Resultados:** Observamos diferenças significativas para todos os testes realizados quando comparamos as respostas no silêncio e na situação de ruído com o helicóptero ligado. Ao reduzirmos a exposição de ruído, ativando o sistema antirruído do fone, observamos melhora significativa apenas para as frases. Já quando reduzimos ao máximo a exposição ao ruído pela conexão direta via cabo entre o implante e o sistema de rádio da aeronave, houve melhora significativa nos resultados para números e dissílabos. Houve piora significativa nos testes com dissílabos na situação do helicóptero desligado (rádio) em relação à cabine audiométrica. **Conclusões:** Os usuários de IC não alcançaram níveis de inteligibilidade de fala compatíveis com os requisitos auditivos para pilotos da aviação civil nos testes realizados no helicóptero. Os recursos de atenuação de ruído propostos auxiliaram na inteligibilidade de fala dos usuários de IC. A comunicação pelo rádio interferiu de forma significativa na inteligibilidade dos usuários de IC.

Descritores: 1.Implante coclear 2.Medicina aeroespacial 3.Aeronaves 4.Perda auditiva 5.Pilotos 6.Inteligibilidade da fala

ABSTRACT

Caldeira JMA. *Speech recognition of cochlear implant users at the situation of helicopter pilots* [Thesis]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2017.

Introduction: Although the cochlear implant (CI) user meets audiometric thresholds for the criteria required for pilots, the speech recognition through the radio in the aircraft noise condition may not be sufficient for good communication. Rules for 1st class pilots are given in the International Civil Aviation Organization (ICAO) manual: they must hear in each ear separately, up to 35 dB NA at 500, 1 000 and 2 000 Hz, and up to 50 dB NA at 3 000 Hz. Pilots can also be fit if they understand at least 80% of the phonetically balanced words against a background noise. **Objectives:** (1) to assess if CI users, who reach thresholds required by the ICAO also achieve speech recognition levels good for radio communication in the noise situation of the helicopter cockpit; (2) to evaluate if noise attenuation features optimize the speech recognition of CI users; (3) evaluate whether radio communication affects the speech recognition of CI users. **Methods:** We evaluated the performance of 12 CI users with post-lingual deafness, who met ICAO audiometric criteria, and three normal hearing (control) pilots in intelligibility tests. We performed tests with sentences, numbers and disyllables in different situations: in the quiet (sound proof booth), in the helicopter with the engine off (radio tests), in the helicopter with the engine running, without and with activation of the anti-noise system of the headphones and in the helicopter (engine turned on) through the direct connection of the speech processor of the CI to the aircraft's radio system. **Results:** We observed significant differences for all tests performed when we compared scores in quiet and in the noisy environment of the helicopter with engine turned on. When the noise exposure was reduced by activating the headphones anti-noise system, we observed significant improvement only for the sentences. We found a significant improvement in the results for numbers and disyllables when we reduced the exposure to noise by the direct cable connection between the CI and the aircraft radio system. We also observed a significant worsening in the disyllabic speech perception in the helicopter even with the engine off (quiet). **Conclusions:** In the helicopter environment, CI subjects did not achieve levels of speech recognition requirements for civil aviation pilots. The proposed noise attenuation features offered improvement for speech recognition of CI users. Radio communication significantly interfered with speech recognition in CI users.

Descriptors: 1. Cochlear implants 2. Aerospace medicine 3. Aircraft 4. Hearing loss 5. Pilots 6. Speech intelligibility

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A boa inteligibilidade da fala e a comunicação são elementos fundamentais para a segurança da aviação. Desta forma, os pilotos tem que periodicamente realizar exames auditivos periciais juntamente com diversas avaliações de saúde para que recebam a licença de voo, ou seja, o certificado médico aeronáutico (CMA).

As regras básicas de saúde de aptidão para o CMA constam no manual da Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO), porém as autoridades reguladoras de aviação de cada país têm autonomia na elaboração de seus próprios requisitos. Os critérios são estabelecidos de acordo com a classe à qual pertence o piloto: 1ª classe - piloto de linha área, piloto comercial e piloto privado com uso de instrumento - e 2ª classe - piloto privado, piloto de planador e piloto de balão livre (ICAO, 2012).

De acordo com a ICAO (2012), os requisitos auditivos para os pilotos de 1ª classe são: não ter uma perda de audição, em qualquer um dos ouvidos separadamente, de mais de 35 dB NA nas frequências de 500, 1 000 e 2 000 Hz, ou mais de 50 dB NA em 3 000 Hz. Um piloto com perda auditiva maior pode ser aprovado em teste de discriminação com ruído de fundo que simule as propriedades da cabine de voo, ou através de um voo prático na aeronave para a qual a licença está sendo solicitada. No material de fala para o teste de discriminação, palavras foneticamente equilibradas com exigência mínima de acerto de 80%, assim como frases relevantes para a aviação são utilizadas. Os pilotos de 2ª classe também devem alcançar os limiares audiométricos descritos para pilotos de 1ª classe. Também poderão ser aprovados se, em ambiente silencioso, forem capazes de ouvir uma conversação, na intensidade média da voz, usando as duas orelhas e de costas a 2 metros do examinador. Se o candidato a piloto de 2ª classe não preencher estes dois requisitos poderá ainda ser aprovado no teste de inteligibilidade da fala no ruído da aeronave (ICAO, 2012).

A legislação brasileira estabelece de acordo com a ICAO os mesmos critérios auditivos. Todavia, para revalidação do CMA no Brasil, os pilotos podem preencher os critérios audiométricos em apenas uma das orelhas (RBAC 67, 2011). Na realidade, algumas legislações são mais flexíveis. Nos EUA (U.S.14 CFR, 1996), por exemplo, existe a possibilidade de se aprovar um piloto, independente da classe, que de costas

consiga escutar a uma distância de 2 metros do examinador, ou ainda que apresente 70% de acertos em teste de discriminação da fala no ruído, mesmo apenas com uma das orelhas. Candidatos com surdez bilateral também podem receber autorização para pilotar, restrita em áreas em que a comunicação de rádio não seja necessária (FAA, 2016).

A alta incidência de disacusia em pilotos da aviação civil é muito discutida na literatura (Buckey *et al.*, 2001; Wagstaff; Arva, 2009; Mesquita *et al.*, 2013). Estes profissionais, com experiência e inúmeras horas de voo, podem sofrer perda auditiva em determinada fase de sua carreira e o alto custo na formação e a experiência de voo são fatores que justificam a tentativa de reabilitação auditiva de pilotos para mantê-los em atividade.

O implante coclear (IC) é atualmente o equipamento de reabilitação auditiva padrão para perda auditiva neurosensorial de grau profundo bilateral (Bento *et al.*, 2004; Yamaguchi; Gomez, 2009; Wimmer *et al.*, 2015). Esse dispositivo eletrônico transforma a estimulação sonora em sinais elétricos que excitam diretamente as fibras nervosas remanescentes da cóclea e que, via nervo auditivo, são conduzidos para serem decodificados pelo córtex cerebral (Buckey *et al.*, 2001). Nos últimos anos as indicações de implante tem se ampliado e pacientes com surdez unilateral também tem sido implantados (Sampaio *et al.*, 2011; Arndt *et al.*, 2011; Mertens *et al.*, 2015; Grossmann *et al.*, 2016; Hoth *et al.*, 2016; Sladen *et al.*, 2017).

Dessa forma, pilotos com perda auditiva também podem ser reabilitados com o implante coclear. Porém, ainda não existe regulamentação que determine a possibilidade de continuarem atuando na aviação civil. A primeira limitação para um implantado atuar no posto de pilotagem, é a possibilidade de interferência entre o implante e os instrumentos de voo e segurança da aeronave, e vice-versa. Isto porque no implante a transmissão do estímulo sonoro envolve radiofrequência e a fixação do componente externo do IC é feita por um dispositivo magnético (Albernaz, 1996). O informativo da *Federal Aviation Administration* (FAA, 2012), órgão que regula a aviação nos Estados Unidos, esclarece que, diante da popularidade do IC, seu uso é permitido para os passageiros durante todas as operações do voo. Entretanto, ainda não existem referências que normatizem seu uso nas cabines das aeronaves.

Desta forma, realizamos um estudo piloto com o objetivo de avaliar a compatibilidade eletromagnética entre um usuário de IC bilateral no posto de pilotagem

e os instrumentos de voo da aeronave Brasília - C-97 FAB 2014 – (Caldeira *et al.*, 2014). Uma vez demonstrada que não houve interferência no estudo realizado, a presença de um implantado na cabine de voo passa a ser considerada viável.

Todavia, apesar do usuário de IC alcançar limiares audiométricos compatíveis com os critérios exigidos para pilotos, a inteligibilidade através da radiofonia no ambiente de ruído da aeronave pode não ser suficiente para uma boa comunicação. A inteligibilidade da fala ainda é um desafio a ser superado por usuários de implante coclear, principalmente quando expostos a ruído (Müller *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2009; Wolfe *et al.*, 2015). Entretanto, estudos tem demonstrado um aumento considerável na percepção da fala desde que a aprovação do implante coclear pela agência americana *Food and Drug Administration (FDA)* foi concedida em 1984. O melhor desempenho se deve a uma série de fatores, incluindo a evolução da tecnologia do IC, das estratégias de codificação da fala e pelo fato de que indivíduos com resíduos de audição cada vez maiores estão recebendo o implante coclear (Gifford *et al.*, 2008).

Portanto resta conhecer a performance auditiva do usuário de implante coclear em teste de inteligibilidade através do rádio na situação de ruído do voo.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

1. Identificar se usuários de implante coclear (IC) atingem níveis de inteligibilidade de fala compatíveis com os requisitos auditivos para pilotos da aviação civil na situação de ruído da cabine do helicóptero.

2. Avaliar se os recursos de redução de ruído propostos, na situação de ruído da cabine do helicóptero, auxiliam na inteligibilidade da fala de usuários de IC:

- Ativação do sistema de supressão do ruído do fone
- Sistema de conexão direta do processador de fala ao rádio

3. Avaliar se a comunicação pelo rádio por si só já piora a inteligibilidade de usuários de IC.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.7 Critérios auditivos para pilotos da aviação civil

3.7.1 Critérios sugeridos pela Organização Internacional da Aviação Civil – ICAO

Os requisitos básicos para a certificação médica dos profissionais da aviação civil constam no manual da Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO), que foi criado com a finalidade de orientação médica envolvendo os fatores humanos da aviação. Não possui caráter regulatório, pois cada país tem autonomia na elaboração de sua regulamentação oficial. Os critérios são estabelecidos de acordo com a classe à qual pertence o piloto (Quadro 1): 1ª classe - piloto de linha área, piloto comercial e piloto privado com uso de instrumento - e 2ª classe - piloto privado, piloto de planador e piloto de balão livre (ICAO, 2012).

Os requisitos auditivos para os pilotos de 1ª classe quando testados em um audiômetro de tom puro são: não devem ter uma perda de audição, em qualquer um dos ouvidos separadamente, de mais de 35 dB NA, em qualquer das frequências de 500 , 1000 ou 2000 Hz ; ou mais de 50 dB NA em 3000 Hz . Um candidato com uma perda auditiva maior que o descrito poderá ser aprovado, desde que tenha desempenho da audição normal em teste de discriminação com ruído de fundo, que simule as propriedades da cabine de voo (representante do ruído da cabine de comando do tipo de aeronave para a qual a licença está sendo validada). No material de fala para o teste de discriminação, tanto as frases relevantes para a aviação quanto palavras foneticamente equilibradas são normalmente utilizadas (ICAO, 2012).

Os pilotos de 2ª classe também devem preencher os requisitos audiométricos citados anteriormente para pilotos de 1ª classe. Também poderão ser aprovados se forem capazes de ouvir uma conversação, na intensidade média da voz, usando as duas orelhas e de costas a 2 metros do examinador em uma sala silenciosa. A sala silenciosa é aquela onde a intensidade do ruído de fundo é inferior a 35 dB(A); a voz de

conversação média é aquela com intensidade de 60 dB A a 1 metro da fonte locutora. No exame a 2 metros de distância, a intensidade sonora deve ser acrescida de 6 dB A. Se o candidato a piloto de 2ª classe não preencher estes dois requisitos poderá ainda ser aprovado no teste de inteligibilidade da fala no ruído da aeronave (ICAO, 2012).

Quadro 1 - Critérios auditivos para pilotos da aviação civil.

<i>1ª CLASSE</i>	<i>2ª CLASSE</i>
Limiar até 35 dB NA em 500 Hz a 2000Hz e 50 dB NA em 3000Hz ou	Limiar até 35 dB NA em 500 Hz a 2000Hz e 50 dB NA em 3000Hz ou
Teste de discriminação com ruído de fundo do cockpit	Teste de costas a 2 metros com ambas orelhas ou
	Teste de discriminação com ruído de fundo do cockpit

Fonte: Manual of Civil Aviation Medicine - International Civil Aviation Organization. 3rd ed. Quebec, Canada; 2012.

3.7.2 Certificação médica na aviação civil nos Estados Unidos

Os critérios auditivos são os mesmos para todas as classes de pilotos (Quadro 2), que deverão ter audição aceitável em pelo menos um dos seguintes testes: (1) Demonstrar a capacidade de ouvir uma voz de conversação média em uma sala silenciosa, usando ambas as orelhas, com as costas voltadas a uma distância de 2 metros do examinador; (2) demonstrar entendimento, em pelo menos uma orelha, de 70% em teste de discriminação da fala em ambiente com ruído de fundo; (3) apresentar limiares em teste audiométrico, nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 3000 Hz, na melhor orelha, de 35, 30, 30 e 40 (dB NA) e, na pior orelha, de 35, 50, 50 e 60 (dB NA), respectivamente (U.S.14 CFR, 1996).

A legislação americana também permite a possibilidade de candidatos com surdez bilateral receberem autorização de piloto, após aprovação em voo teste para piloto privado, para a atuação restrita às áreas em que a comunicação via rádio não seja necessária (FAA, 2016).

Quadro 2 – Critérios auditivos para pilotos da aviação civil nos EUA.

TODAS AS CLASSES
Teste de 2 metros de costas com ambas as orelhas ou
Discriminação de no mínimo 70% com ruído de fundo ou
Limiar até 35 dB NA em 500 Hz, 30 dB NA em 1000 e 2000 Hz e 40 dB NA em 3000 Hz na melhor orelha e limiar até 35 dB NA em 500 Hz, 50 dB NA em 1000 e 2000 Hz e 60 dB NA em 3000 Hz na pior orelha

Fonte: Federal Aviation Administration. Guide for Aviation Medical Examiners, 2016.

3.1.3 Certificação médica na aviação civil no Brasil

A seguir estão transcritos os critérios auditivos da legislação brasileira (Brasil RBAC 67, 2011) para pilotos de 1ª classe - Piloto de Linha Aérea (PLA); Piloto Comercial (PC) e Piloto Privado com habilitação para voo por instrumentos (PP-IFR)- e 2ª classe – no Brasil, Piloto Privado (PP) e Piloto de Balão Livre (PBL), (Quadro 3):

- (a) à exceção do exposto pelo parágrafo (b), o candidato submetido a uma prova com audiômetro de tom puro não deve ter uma deficiência de percepção auditiva, em cada ouvido separadamente, maior do que 35 dB em nenhuma das três frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz, nem maior do que 50 dB na frequência de 3.000 Hz.

(b) o candidato que não atender o requisito do parágrafo (a) desta seção, ainda pode ser considerado apto se:

(1) tiver uma capacidade de discriminação auditiva normal da linguagem verbal (linguajar técnico aeronáutico), com um ruído de fundo que reproduza ou simule as mesmas características de mascaramento do ruído do posto de pilotagem durante o voo, com respeito à voz humana (direta ou transmitida pelos meios aeronáuticos habituais), aos sinais de radiocomunicação e aos sinais de radiofaróis. Como alternativa este exame pode ser realizado no próprio posto de pilotagem, caso seja viável; e (2) puder ouvir uma voz de intensidade normal (85 a 95 dB), em um quarto silencioso (aquele em que a intensidade do ruído de fundo não chega a 50 dB, medida na resposta “lenta” de um medidor de nível sonoro com ponderação “A”), com ambos os ouvidos, a uma distância de 2 metros do examinador e de costas para o mesmo.

(c) Nos processos estabelecidos no parágrafo (b) desta seção, na escolha do que falar não se deve usar, exclusivamente, textos do tipo aeronáuticos. As listas de palavras equilibradas foneticamente devem ser utilizadas (logoaudiometria).

(d) Nos exames de saúde periciais iniciais pós acidente ou incidente grave e nos exames de saúde periciais de revalidação, os requisitos desta seção podem ser atendidos por apenas um ouvido. (Brasil RBAC 67, 2011).

Em 2015 foi publicada uma instrução suplementar (IS nº67-004) à legislação brasileira excluindo a necessidade do enquadramento aos limiares audiométricos tonais para todos os pilotos de 2ª classe, desde que comprovem audição satisfatória de uma voz de intensidade normal (85 a 95 dBA), em um quarto silencioso (com ruído de fundo em torno de 50 dBA), com ambos os ouvidos, a uma distância de 2 metros do examinador e de costas para o mesmo (Brasil IS 67, 2015).

Quadro 3 - Critérios auditivos para pilotos da aviação civil no Brasil.

1ª CLASSE	2ª CLASSE
Limiar até 35 dB NA em 500 a 2000Hz e 50 dB NA em 3000Hz ou	Teste de costas a 2 metros com ambas orelhas ou
Teste de costas a 2 metros com ambas orelhas ou	Teste de discriminação com ruído de fundo do cockpit
Teste de discriminação com ruído de fundo do cockpit	

Fonte: Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC nº 67 Emenda nº 00; 2011.

3.1.4 Uso de aparelho de amplificação sonora individual na aviação civil

O uso de aparelhos de amplificação sonora individual geralmente não é aceito para pilotos. Argumentos contra o seu uso para fins de licenciamento se baseiam na sua relativa baixa confiabilidade e seu desempenho acústico abaixo do ideal. No entanto, os aparelhos auditivos não são normalmente necessários devido à possibilidade de amplificação pelo equipamento de rádio da aeronave (ICAO, 2012).

Já a legislação americana descreve a possibilidade do uso de aparelho de amplificação sonora individual (AASI) para que se alcance o perfil auditivo mínimo, liberando a licença com a seguinte restrição: “válida apenas com uso de aparelho auditivo”. Alguns pilotos que normalmente usam aparelhos para auxiliar na comunicação podem optar por não usá-los durante o voo, usando a amplificação do sistema de radiocomunicação. Alguns usam o fone de ouvido em uma orelha para a comunicação pelo rádio e o aparelho auditivo na outra para comunicações no *cockpit* (FAA, 2016).

A legislação brasileira não permite o uso das próteses auditivas, com exceção para pilotos de planador que, no Brasil, representam a 4ª classe (Brasil IS 67, 2015).

3.1.5 Audição monoaural na aviação civil

A legislação brasileira permite audição monoaural nos exames de revalidação do CMA para os pilotos de 1ª e 2ª classe desde que o ouvido bom atenda aos requisitos auditivos da respectiva classe. Já o piloto de planador, quando portador de surdez unilateral, pode ser julgado apto já no exame inicial desde que o ouvido bom atenda aos requisitos auditivos de 2ª classe (Brasil RBAC 67, 2011).

A ICAO define que, a audição em apenas uma das orelhas em pilotos, deve sempre ser investigada e avaliada de acordo com a melhor prática médica. Além disso, nos casos de surdez unilateral, o efeito sombra da cabeça, provocado em certas posições no *cockpit*, deve ser levado em conta já que pode afetar a comunicação entre os membros da tripulação. Assim a questão em saber se o indivíduo afetado pela surdez unilateral é piloto ou copiloto é relevante por causa da disposição dos assentos. Todavia, os equipamentos de intercomunicação de rádio, exigidos na maioria das aeronaves, compensam essas deficiências e são eficazmente utilizados nestes casos (ICAO, 2012).

Para os indivíduos com perda unilateral com incapacidade de localizar o som ou, com dificuldade na compreensão da fala em ambientes ruidosos ou ainda nas situações da fala dirigida ao lado anacúsico, há possibilidade de adaptação do *Contralateral Routing Signal (CROS)*. Assim, os sinais auditivos são captados por um microfone colocado no lado da orelha anacúsica e desviado eletricamente para o lado bom. Um molde não oclusivo é usado na orelha normoacúsica permitindo também a recepção direta dos estímulos auditivos (ICAO, 2012).

3.1.6 Teste de Inteligibilidade no Ruído

Gama (1994) afirma que o reconhecimento de fala é acompanhado da combinação de pistas acústicas, linguísticas, semânticas e circunstanciais e, quando a escuta ocorre em condições favoráveis, as pistas estão presentes em excesso sendo algumas delas desprezadas. Ou seja, para que a transmissão da mensagem seja efetiva, existe uma redundância das pistas acústicas das quais o ouvinte se vale de acordo com a situação e o contexto da comunicação (Gama, 1994). O efeito da redundância do estímulo sonoro sobre o desempenho na inteligibilidade foi observado por Andrade *et al.* (2016). Neste

estudo houve diferença significativa na média da porcentagem de acertos ($p < 0,001$) entre as condições de aplicação dos testes de reconhecimento da fala no silêncio, por viva voz e através de gravação. O desempenho dos sujeitos no teste com apresentação a viva voz foi melhor do que com monossílabos gravados, sendo que essa diferença foi, em média, de 9,8%. Desta forma à medida que a redundância extrínseca do estímulo sonoro foi diminuída, houve piora no desempenho dos indivíduos. Na prática clínica a maioria dos profissionais aplica os testes de inteligibilidade à viva voz; no entanto, segundo estes autores, a apresentação de estímulos gravados deveria ser utilizada como rotina, pois a gravação padroniza a avaliação, permite a comparação de desempenho em diferentes momentos, diminui a redundância extrínseca e a influência do avaliador no resultado final (Andrade *et al.*, 2016).

Segundo Kuchar e Junqueira (2010), quando uma conversação acontece em lugares ruidosos, é necessária uma atenção dobrada no indivíduo que está transmitindo a mensagem, pois a habilidade em compreender a fala nesta situação é reduzida. Na situação de escuta em ambientes ruidosos, ocorre ainda mais a diminuição das pistas acústicas da mensagem, levando o ouvinte a utilizar-se de outras pistas para compreensão da mesma. Assim sendo, é importante que a avaliação audiológica disponha de métodos para avaliar a real desvantagem do indivíduo na situação da escuta desfavorável.

Portanto, os testes para pilotos devem visar uma avaliação das funções estritamente auditivas e não da capacidade de compreender códigos e frases desconhecidas com risco de haver interpretação incorrecta. A ICAO (2012) recomenda listas em ordem crescente de dificuldade para testes de inteligibilidade de fala no ruído:

Sentenças curtas: listas com sentenças simples com sujeito, verbo e objeto, correspondendo à fala coloquial e às mensagens radiofônicas. Elas podem ser acrescidas de listas de números de dois dígitos. Uma pessoa com audição normal acerta 100% deste material.

-Palavras foneticamente balanceadas: listas de monossílabos, às vezes dissílabos são estabelecidas em várias línguas. Embora pareça haver grau satisfatório de equivalência para o teste de inteligibilidade com palavras foneticamente balanceadas entre os diversos idiomas, deve haver melhor uniformidade de procedimentos do teste a nível internacional, principalmente à aplicação do ruído de fundo. A pontuação da discriminação inferior a 80% não deve ser aceita nesta situação (ICAO, 2012).

A importância dos testes de fala no ruído baseia-se na constatação de que pilotos da aviação civil com perda auditiva, geralmente causada pela exposição ao ruído durante muitos anos de serviço, possam estabelecer a comunicação apesar do ruído de fundo do cockpit. A segurança de voo nestas condições não é prejudicada desde que se tenha certeza, em cada caso, de que a inteligibilidade da fala e a percepção dos sinais na cabine de voo, bem como a audição na pista onde é feita a instrução e os procedimentos de check list, estejam satisfatórias. O teste de fala no ruído visa garantir que os pilotos possam confiantemente perceber as comunicações de rádio, sinais acústicos (balizas e sinais de alerta, por exemplo), além de sons associados ao desempenho de sistemas e ao motor das aeronaves. Tal teste pode ser realizado em diferentes condições de se reproduzir o ruído do convés: ruído branco, gravações em voo, simuladores de voo ou os próprios testes em voo. O ruído de fundo, regulado nos níveis de intensidade desejados, pode ser apresentado em cada orelha, separadamente, ou através de alto-falantes. Assim, o teste de fala no ruído é relevante para a avaliação final de aptidão auditiva para candidatos que não cumprem os requisitos da audiometria tonal. Estes testes devem ser realizados de modo a produzir resultados confiáveis a nível internacional, considerando sua importância para a segurança de voo (ICAO, 2012).

3.2 Inteligibilidade dos usuários de implante coclear

Já foi observado que o córtex auditivo de implantados, com menos de três meses de surdez, reorganiza a tonotopia de modo similar à descrita em pessoas com audição normal (Thai-Van *et al.*, 2010). Middlebrooks *et al.* (2005) observaram que a estimulação da orelha com implante coclear mimetizava a estimulação acústica de uma orelha normal em nível cortical. Já os achados de Seghier *et al.* (2005) sugerem uma reorganização cortical, ou seja, uma subdivisão funcional do córtex auditivo primário em várias regiões corticais no usuário de implante coclear.

Sheng *et al.* (2004) encontraram compreensão da fala no ruído significativamente mais baixa com o discurso conversacional, em relação à clareza do discurso desenvolvido para os testes de estimulação acústica, tanto para os usuários de IC quanto para indivíduos com audição normal. A clareza do discurso de estimulação acústica

geralmente é devida a uma taxa de velocidade de fala mais lenta, com uso da vogal expandida e melhor modulação (Krause; Braida, 2002). Caili *et al.* (2014) avaliaram a inteligibilidade 14 usuários de IC e seis participantes com audição normal através de sentenças ditadas por locutores nativos e não nativos da língua inglesa. O limiar de recepção da fala (*speech reception threshold - SRT*) com locutores nativos foi 9,05 dB NA melhor para os indivíduos com audição normal em relação aos usuários de IC; já com locutores não-nativos o *SRT* foi 11,96 dB NA melhor para indivíduos com audição normal em relação aos usuários de IC. Ou seja, o desempenho foi absolutamente pior para os usuários de IC, sugerindo assim que os usuários de IC têm dificuldade na acomodação acústica de acordo com a variabilidade de condições encontradas todos os dias.

Os testes que avaliam a inteligibilidade da fala de usuários de IC devem permitir a avaliação de diferentes aspectos da comunicação e, idealmente, a mesma bateria de testes deveria ser utilizada pelos pesquisadores com o intuito de permitir a comparação entre os resultados de diversos centros de pesquisa e de diferentes modelos de implante coclear. Assim, no protocolo utilizado pelo Grupo de Implante Coclear do HC-FMUSP recomenda-se a realização dos testes a uma intensidade de 70dB A (Gomez *et al.*, 2004). Os testes de frases em contexto aberto tem a vantagem de simular as condições reais da comunicação e são influenciados pelo processamento cognitivo do paciente de acordo com seu conhecimento geral, vocabulário e inteligência (Bento *et al.*, 2004). Portanto o prévio conhecimento da linguagem oral e a boa preservação da habilidade intencional de comunicação são fatores determinantes para os escores nos testes de inteligibilidade da fala dos implantados (Coez *et al.*, 2008). Assim, desde o início dos anos 80, um dos principais grupos populacionais tratados com implante coclear foi aquele com perda auditiva pós-lingual. Os resultados auditivos obtidos por este grupo de pacientes sempre foi de grande interesse, uma vez que, a experiência auditiva anterior lhes permitiu alcançar resultados de alto nível em curtos períodos de tempo. Além disso, eles são capazes de oferecer comparações da audição na situação pré e pós-implante (Manrique *et al.*, 2006).

Segundo Coez *et al.* (2008) variáveis como diagnóstico precoce e duração da surdez, tipo de reabilitação auditiva usada antes do implante coclear, idade à implantação, tempo de ativação do implante e estratégia de codificação do mesmo

interferem nos mapas de organização das áreas corticais e, conseqüentemente, nos resultados nos testes de inteligibilidade da fala.

Apesar de muitos estudos terem relacionado pior resultado no reconhecimento da fala associado à implantação em idade mais avançada (Blamey *et al.*, 1992; Green *et al.*, 2007; Blamey *et al.*, 2013; Holden *et al.*, 2013), estudos mais recentes não encontraram diferença significativa para a mesma situação (Plant *et al.*, 2016; Ghiselli *et al.*, 2016). Segundo Ghiselli *et al.* (2016) mesmo pacientes com mais de 65 anos mostraram-se bons candidatos ao implante.

Boisvert *et al.* (2011) observaram que uma história longa de privação auditiva bilateral (mais de 15 anos) resultou em piores escores do reconhecimento da fala pela orelha implantada. Francis *et al.* (2004) compararam resultados pós-operatórios do reconhecimento da fala em indivíduos submetidos ao implante com diferentes graus de perda auditiva bilateral e observaram que a experiência auditiva prévia de um indivíduo, ou seja a presença de resíduo auditivo em pelo menos uma das orelhas, refletiu melhores resultados. Boisvert *et al.* (2012) avaliaram o reconhecimento de fala de pacientes com surdez bilateral sendo que 15 receberam o implante no ouvido privado de som e 15 no ouvido que se manteve estimulado pelo uso de AASI. Foram observados resultados clínicos semelhantes nos dois grupos nos testes bilaterais (usando as duas orelhas simultaneamente), independente de o implante estar na orelha privada de som ou na que se manteve estimulada por prótese auditiva. Estes estudos demonstraram que o período de privação auditiva bilateral tem impacto negativo no resultado pós-operatório e que não houve influencia pela condição prévia específica da orelha implantada.

Rama-López *et al.* (2006) avaliaram 30 indivíduos com surdez profunda bilateral devido a otosclerose coclear, implantados unilateralmente. Os indivíduos melhoraram de 20% na média para dissílabos, antes da cirurgia do implante, para 54% depois de 6 meses, 52%, 62% e 54% após 1, 2 e 3 anos respectivamente. Da mesma forma, a média para sentenças melhorou de 32% para 64% após 6 meses, 66% após 1 ano, 68% após 2 anos e 72% após 3 anos. Pode-se afirmar, portanto, que o tempo de ativação do implante também influencia nos resultados de inteligibilidade. Ghiselli *et al.* (2016) realizaram audiometria vocal com dissílabos após 1, 3, 6 e 12 meses de ativação de IC unilateral em pacientes com surdez profunda bilateral. Antes do implante, nenhum paciente apresentava 100% de discriminação mesmo usando AASI, o que aconteceu até

o terceiro mês de ativação do IC. Mas após 6 meses, seis pacientes de uma amostra de 42 foram capazes de acertar 100% das palavras e aos 12 meses de ativação do IC, 11 pacientes dos 42 conseguiram 100% dos acertos.

Manrique *et al.*(2006) estudaram indivíduos com surdez pós lingual com média de idade quando implantados de 47,49 anos e tempo de perda auditiva em média de 11,96 anos. Observaram que a média dos limiares tonais entre 0,5 a 4 KHz melhorou de 107,82 dB antes da implantação para 40 dB, resultado que se estabilizou no acompanhamento depois de 12 anos. Observaram também melhora no reconhecimento de dissílabos de 10% para 50-60% e de 18% para 60-70% nas sentenças de contexto aberto. Bento *et al.* (2004) selecionaram 61 indivíduos com idade entre 17 e 77 anos e com surdez profunda bilateral, implantados entre 1999-2003 no HC-FMUSP, e os resultados observados com pelo menos 6 meses da programação do processador de fala foram em média de 71.30% de acertos para sentenças em contexto aberto e de 52,60% para monossílabos. Estimativas de reconhecimento de palavras monossílabas para adultos com perda auditiva pós-lingual reabilitados com implante coclear varia entre 10% a 80% com uma média de cerca de 50- 60% de acertos (Gifford *et al.*, 2008).

Todavia, a inteligibilidade da fala ainda é um desafio a ser superado por usuários de implante coclear quando expostos ao ruído (Müller *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2009; Wolfe *et al.*, 2015). Em estudo onde a percepção da fala de 96 pacientes adultos implantados foi avaliada, na situação de silêncio houve 88% de acertos das palavras, com piora na situação com ruído S/R+ 10dB, quando houve 73% de acertos e, na relação S/R +5dB, apenas 47% das palavras foram identificadas corretamente (Fetterman; Domico, 2002).

Segundo Mühler *et al.* (2014) a presença de reverberação, piora ainda mais a inteligibilidade dos implantados, justificando as dificuldades que enfrentam em suas vidas diárias, onde reverberação e o ruído muitas vezes coexistem. Hazrati e Loizou (2012) estudaram o efeito da situação de coexistência de ruído e reverberação na inteligibilidade de 11 implantados. Foi reproduzida gravação na intensidade de 65 dB A de 72 listas com 10 sentenças cada. Nos casos dos usuários bilaterais a orelha com melhor discriminação no silêncio foi escolhida para os testes. Os voluntários ajustaram o volume do implante para uma intensidade confortável e o volume foi então fixado para todos os testes. Foram então expostos a nove situações (duas com reverberação isolada, duas com ruído isolado, quatro de associação reverberação com ruído e uma de

silêncio que foi utilizada como situação controle). Durante os testes, os participantes foram instruídos a repetir o máximo de palavras que poderiam identificar. As respostas de cada indivíduo foram contabilizadas conforme os acertos. O percentual foi calculado pela divisão do número de palavras corretamente identificadas pelo número total de palavras nas listas de frases testadas em cada situação. A inteligibilidade caiu de 87.36% (situação de silêncio) para 44.16% e 32.94% nas duas situações de reverberação. Depois acrescentando ruído à reverberação os resultados não passaram de 30% de acertos. Hazrati *et al.* (2013) estudaram sete adultos implantados (*Nucleus 24*) expostos a condições que variavam em somente ruído, somente reverberação e ambos simultaneamente e compararam os resultados na situação com mecanismo de supressão. A inteligibilidade da voz na situação apenas de reverberação e de reverberação com ruído após supressão melhorou de uma média de 46,42 e 36,59 %, para 60,35 e 55,98% respectivamente. Já na presença apenas de ruído houve melhora, após a supressão, de uma média de 30,89 e 24,96% a 51,97 e 41,98 %. A inteligibilidade média na situação de silêncio era de 92,46 %.

Muller *et al.* (2002) compararam as respostas de nove usuários de IC com perda auditiva profunda bilateral em três situações: usando os implantes bilaterais, usando o implante da orelha direita e o da esquerda. Houve diferença significativa ($p < 0,001$) tanto nos testes com monossílabos quanto nos testes com sentenças, observando melhoria considerável na compreensão da fala dos usuários com os implantes bilaterais. Eles relataram que os sons eram mais naturais e mais claros. Todos acharam que compreensão de fala era mais fácil e menos exigente, especialmente em situações difíceis onde ruído competitivo estava presente. Morera *et al.* (2005) também observaram benefício da audição binaural tanto no silêncio quanto no ruído decorrente do uso continuado de AASI contralateral ao lado da orelha com implante coclear, nos casos de surdez profunda bilateral pós-lingual.

O implante coclear inicialmente foi limitado aos casos de surdez profunda bilateral e, depois de publicados resultados convincentes de ensaios clínicos com pacientes com audição surdez unilateral (Sampaio *et al.*, 2011; Arndt *et al.*, 2011), observa-se um número crescente de receptores de IC que ainda têm uma orelha contralateral com desempenho aceitável. Tokita *et al.* (2014) descreveram que pacientes com perda auditiva profunda unilateral sofrem de problemas de comunicação que resultam de diminuição significativa da localização da fonte sonora e da percepção da fala na

presença de ruído de fundo, além do efeito sombra da cabeça para detectar o som oriundo do lado da perda auditiva. Pacientes com perda auditiva profunda unilateral tem a opção de tratamento através do *CROS* ou das próteses osteoancoradas. Entretanto pesquisas demonstram que o encaminhamento do sinal para o lado normal da audição através do *CROS* fornece pouca melhora na compreensão da fala em condições ruidosas (Bishop; Eby, 2010; Saroul *et al.*, 2013). Além disso, este tipo de reabilitação não restaura a audição binaural já que o cérebro recebe e processa as informações oriundas de uma única orelha. Assim, o IC seria a única forma de melhorar o índice de reconhecimento da fala permitindo a reabilitação da audição da forma bilateral em indivíduos com surdez profunda unilateral (Junior *et al.*, 2016).

Louza *et al.*(2017) estudaram 10 pacientes com surdez profunda unilateral e perda auditiva moderada ou audição normal contralateral. Todos pacientes haviam previamente testado o *CROS* sem benefício. Após 1 ano de implante coclear a maioria dos pacientes referiram benefício na audição como mensurado em questionários validados. Entretanto nem todos referiram uma melhora significativa na qualidade de vida. Arndt *et al.* (2011) observaram que o uso do IC não interferiu na compreensão da fala no ouvido com audição normal sugerindo que a integração binaural da estimulação elétrica e acústica é possível mesmo com a audição normal unilateral. Concluíram que a implantação coclear melhora as habilidades auditivas em pessoas com surdez unilateral de forma superior às opções alternativas de tratamento como o *CROS* e as próteses osteoancoradas. Sladen *et al.* (2017) avaliaram que houve melhora significativa no reconhecimento da fala pela orelha implantada no silêncio, mas que à exposição de ruído não houve melhora no intervalo entre 3 a 6 meses de pós-ativação do implante em casos de surdez profunda unilateral; embora os escores com 6 meses de pós-ativação foram superiores aos obtidos antes da implantação. Mertens *et al.* (2015) observaram que o efeito de somação da audição binaural não foi significativo até os 12 meses, mas sim após 36 meses de ativação do IC em testes de reconhecimento da fala em implantados com surdez profunda unilateral e normoacusia contralateral. Desta forma conclui-se que efeitos positivos da percepção de fala no ruído aumentaram ao longo do tempo. Grossmann *et al.* (2016) perceberam melhora importante da audição bilateral em usuários de implante com perda profunda unilateral na localização da fonte sonora quando expostos a ruído. Hoth *et al.* (2016) realizaram testes de inteligibilidade em implantados com surdez profunda unilateral, com números de dois dígitos num nível de

fala constante de 65 dB A com ruído proveniente do lado da melhor orelha. Observaram melhora na audição binaural quando o CI foi adicionado.

Távora-Vieira *et al.* (2015) estudaram o reconhecimento da fala no ruído de usuários de implante coclear com surdez unilateral e observaram que as variáveis idade e tempo de surdez (unilateral) não influenciaram nos resultados quando testados bilateralmente. Estes resultados reforçam a idéia de que a experiência auditiva se soma à influência do tempo de implante na determinação dos melhores escores de reconhecimento da fala.

3.3 Perda auditiva em pilotos

Pilotos experientes evoluem não raramente com perda auditiva no decorrer da carreira. Nas organizações militares da Força Aérea Brasileira, observa-se ocorrência de perda auditiva induzida pelo ruído em número significativo de militares expostos ao barulho do helicóptero H-1H operado, entre outros esquadrões, pelo Primeiro Esquadrão do Oitavo Grupo de Aviação (1º/8º G Av), localizado na Base Aérea de Belém (Mesquita *et al.*,2013). Buckley *et al.* (2001) detectaram que perdas auditivas após missões russas espaciais de longa duração ocorriam principalmente nas médias e altas frequências e não necessariamente tinham relação causal com ruído. Wagstaff e Arva (2009) coletaram dados audiométricos nas frequências de 3, 4 e 6 KHz de 182 pilotos e detectaram possível perda induzida pelo ruído na frequência de 4 KHz. Além disso, encontraram perda auditiva similar entre pilotos de helicópteros e demais pilotos demonstrando que a proteção auditiva utilizada nos helicópteros é realmente eficaz, uma vez que esses pilotos são expostos a ruído de maior intensidade.

Em *cockpits* de aviões militares medições de ruído mostraram níveis de ruído ambiente acima de 90 dB A durante o serviço de voo regular em quase todo o tempo. Para ser capaz de compreender o tráfego de rádio, devido ao ambiente ruidoso, o volume do rádio deve ser elevado acima do ruído dos motores. O uso de protetor auditivo tipo plug, além dos fones de ouvido e capacetes de voo afetam a inteligibilidade da comunicação via rádio. Considerando que a inteligibilidade da fala de pilotos com audição normal é afetada somente a um grau menor, os pilotos com perdas auditivas pré-existent nas altas frequências mostram deficiências substanciais de

inteligibilidade da fala que variam em proporção ao déficit de audição presente (Matschke, 1991).

Todavia é possível indicar que há uma pobre relação entre os testes de discriminação da fala de rotina e da inteligibilidade de fala em situação do voo. Estudo com pilotos com média de 14.360 horas de voo e com perda auditiva de leve a moderada, a discriminação de monossílabos foneticamente balanceados variou entre 65% a 100%. No entanto, nenhum destes pilotos referia dificuldade de inteligibilidade para comunicação no *cockpit*. Foi então desenvolvido um teste de inteligibilidade baseado no jargão da aviação utilizado em comunicações de radiotelefonia que resultou em discriminação auditiva excelente (99% a 100%) mesmo para as orelhas com uma discriminação máxima de 65% a 70% no teste de fala audiométrico. Sem dúvida, esta experiência de pilotos com muitas horas de voo é de grande importância na inteligibilidade por radiofonia (Deelen; Blom, 1990). Outro estudo, não realizado em pilotos, mas que a partir do qual se pode concluir que a familiaridade com o que se é falado ajuda no entendimento, comparou a inteligibilidade de usuários de IC e normo-ouvintes através de sentenças ditadas por locutores nativos e não nativos da língua inglesa, quando tanto os usuários de IC quanto os indivíduos com audição normal apresentaram um déficit maior na compreensão da fala com os oradores não nativos (Caili *et al.*, 2014).

Para avaliar a eficácia de um sistema antirruído e sua influência sobre a inteligibilidade da fala, foi realizada audiometria vocal com um teste padronizado alemão durante condições simuladas de voo com os pilotos de helicóptero. Os resultados demonstram o efeito útil na compreensão da fala, especialmente para pilotos com perdas auditivas induzidas por ruído (Matschke, 1994). Hoje em dia o cancelamento ativo de ruído fornece uma proteção eficaz contra a perda auditiva induzida por ruído (Deelen; Blom, 1990). Segundo Matschke (1994) isso pode ajudar a evitar aposentadoria precoce por invalidez neste tipo de profissional.

3.4 Fones de ouvido com sistema de supressão de ruídos

Os fones de ouvido com supressão de ruído reduzem o ruído através do cancelamento de ruído ativo. Por sua natureza, os fones de ouvido em concha são

capazes de bloquear alguns ruídos de alta frequência, pois são absorvidos. No entanto, esta atenuação de ruído passiva (Figura 1A) não é eficiente para ruído de baixa frequência. Assim, é necessário ter o cancelamento de ruído ativo (Figura 1B) para reduzir a baixa frequência do ruído, como o ruído abaixo de 1 KHz (Shizhang, 2008).

A combinação de atenuação ativa e passiva fornece uma substancial atenuação de cerca de 15 a 25 dB A em todas as frequências audíveis (Sapiejewski, 2004).

Em aviões, o piloto de linha aérea precisa de fones de ouvido que efetivamente bloqueiam os ruídos externos. Mas o piloto também precisa ouvir a conversa das pessoas que estão nas proximidades, tais como o seu copiloto ou outro pessoal de apoio da companhia aérea. Assim nos fones de ouvido de supressão demonstrou-se que a atenuação de 20 dB A é suficiente para uma boa proteção auditiva e mesmo assim ainda habilita as pessoas a ouvir uns aos outros (Sapiejewski, 2004).

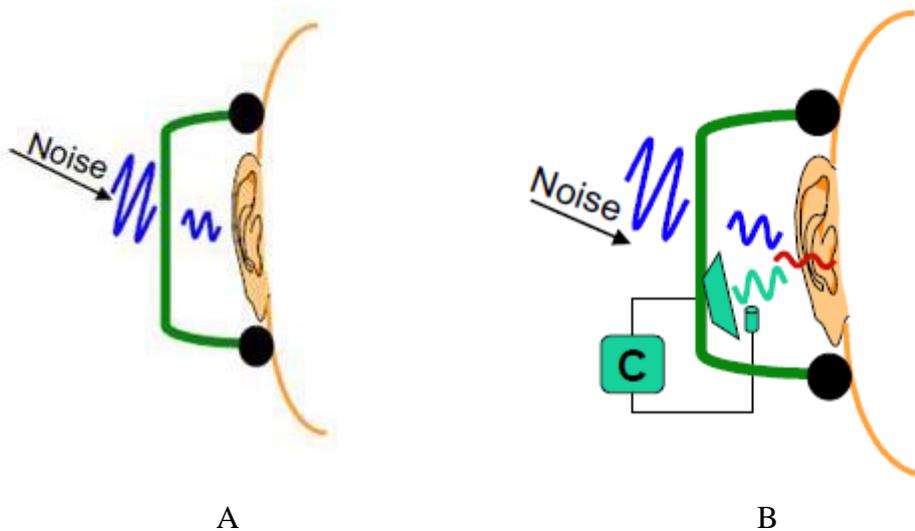


Figura 1 – Supressão de ruídos pelo fone de ouvido. (A) Atenuação passiva (azul); (B) Atenuação ativa (verde) associada à atenuação passiva (azul).

A maioria das companhias aéreas do ocidente proíbe o uso pessoal de equipamentos eletrônicos para passageiros, incluindo os fones de anulação de ruído na decolagem e aterrissagem. Molesworth e Burgess (2013) estudaram 25 participantes com audição normal que foram convidados a escutar cinco orientações de áudio diferentes sob cinco condições experimentais diferentes, apresentados em um ambiente

projetado para simular o ambiente de cabine da aeronave. Cada condição experimental variou baseado na combinação de fones de ouvido com supressão de ruído (ativo ou inativo), música (presente ou ausente) e fonte sonora (fones de ouvido ou locutor externo). Na conclusão de cada condição de áudio, os participantes foram convidados a completar um exercício de memória com pistas. O uso de fones de ouvido com supressão de ruído melhorou a capacidade dos participantes para ouvir e recordar informações semelhantes às aquelas orientações de segurança apresentadas antes do voo. Os resultados sugerem que as orientações de segurança, incluindo os procedimentos de emergência são cruciais para a segurança e as companhias aéreas igualmente deveriam reconsiderar as atuais restrições sobre o uso de fones de ouvido com cancelamento de ruído durante essas fases do voo para passageiros, quando as orientações de segurança são fornecidas.

Molesworth *et al.* (2013) avaliaram o efeito da tecnologia de cancelamento de ruído sobre o desempenho de tarefas simultâneas dentro de um ambiente de aviação, ou seja, a cabine de operações comerciais. Além disso, a pesquisa procurou determinar se fones de ouvido com supressão de ruído com preço equiparável tinham desempenho semelhante. Trinta e seis participantes com audição normal foram convidados a ouvir arquivos de áudio em seis condições experimentais diferentes. Na conclusão de cada arquivo de áudio, os participantes foram submetidos a um teste multi-resposta por escrito. Em relação ao objetivo principal (reconhecimento de informações de áudio), as comparações não revelaram diferenças significantes em termos de desempenho entre os fones de ouvido com cancelamento de ruído. No entanto, o desempenho ao usar fones de ouvido com supressão de ruído foi significativamente melhor em comparação ao desempenho sem fones de ouvido. Esses resultados destacam os benefícios da tecnologia de supressão de ruído no ambiente de aviação.

3.5 Consequências da falha de entendimento na aviação civil

A fala é o meio de comunicação mais conveniente. Todavia a complexidade e a flexibilidade da linguagem justificam erros no entendimento, que por sua vez constituem fatores desencadeantes de acidentes ou incidentes aéreos. O erro na

comunicação pode ser decorrente de pressuposições, terminologias não familiares, ambiguidade das palavras, divergências na entonação e falha no entendimento de palavras com pronúncias semelhantes (Cushing, 1994). Um exemplo é a pronúncia idêntica em inglês do numeral dois (*two*) e da preposição para (*to*). Por esta falha de entendimento um Boeing 747-249, durante um voo de Singapura para Kuala Lumpur na Malásia, chocou-se com o terreno resultando na morte de todos da tripulação (três pilotos e o mecânico de voo), em fevereiro de 1989. O controlador orientou a aeronave a descer “*two four zero zero*” e o piloto respondeu: “*OK. Four zero zero*”. A aeronave desceu até 400 pés ao invés da altitude correta de 2.400 pés (Kalazans, 2013).

O maior acidente aéreo da história aconteceu em 1977 em Tenerife, sendo que um dos fatores determinantes foi por falha humana pelo erro na comunicação entre piloto e torre de controle. O piloto disse “*we are now at takeoff*” referindo-se que estava pronto para decolagem e o controlador respondeu “*ok...Stand by takeoff*” entendendo que a aeronave esperaria no ponto de decolagem (Cushing, 1994). Assim o voo KLM 4805 taxiou pela pista, fez o giro, enquanto outra aeronave, o Pan Am, também autorizada a taxiar e posicionar-se logo atrás do KLM esperava para a decolagem. Mas, logo após completar o giro, o KLM iniciou a corrida de decolagem, mesmo com o Pan Am ainda taxiando pela pista. O KLM tentou decolar, mas colidiu com o Pan Am ocasionando a morte de 583 pessoas que estavam a bordo nos dois aviões (Kalazans, 2013).

Outro incidente descrito por Cushing (1994) por falha de entendimento ocorreu quando o piloto perguntou se poderia atravessar a pista: “*may we cross?*” e a torre de comando respondeu para esperar: “*hold short*”. Assim a aeronave por 30 segundos não se chocou com a outra. O piloto justificou que entendeu a resposta como “*Oh sure*”, como se tivesse recebido a confirmação da torre.

No Brasil, de acordo com o registro de acidentes aéreos por falha de comunicação no Sistema de Controle de Ocorrências do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), 267 acidentes aéreos foram relacionados para investigação por falha na comunicação. Há evidência denexo causal em 48 casos registrados entre 2000 a 2017 por falha na efetividade da comunicação, tanto nas relações interpessoais da cabine quanto entre controlador de voo e piloto/copiloto. Há descrições como: “as comunicações do controle foram parcialmente, absorvidas pelo copiloto”, “entendimento equivocado”, “pareceu não ter entendido”, “processo de

comunicação ineficiente contribuiu para a errônea interpretação das orientações em diversos momentos do voo”, “o copiloto chegou a repetir várias vezes” (Prado, 2017).

3.6 Comunicação por enlace de dados controlador–piloto (CPDLC)

De acordo com Gil (2011), o método usual de comunicação entre piloto e torre de comando é realizado pela transmissão via rádio, na faixa *Very High Frequency (VHF)*. Com o crescimento da demanda das comunicações aeronáuticas existe a possibilidade de interferências ocasionando perda temporária da comunicação ou até falhas de entendimento. Assim a área da aviação evoluiu seu sistema de comunicação através da comunicação por enlace de dados controlador-piloto, do inglês, *Controller Pilot Data-Link Communications (CPDLC)*.

A *CPDLC* é o meio de comunicação que utiliza mensagens de texto pré-formatadas e universais, incluindo uma série de mensagens de autorização, informação e requisição, que correspondem à fraseologia utilizada na radiotelefonia. Assim, a *CPDLC* entre outras coisas, afasta a dificuldade de entendimento causada por interferência e falhas na comunicação. Além de textos padronizados, é permitida a troca de informações por texto livre pela *CPDLC*. Um sistema auxiliar também fornece troca de dados entre bases *CPDLC* permitindo que uma base transmita uma mensagem para outra (Brasil Decea, 2009).

No entanto mensagens de link de dados podem influenciar no desempenho do piloto. Uma diferença notável entre as comunicações de voz tradicionais e comunicação de ligação de dados é que o link de dados permite a exibição da mensagem visual, dispensando a necessidade do piloto em tomar notas ou reter uma mensagem na memória; liberando assim a atenção para outras tarefas (Steelman *et al.*, 2013). Helleberg e Wickens (2003) observaram que o tempo gasto na visualização de uma exibição visual de link de dados era menor do que o tempo gasto tomando notas liberando a atenção dos pilotos para outras funções relacionadas ao voo, como a altitude e a velocidade. Por outro lado, as cabines de voo atuais já impõem pesadas exigências à atenção visual, e uma mudança de comunicação de voz para comunicação de texto pode provocar excessiva demanda em recursos visuais (Kerns, 1991). Wickens (2002)

sugeriu que as exposições auditivas podem ser preferíveis porque elas distribuem demandas atencionais através de modalidades perceptivas diferentes. Além disso, pode produzir um reconhecimento mais rápido das mensagens da torre de comando (Lancaster; Casali, 2008).

Assim, ambos os formatos de exibição, visual e auditivo, parecem imperfeitos: um minimiza as demandas de memória de trabalho e o outro minimiza a carga de processamento visual. No entanto, surpreendentemente, pesquisas envolvendo exibição de dados de maneira somatória (bimodal) produziram evidências ambíguas. Lancaster e Casali (2008) observaram que pilotos que utilizam displays bimodais superaram os que usam monitores visuais unimodais em medidas de carga de trabalho, tempo de cabeça voltada para baixo e tempo de reconhecimento de mensagem. Mas o desempenho com a exibição unimodal auditiva, no entanto, foi tão bom como o visto com o bimodal. No trabalho de Helleberg e Wickens (2002), inversamente, os pilotos que usaram displays bimodais superaram os que usaram displays auditivos em medidas de manutenção da velocidade e tempo da cabeça voltada para baixo, mas as diferenças de desempenho entre as condições de exibição bimodal e visual não foram significativas. As disposições dos monitores visuais empregadas nestes estudos podem, no entanto, ter explicado os achados conflitantes. Helleberg e Wickens (2002) posicionaram suas telas visuais à esquerda e ao lado do painel de instrumentos. Por outro lado, Lancaster e Casali (2008) que observaram que as exposições visuais aumentaram a carga de trabalho do piloto e o tempo de cabeça voltada para baixo, posicionaram suas exposições aproximadamente a 45 ° do lado direito do piloto.

Diante deste impasse, Steelman *et al.* (2013) examinaram os efeitos do formato de exibição (auditivo, visual ou bimodal) e a posição de exibição visual (adjacente ao painel de instrumentos ou encaixada no console) sobre o desempenho do piloto. Neste estudo foram avaliados indivíduos em voos simulados de 20 minutos. Durante cada voo, os indivíduos receberam mensagens de um controlador de tráfego aéreo realizadas visualmente, auditivamente ou bimodalmente. Os indivíduos foram solicitados a ler cada mensagem em voz alta e, em seguida, executar a manobra instruída. Os resultados foram que as exposições visuais e bimodais geraram menor carga de trabalho e melhor rastreamento de altitude do que as exposições auditivas. As exposições auditivas unimodais foram favorecidas por apenas uma medida, o tempo de cabeça para cima, e apenas muito modestamente. O tempo de cabeça voltada para baixo foi semelhante para

o unimodal visual e as condições de exibição bimodal, sugerindo que os indivíduos preferiram confiar em displays visuais, mesmo quando as mensagens também foram apresentadas pela via auditiva. Assim, sempre que as informações de link de dados visuais estavam disponíveis, quer em uma exibição unimodal ou acompanhadas de mensagens auditivas redundantes, os pilotos usaram-na, aumentando seu tempo de tempo de cabeça voltada para baixo em comparação com a condição de exibição auditiva unimodal. Já os dados não evidenciaram efeitos estatisticamente significativos no desempenho em relação à posição de exibição da tela visual.

4. MÉTODOS

4. MÉTODOS

4.1 Aprovação na comissão de ética

O presente estudo foi aprovado pela comissão de ética do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP), sob o número de parecer 294.148 em 05 de junho de 2013 (Anexo A). Foi desenvolvido termo de ciência livre e esclarecido aplicado a todos os voluntários usuários de IC antes da participação.

4.2 Desenho do estudo e casuística

O estudo foi exploratório com amostra de conveniência de 12 usuários de implante coclear, seis da empresa *Cochlear (Nucleus)* e seis da *Med-El (Opus 2)*; alfabetizados na língua portuguesa, com surdez pós-lingual e de três pilotos controles com audição normal. Os implantados preencheram os requisitos audiométricos de revalidação para pilotos da aviação civil no Brasil, desta forma apresentaram limiares tonais audiométricos de até 35 dB NA entre 500 a 2000 Hz e até 50 dB NA em 3000 Hz, em pelo menos uma das orelhas. Os implantados bilaterais posicionaram os fones sobre a melhor orelha desligando o implante contralateral durante todas as etapas de testes.

A distribuição dos voluntários com relação à etiologia da surdez, modelo, número de implantes e estratégia de codificação da fala, idade à implantação, tempo de privação sonora e tempo de uso do implante está apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição da casuística.

Etiologia	N	
• Autoimune	1	
• Meningite	3	
• Idiopática	4	
• Ototoxicidade	1	
• Otosclerose	1	
• Otite média crônica	1	
• Caxumba	1	
Modelo do IC	N	Estratégia de codificação da fala
<i>Medel</i>		
• <i>Combi 40+</i>	2	FSP
• <i>Sonata</i>	4	FS4
<i>Cochlear</i>		
• <i>Nucleus 24K</i>	1	ACE
• <i>Nucleus CI24RECA</i>	5	ACE
Número de Implantes	Unilateral	Bilateral
	6	6
	Média (anos)	Min – Max
Idade na implantação	43,3	14 74
Tempo de privação sonora	10	1 25
Tempo de IC	6, 6	3 17

Realizamos teste de inteligibilidade com todos os voluntários no silêncio da cabine de audiometria. Em seguida foi avaliado o desempenho dos implantados em testes de inteligibilidade, transmitidos através do sistema de rádio *VHF*, no interior do helicóptero com o motor desligado e posteriormente com o motor ligado.

Os implantados bilaterais posicionaram os fones sobre a melhor orelha desligando o implante contralateral durante os testes, tanto na cabine audiométrica quanto no helicóptero. Já os testes de inteligibilidade foram apresentados através de gravação e transmitidos em ordem crescente de dificuldade, conforme recomendação do manual da Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO): lista de frases, lista numérica e de dissílabos.

Contamos com a colaboração da empresa de táxi aéreo, Helimarte, que disponibilizou o Helicóptero Esquilo AS350 B2, prefixo PP-JBB, número de série 7155, categoria de registro TPX/SAE, ano de fabricação 2011(Figura 2). Como a aeronave dispunha de seis assentos, os testes foram realizados em três etapas. Em cada etapa participaram quatro voluntários usuários de implante coclear e um piloto controle. Outro piloto ficou responsável pelo acionamento do helicóptero mantendo-o no regime de operação em solo de asa rotativa aproximada de 380 rotações por minuto. Os testes no helicóptero foram inicialmente realizados com as portas abertas para facilitar abordagem aos voluntários em caso de dúvidas ou algum desconforto. A intensidade de ruído na cabine nesta condição variou entre 92.0 a 97.7 dB A (decibelímetro Brüel & Kjær - 2250).

Os voluntários registraram por escrito as palavras conforme seu entendimento (percepção auditiva) em uma folha de resposta enumerada e padronizada (Anexo B). Para isso, contaram com apoio de prancheta com bloqueio visual que não permitiu a visualização da resposta dos voluntários ao lado. Os pilotos que ficaram ocupados no acionamento da aeronave em cada uma das etapas não participaram dos testes, assim contamos com as respostas dos três copilotos (controles).



Figura 2 – Helicóptero Esquilo.

4.3 Testes de inteligibilidade

A gravação dos testes de inteligibilidade foi realizada por locutor da língua portuguesa em cabine acústica do HC-FMUSP, com o uso de gravador digital (*Samson*) conectado a computador portátil (*Apple-Macbook Pro*). Em seguida a gravação foi transferida para um telefone celular (*Apple- Iphone 5C*).

Foram gravadas listas de 10 sentenças (Anexo C) para serem aplicadas em contexto aberto, foneticamente balanceadas, conforme descrito por Costa et al. (2000). Listas com 10 números de até dois dígitos (Anexo D) foram incluídas conforme preconizado para testes de discriminação em pilotos segundo normas internacionais (ICAO, 2012) e foram narradas conforme o linguajar aeronáutico, sendo os números ditados individualmente (ex.: 10 = uno zero, 61 = meia uno). Já as listas de palavras, com 25 dissílabos cada (Anexo D), foram retiradas do *compact disc* produzido pela Brigham Young University (1999) intitulado Materiais de Audiometria de Fala em Português. Foi gravada ainda uma lista com 25 letras do alfabeto aeronáutico. As listas numéricas e do alfabeto foram randomizadas para uma sequência aleatória a fim de não se facilitar o entendimento pela sequência já esperada tanto do alfabeto quanto dos números. As listas apresentadas não foram repetidas nas diferentes situações.

O intervalo utilizado para a gravação entre as palavras foi calculado baseado no tempo em que uma pessoa com primeiro grau completo utilizou para escrever o que estava sendo ditado. Assim, entre os dissílabos houve intervalo de 4 segundos, no alfabeto aeronáutico intervalo de 5 segundos, na listagem numérica intervalo de 3 segundos, para cada palavra respectivamente. As sentenças de contexto aberto tiveram intervalo de 20 segundos entre elas.

Todos os voluntários realizaram num primeiro momento teste de inteligibilidade em cabine de audiometria, sem ruído de fundo. Foram transmitidas lista de frases em contexto aberto, lista numérica e de dissílabos.

4.4 Sistema de transmissão da gravação

A transmissão da gravação para os testes de inteligibilidade foi realizada através do aparelho celular (*Iphone 5C Apple*). Para os testes em cabine audiométrica o celular foi conectado ao fone do audiômetro (*Interacoustics*). Já para os testes no helicóptero o celular foi conectado ao rádio portátil *VHF* (Figura 3) de frequências aeronáuticas (*Icom - IC-A14*) através do qual foi realizada a comunicação com a aeronave utilizando a frequência livre 1234.



Figura 3- Rádio *VHF* de frequências aeronáuticas IC- A14.

4.5 Sistema de recepção no helicóptero

Os fones disponíveis na aeronave (*Bose- X*) tem um sistema de antirruído que pode ser ativado e desativado. Conectores específicos para encaixe ao sistema de rádio do helicóptero (saída dos fones da marca *David Clark*) foram adaptados para encaixe ao plug de áudio de telefone do implante coclear (Figura 4 A e B). Para confirmar a eficácia desta conexão, foi realizado teste com dois voluntários usuários de diferentes implantes (*Nucleus e Med-El*). Ambos conseguiram escutar uma gravação teste com esta conexão direta ao sistema de rádio, sem chiados ou outras interferências.

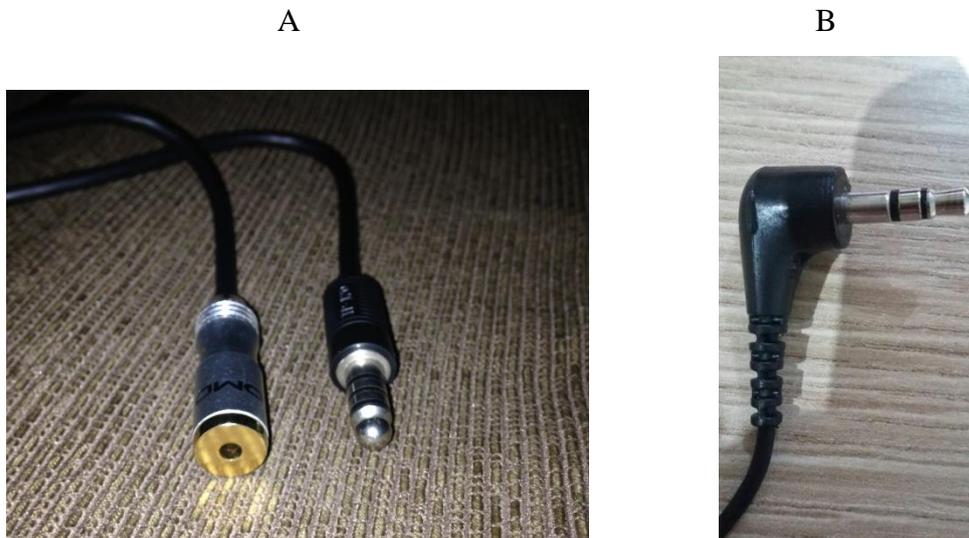


Figura 4- (A) Cabo com adaptador para conexão direta entre o sistema de rádio da aeronave e (B) o plug de audio de telefone do implante coclear.

4.6 Padronização dos fones de ouvido e do sistema de conexão direta à aeronave

Para certificar que todos os fones do helicóptero estavam liberando a mesma intensidade de som, foi criado um modelo com bola de isopor oca com dois orifícios laterais para simular uma cabeça com as orelhas e um terceiro orifício inferior para introdução do microfone do decibelímetro. Primeiramente foi comparado em ambiente silencioso o volume em decibéis de uma gravação de ruído branco, com o microfone do decibelímetro dentro da “cabeça” de isopor (Figura 5A) e depois encaixado entre os fones (Figura 5B). O volume detectado foi muito próximo nas duas situações (67.8 dB A e 68.6 dB A respectivamente) o que permitiu utilizar o modelo da cabeça de isopor para regular o volume dos fones do helicóptero.

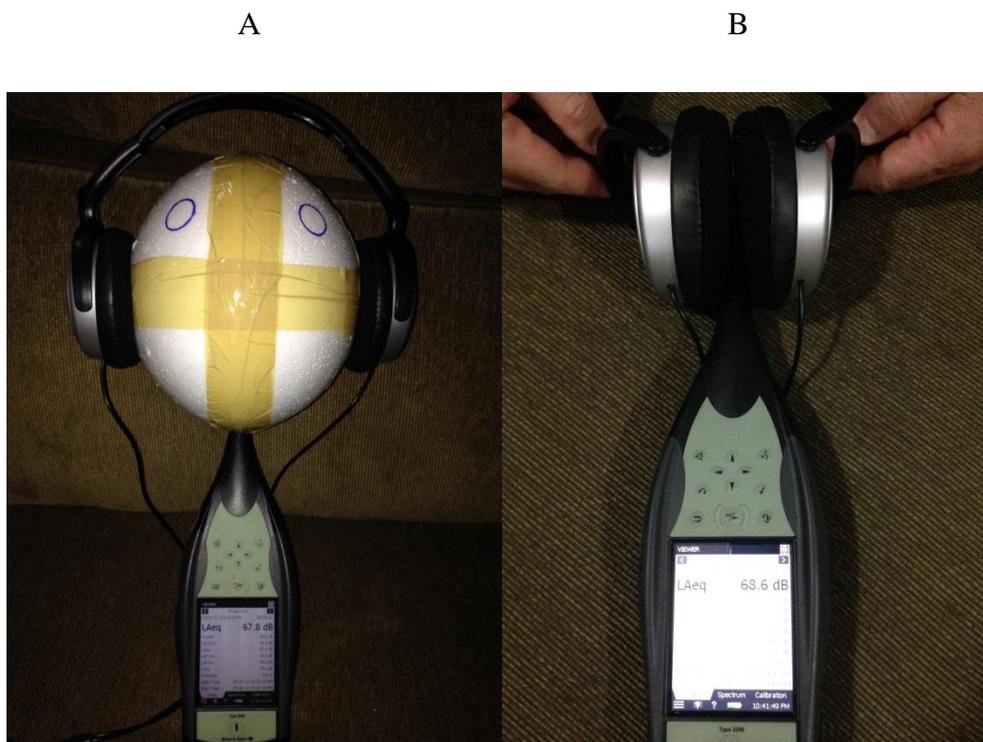


Figura 5 Teste na cabine de audiometria para validação do modelo de bola de isopor oca para medir a intensidade sonora emitida pelos fones de ouvido. (A) Microfone do decibelímetro no interior da bola oca de isopor com dois orifícios laterais que simulava uma cabeça com as orelhas, onde foram posicionados os fones de ouvido do tipo concha. (B) Microfone colocado entre os fones.

Nesse modelo foram testados todos os fones, que emitiram um mesmo ruído branco com intensidade variando entre 76.8 a 78.5 dB A. Para padronizar a intensidade sonora das listas gravadas para os testes de discriminação no mesmo modelo, o volume dos fones *Bose* foi ajustado no máximo, o do aparelho celular através do qual foi transmitida a gravação também no volume máximo, o volume do rádio também no volume máximo e o volume no painel da cabine do helicóptero com a marcação do ajuste na posição mediana; o que resultou em uma intensidade sonora captada pelo decibelímetro, de $LA_{eq}=66$ dB A.

A transmissão pelos quatro cabos com adaptadores para o sistema de conexão direta entre o implante e a aeronave também foi padronizada. Utilizamos outra “cabeça de isopor” com orifícios menores laterais para a fixação de fones de ouvido tipo plug, que possuíam o mesmo tipo de conector do cabo de áudio dos implantes cocleares (Figura 6). Foi reproduzida a mesma gravação de ruído branco, havendo variação de

68.1 dB A a 70.9 dB A entre os quatro cabos com adaptadores nas quatro saídas de áudio dos assentos traseiros da aeronave.



Figura 6 – Teste dos cabos com adaptador para o sistema de conexão direta entre o implante e a aeronave. Microfone do decibelímetro no interior de uma bola oca de isopor com dois orifícios que simulam uma cabeça com as orelhas onde foram posicionados fones de ouvido do tipo *plug*.

4.7 Testes no helicóptero desligado

Realizamos uma sequência dos testes (frases, números e dissílabos) no helicóptero desligado com os implantados utilizando fone e outra sequência com o processador de fala dos implantados conectado pelo sistema de conexão direta ao rádio do helicóptero. Nesta etapa não houve participação dos pilotos controles, mas houve acompanhamento dos testes pela examinadora que, através da escuta pelo fone, descartou interferências na transmissão dos testes.

4.8 Testes no helicóptero ligado

Os voluntários entraram no helicóptero já posicionado na pista de decolagem. Sob a coordenação dos pilotos, todos os voluntários colocaram os fones *Bose* ajustados no

volume *máximo* e sem a ativação do antirruído. O volume do sistema de rádio da aeronave foi ajustado conforme padronização de volume já descrita e foi testada a comunicação via rádio. Durante todo o experimento, embora todos escutassem a examinadora que estava falando através do rádio, somente o piloto foi capaz de comunicar-se com a examinadora (canal de retorno). O piloto então acionou o motor do helicóptero e, quando estava em aceleração máxima para operação em solo, orientou os implantados via rádio para ajustarem o volume dos seus respectivos implantes na intensidade de conforto e este nível de volume foi fixado ao longo dos testes. Mediante autorização do piloto, os testes foram iniciados.

4.8.1 Teste com fone sem supressão de ruído

Foi transmitida gravação de cada uma das listas, em ordem crescente de dificuldade: lista de frases em contexto aberto, lista numérica, dissílabos e a lista das letras do alfabeto aeronáutico. A lista de alfabeto, de maior dificuldade para os implantados, foi realizada apenas nesta etapa e seu resultado não entrou no critério comparativo. Constava na sua quase maioria de dissílabos e, como eram de linguagem familiar apenas dos pilotos, serviriam de referência na hipótese de mau resultado pelos controles no teste de dissílabos.

4.8.2 Teste com fone com supressão de ruído

Nesta etapa todos os fones tiveram seu sistema antirruído ativado. Mediante a autorização do piloto, foi então transmitida outra gravação de sentenças em contexto aberto, lista numérica e lista de dissílabos.

4.8.3 Teste com conexão direta implantado/sistema de rádio

Nesta etapa os implantados tiraram os fones de ouvido e conectaram o processador de fala diretamente ao sistema de rádio do helicóptero. Para esta situação os implantados da marca *Cochlear* programaram previamente seus implantes para redução do ruído externo ao máximo e os da marca *Med-El* utilizaram um cabo específico que já realizava esta redução do ruído ao se conectarem. Mediante autorização dos pilotos foi

transmitida gravação de sentenças em contexto aberto, lista numérica e lista de dissílabos.

4.9 Revisão das fichas com implantados e pilotos

Concluídos os testes, foi gravada a leitura oral das respostas por cada voluntário individualmente a fim de se conferir com o que estava escrito, eliminando assim a possibilidade da examinadora não ter entendido a caligrafia do voluntário.

4.10 Correção dos testes de inteligibilidade

Analisamos os dados priorizando o entendimento da informação (sentido da frase e o acerto do numeral como um todo, ou seja, dos dois dígitos). Assim foram contabilizadas as respostas das frases totalmente corretas ou, quando não corretas na sua totalidade de palavras, sem que houvesse qualquer prejuízo na fidedignidade da informação. (Ex: eu encontrei seu irmão na rua = encontrei seu irmão na rua).

4.11 Análise estatística

Para responder nossos objetivos realizamos as seguintes comparações:

1. Comparamos o índice de reconhecimento da fala (IRF) do usuário de implante coclear em condição de silêncio da cabine audiométrica com o IRF obtido através da comunicação pelo rádio na situação de ruído, dentro do helicóptero com motor em aceleração máxima para operação em solo.
2. Comparamos o IRF do implantado usando fone de ouvido sem ativação e com ativação do sistema antirruído através da comunicação pelo rádio, na mesma situação dentro do helicóptero com motor em aceleração máxima. Depois comparamos o IRF do implantado usando fone de ouvido com ativação do sistema antirruído e conectando via cabo o processador de fala ao sistema de comunicação de rádio do helicóptero, na mesma situação dentro do helicóptero com motor em aceleração máxima.

3. Avaliamos se houve diferença estatística entre as respostas dos implantados usando fone e a conexão direta ao rádio do helicóptero com o motor desligado. Depois comparamos o IRF obtido na audiometria com o IRF dos implantados usando o fone no helicóptero desligado.

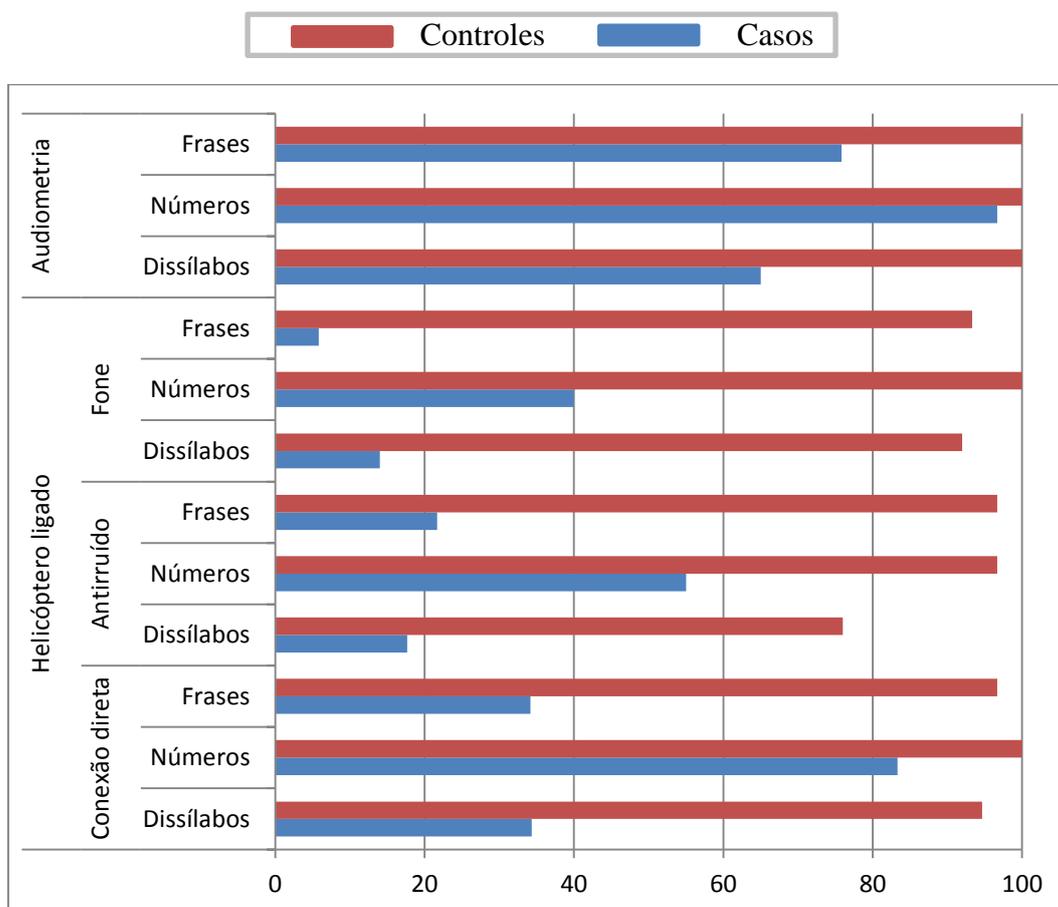
Assim avaliamos se existiu diferença significativa ($p < 0,01$) no índice de reconhecimento da fala (IRF) - variável dependente- de usuários de implante coclear em diferentes situações- variáveis independentes. As comparações foram feitas par a par e considerando as variáveis de discriminação auditiva como ordinais, utilizamos o teste não paramétrico de Wilcoxon na análise estatística. O Software utilizado foi o STATA SE 11.0.

5. RESULTADOS

5. RESULTADOS

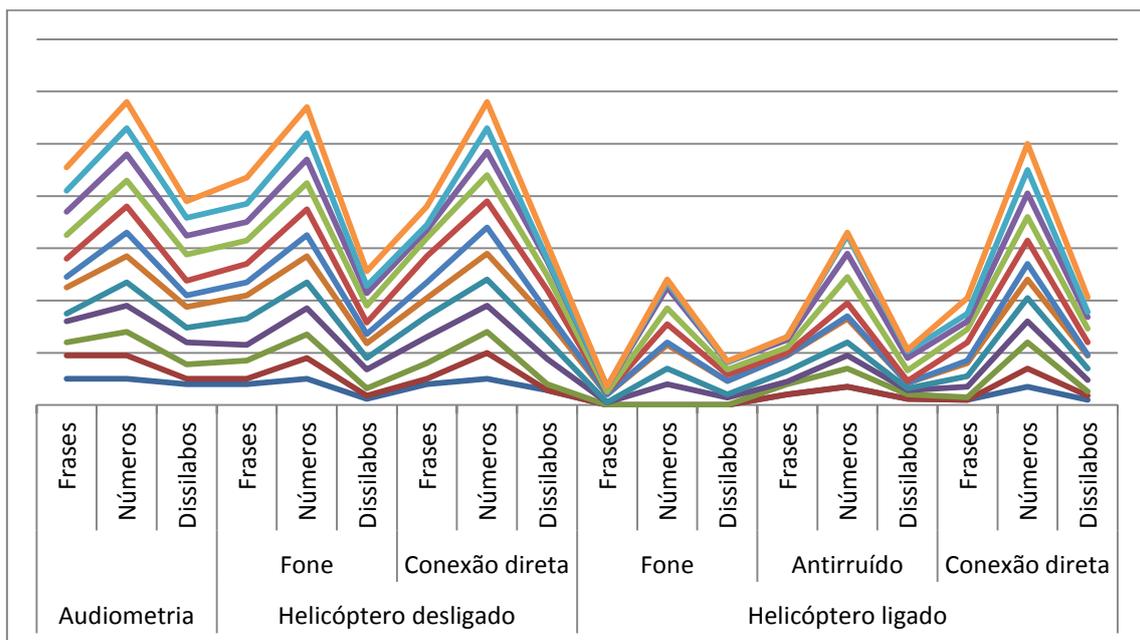
O gráfico 1 mostra a média no índice de reconhecimento da fala (IRF) dos voluntários e dos controles nas situações da cabine audiométrica e com o helicóptero ligado. A média de IRF para números foi a maior em todas as situações entre os implantados: na cabine audiométrica (97,78%) equiparou-se à dos controles (100%). No ruído do helicóptero o desempenho dos implantados em todos os testes foi bem inferior ao dos controles, melhorando parcialmente com o sistema antirruído e principalmente na conexão direta.

Gráfico 1 – Média dos resultados, em percentual de índice de reconhecimento da fala, dos controles e dos usuários de IC na cabine de audiometria e no helicóptero ligado.



O gráfico 2 mostra o desempenho de cada um dos voluntários nas diversas situações testadas. É possível observar piora principalmente para os dissílabos já com o helicóptero desligado (comunicação via rádio). Não houve diferença estatística entre as situações de fone e conexão direta com o helicóptero desligado. Com o helicóptero ligado nota-se importante prejuízo no entendimento para frases, números e dissílabos, com melhora na medida em que se diminui a exposição ao ruído através do sistema de antirruído do fone e posteriormente através da conexão direta ao sistema de rádio do helicóptero.

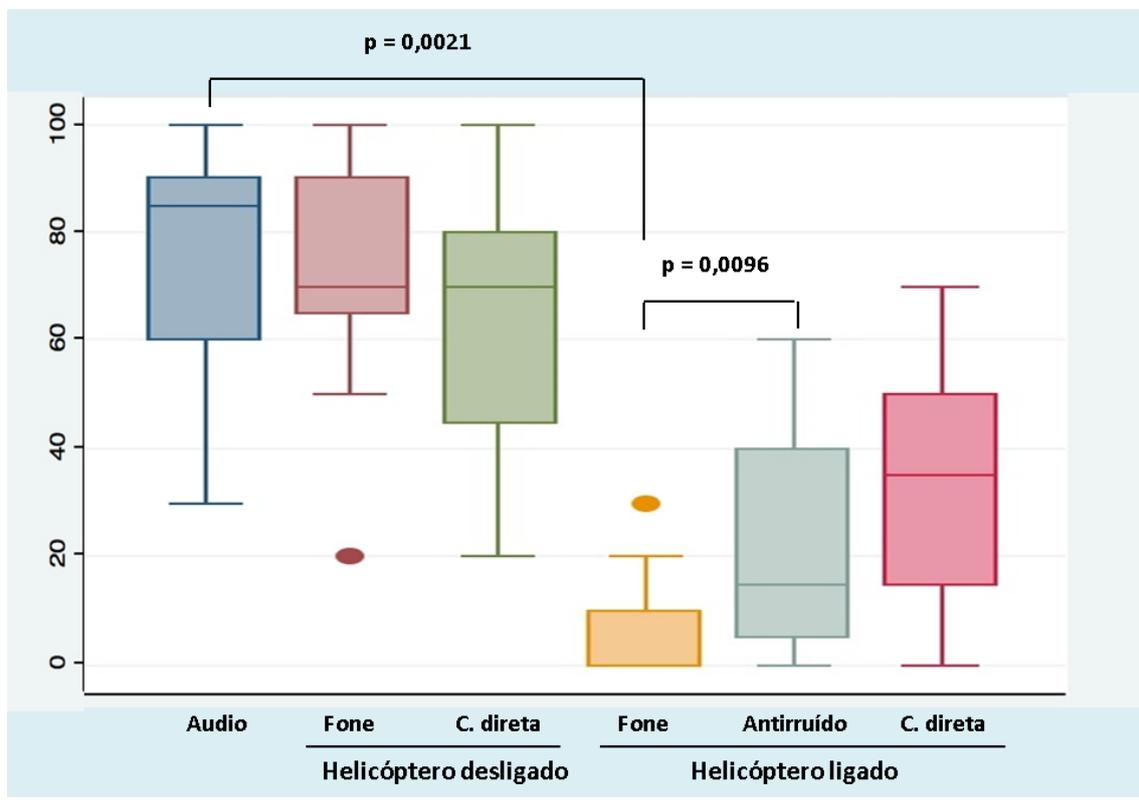
Gráfico 2 - Performance dos 12 voluntários usuários de IC nos testes de inteligibilidade para frases, números e dissílabos em cada situação testada: audiometria, helicóptero desligado e helicóptero ligado.



O gráfico 3 mostra o reconhecimento das frases nas diversas situações testadas. Embora sem diferença estatística, observa-se a mediana menor nas situações com o helicóptero desligado, onde a transmissão foi realizada pelo rádio, quando comparada à audiometria. Porém, a piora do desempenho foi significativa ($p=0,0021$) ao compararmos as respostas da audiometria com as obtidas por radiofonia na aeronave ligada. A melhora do desempenho também foi significativa quando foi acionado o

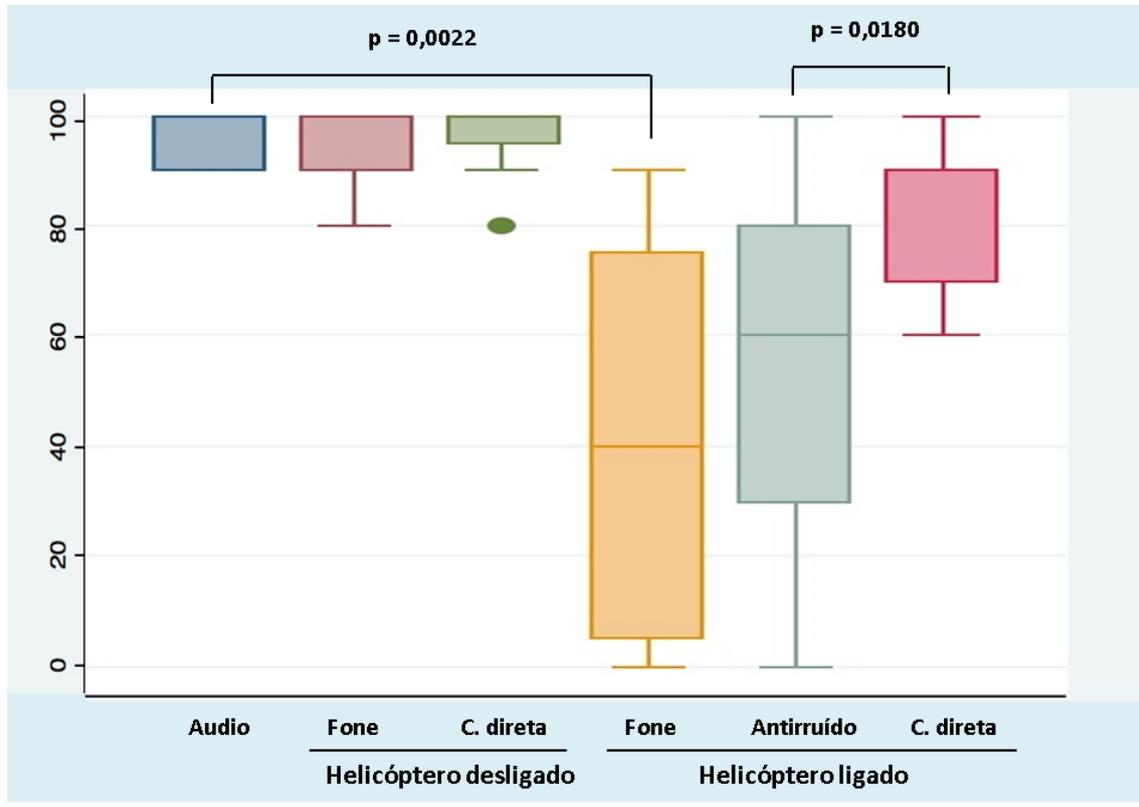
sistema antirruído do fone ($p=0,0096$) e continuou melhorando, mas de maneira não significativa, com o uso da conexão direta do IC ao sistema de rádio da aeronave.

Gráfico 3 - Reconhecimento das frases nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.



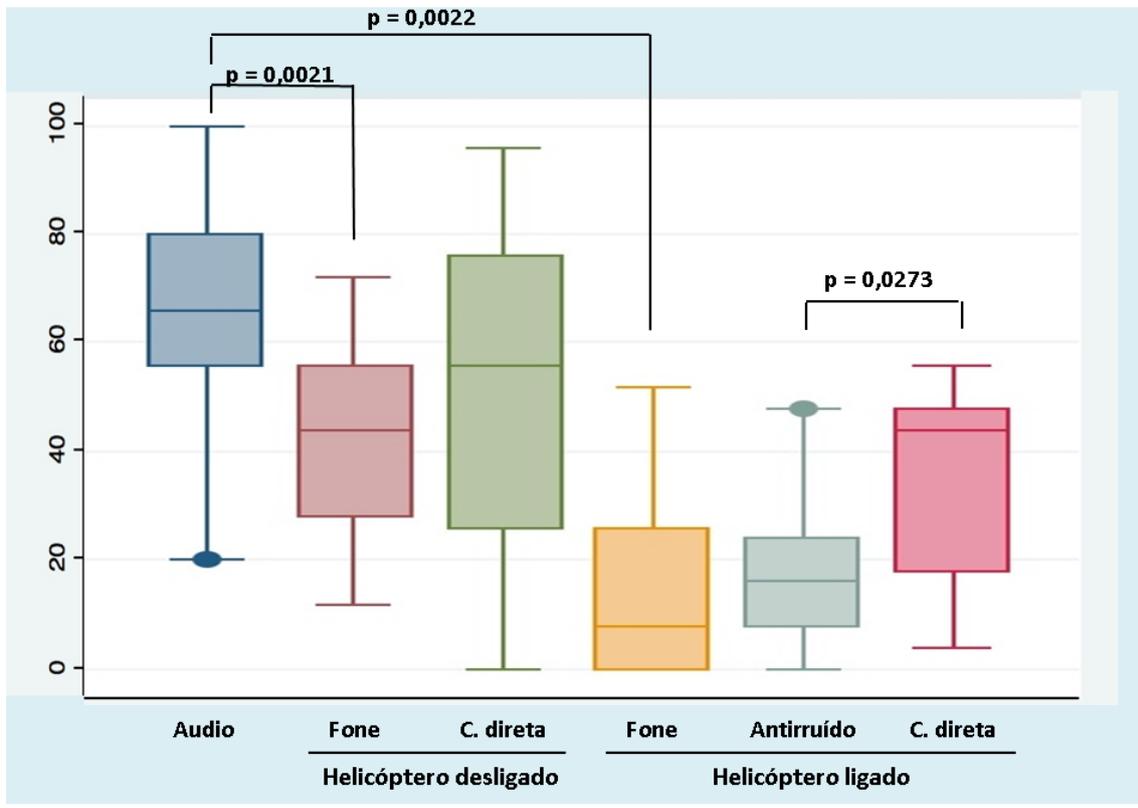
O gráfico 4 mostra a mediana e os percentis 25 e 75 do índice de reconhecimento dos números nas diversas situações testadas. Como pode ser observado, o desempenho com os números se manteve estável na situação da audiometria e na situação sem ruído importante (helicóptero desligado), mesmo com a transmissão das listas de números por radiofonia. Porém, quando expostos ao ruído, o desempenho foi significativamente pior ($p=0,0022$), recuperando parcialmente com a ativação do sistema antirruído do fone, embora não significativo. Por outro lado, a conexão direta trouxe um ganho adicional significativo ($p=0,0180$), trazendo o desempenho com números para muito próximo do normal, apesar do ruído intenso do helicóptero em funcionamento.

Gráfico 4 - Reconhecimento dos números nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.



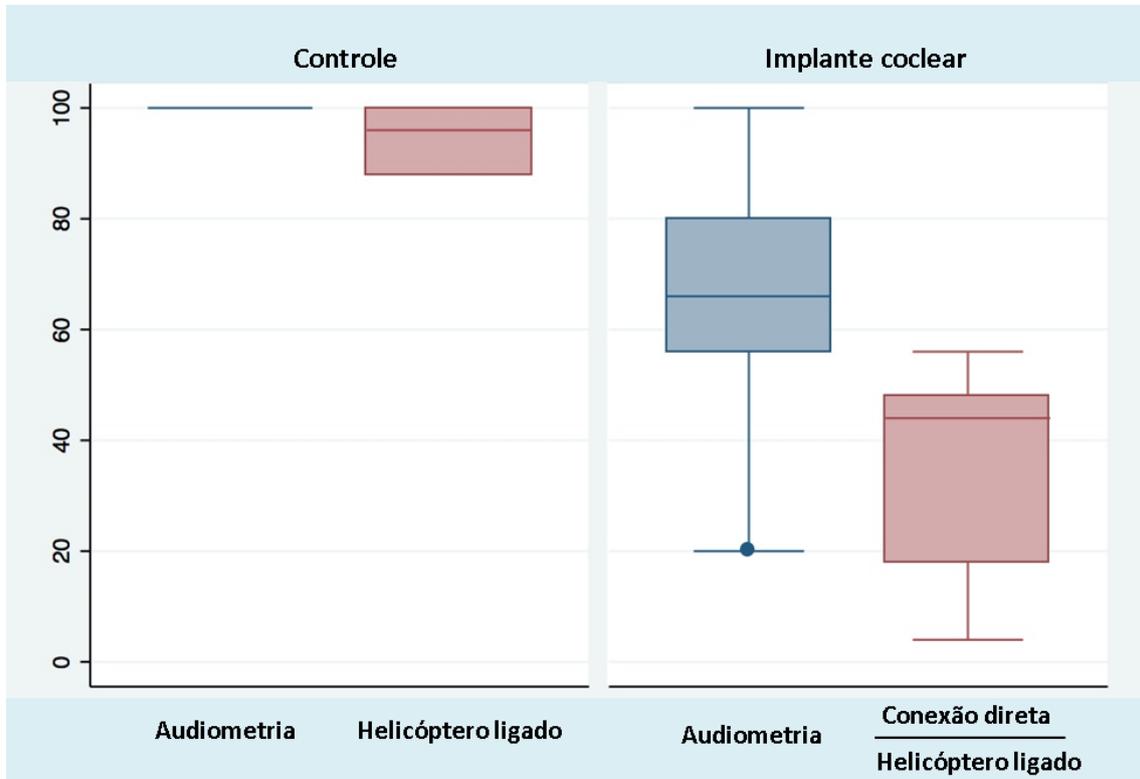
Situação similar ocorreu no índice de reconhecimento dos dissilábicos. O gráfico 5 mostra prejuízo significativo ($p=0,0021$) quando se iniciou a transmissão via rádio, mesmo com o motor da aeronave desligado. Houve melhora com a conexão direta, mas não significativa. A exposição ao ruído da aeronave influenciou no entendimento, com queda significativa no reconhecimento dos dissilábicos ($p=0,0022$) quando comparamos o IRF na audiometria e na situação da aeronave ligada. Mais uma vez houve melhora com o acionamento do sistema antirruído do fone, embora não significativa. Já o desempenho melhorou muito na situação de conexão direta com o motor ligado ($p=0,0273$).

Gráfico 5 - Reconhecimento dos dissilábicos nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.



Já o gráfico 6 mostra que mesmo o melhor resultado dos implantados para dissílabos, na situação menos adversa possível no helicóptero ligado (conexão direta) não se assemelha com o pior resultado dos controles (helicóptero ligado). Mostra também que a performance de alguns voluntários, que atingem mais de 80% na audiometria, não se sustenta nesta melhor condição com o motor ligado (conexão direta).

Gráfico 6 - Índice de reconhecimento da fala de pilotos (controles) e implantados para dissílabos na audiometria e no helicóptero ligado, sendo que nessa última situação os usuários de implante coclear usaram a conexão direta.



6. DISCUSSÃO

6. DISCUSSÃO

6.1 Discussão da casuística

A amostra deste estudo foi composta por 12 usuários de implante coclear com surdez bilateral pós-lingual. Assim, após avaliarmos audiometrias de indivíduos implantados no Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, foram selecionados aqueles que escutavam até 35 dB NA nas frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz e até 50 dB NA na frequência de 3.000Hz na orelha implantada ou, em pelo menos uma das orelhas no caso dos implantados bilaterais. No Brasil passariam nos exames de revalidação, pois é aceita a audição monoaural quando pilotos precisam renovar seus certificados médicos aeronáuticos (CMAs), desde que não fosse revelado que o perfil audiométrico exigido havia sido alcançado através da reabilitação pelo implante.

As limitações no tamanho da amostra foram impostas pelos critérios de inclusão, assim como pela dificuldade em conciliar a disponibilidade de quatro voluntários e de dois pilotos (um controle e outro para acionar o helicóptero) com a disponibilidade da aeronave em solo para a realização dos testes. Na literatura, a maior parte dos trabalhos que avaliou a inteligibilidade da fala de implantados em diferentes situações de ruído, também envolveu pequeno número de voluntários. Hazrati e Loizou (2012) avaliaram o efeito combinado da reverberação e ruído na inteligibilidade da fala em 11 usuários de implante coclear. Hazrati *et al.* (2013) avaliaram resultados de sete adultos implantados expostos a ruído e reverberação na situação com mecanismos de supressão. Wimmer *et al.* (2016) estudaram um grupo de 10 implantados para avaliar a inteligibilidade da fala com um processador que mimetizava o sistema de microfone direcional.

O objetivo do nosso trabalho foi avaliar o desempenho dos voluntários em testes de reconhecimento da fala em diferentes situações. Desse modo, embora a amostra tenha sido pequena, os voluntários foram controles deles mesmos. A situação inicial (cabine audiométrica) foi considerada a condição basal. Nas etapas seguintes os testes foram transmitidos através do sistema de rádio das aeronaves e foi avaliado o desempenho dos

implantados no interior do helicóptero com o motor desligado e posteriormente com o motor ligado.

Na nossa amostra a média das idades dos participantes foi de 43,3 anos, variando de 14 a 74 anos. Não há consenso na literatura quanto à influência nos resultados de inteligibilidade relacionada à idade de reabilitação pelo IC.

Todavia não há dúvidas de que o tempo de ativação do implante influencia nos resultados de inteligibilidade da fala. Ghiselli *et al.* (2016) observaram aumento no número de indivíduos que acertavam 100% das palavras dissílabas progressivamente ao longo dos 12 meses de ativação do implante unilateral, em pacientes com surdez profunda bilateral. Os benefícios na percepção de fala na presença de ruído ocorrem de forma mais tardia e melhoram ao longo do tempo. Sladen *et al.* (2017) observaram benefício após 6 meses de ativação do IC, enquanto Mertens *et al.* (2015) somente após 36 meses. Esses ganhos incluem a localização da fonte sonora quando expostos a ruído (Grossmann *et al.*, 2016) e melhora da inteligibilidade mesmo na presença de ruído na orelha de audição normal (Hoth *et al.*, 2016). No nosso estudo o tempo de implantação sonora estabelecido foi de no mínimo 3 anos.

Mesmo sabendo que o implante coclear bilateral, nos casos de surdez profunda bilateral, proporciona um benefício significativo na compreensão da fala em relação ao implante unilateral (Muller *et al.*, 2002), optamos em selecionar a orelha com a maior discriminação auditiva no silêncio, no caso dos implantados bilaterais para a realização dos testes, como descrito no trabalho de Hazrati e Loizou (2012). Desta forma visamos garantir a uniformidade da amostra.

Os implantados da nossa amostra tinham perda auditiva profunda bilateral e o tempo de privação sonora variou entre 1 a 25 anos. Estudos demonstraram que o período de privação auditiva bilateral tem impacto negativo no resultado pós-operatório (Boisvert *et al.*, 2011; Boisvert *et al.*, 2012). Entretanto não consideramos esta variação relevante, pois nosso objetivo foi comparar a performance auditiva da mesma amostra em diferentes situações.

Além disso, cada vez mais tem sido indicado o implante coclear em indivíduos com audição residual em uma ou em ambas as orelhas. Reduzindo a privação bilateral da estimulação auditiva ao sistema auditivo central, melhores resultados são esperados. O uso do implante coclear inclusive tem sido discutido nos últimos anos para indivíduos com surdez unilateral. Plant *et al.* (2016) observaram que implantados unilaterais com

melhor audição contralateral e melhor experiência auditiva, tiveram melhores resultados nos testes de inteligibilidade bilaterais. Arndt *et al.* (2011) concluíram que a implantação coclear melhora as habilidades auditivas em pessoas com surdez unilateral de forma superior às opções alternativas de tratamento como o *CROS* e as próteses osteoancoradas.

Desta forma, o IC também poderia ajudar um piloto com surdez unilateral que, mesmo apresentando perfil audiométrico aceitável pela legislação brasileira na orelha contralateral, seria candidato ao teste de inteligibilidade da fala no ruído da aeronave, recomendado pela ICAO quando não se preenche os critérios auditivos bilateralmente.

6.2 Testes de inteligibilidade

De acordo com o protocolo estabelecido pelo Grupo de Implante Coclear do HC-FMUSP, visamos uma intensidade sonora próxima de 70 dB A para a aplicação dos testes de inteligibilidade. Desta forma padronizamos a marcação do ajuste do volume no painel da cabine do helicóptero na posição mediana o que resultou na intensidade sonora captada pelo decibelímetro de LAeq=66 dB A.

Nossos resultados advém de um discurso claro, não conversacional, apesar do conhecimento sobre a clareza de discurso para aplicação de testes no ruído sabidamente favorecer o entendimento (Krause; Braida, 2002; Sheng et al., 2004). Em contrapartida, optamos pela aplicação dos testes gravados para padronizar a avaliação, permitindo a comparação de desempenho em diferentes momentos, sabendo da piora significativa nos resultados quando a transmissão dos testes de inteligibilidade é realizada por gravação em relação à viva voz (Andrade *et al.*, 2016).

Mantivemos a sequência das listas, recomendada pela ICAO, de frases, números e dissílabos para que os três grupos de voluntários tivessem o mesmo padrão da ordem crescente de dificuldade. As seis situações sob as quais cada grupo de voluntários foi exposto também seguiram a mesma ordem: teste na cabine audiométrica, testes no helicóptero desligado com fone e conexão direta e testes no helicóptero ligado: com fone sem ativação do sistema antirruído, com ativação do antirruído e pela conexão direta ao sistema de rádio do helicóptero. Assim, para que os voluntários ficassem familiarizados, foram usados os fones e os cabos conectados ao implante com o

helicóptero desligado num primeiro momento. Além disso, a exposição prévia ao helicóptero desligado, sem a interferência do ruído, criou a possibilidade de treinamento frente às sequências das frases, dos números e dos dissílabos. Para as sequências realizadas no helicóptero ligado optamos pela ordem da situação mais adversa de exposição de ruído (sem ativação do sistema antirruído do fone), para as de maior facilidade com supressão do ruído e através da conexão direta. Sendo assim as amostras dentro do possível, foram padronizadas ao máximo e submetidas aos mesmos testes, nas mesmas situações e na mesma sequência de exposição ao ruído.

Foi solicitado ao piloto que após acionamento dos motores ligasse o decibelímetro para registro da intensidade do ruído no interior do helicóptero com a porta aberta e fechada. A intensidade de ruído variou entre 92.0 a 97.7 dB A na situação mais adversa com as portas abertas e entre 84.0 a 84.7 dB A com as portas fechadas. Essas medidas foram semelhantes às encontradas por Mesquita *et al.* (2013) que avaliaram o nível de ruído no interior da cabine do helicóptero H-1H da Força Aérea Brasileira.

Cada etapa de testes no helicóptero ligado com quatro implantados durou em média 40 minutos.

6.3 Correção dos testes e análise estatística

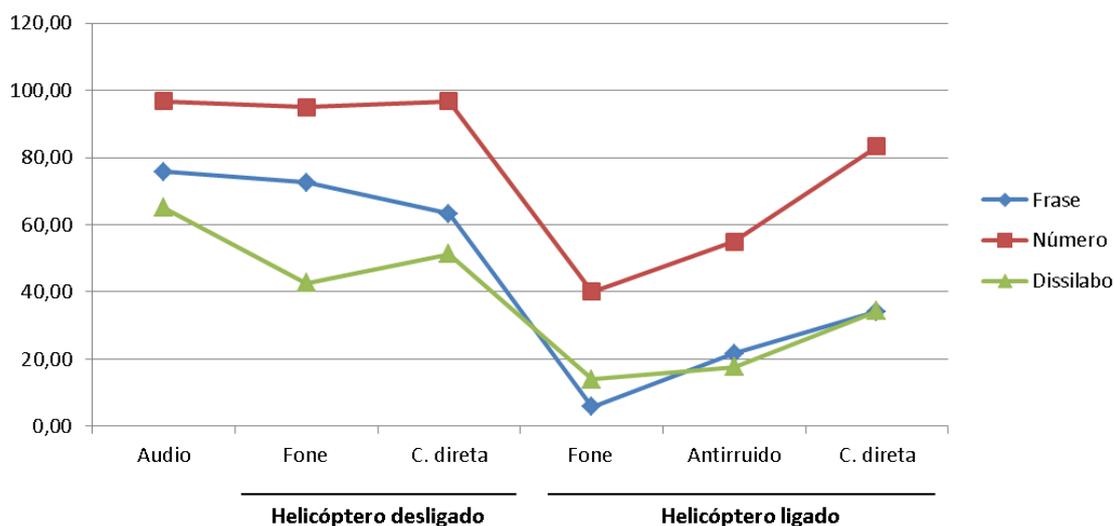
Encontramos na literatura descrição da correção dos testes contabilizando-se o número de acertos de palavras dividido pelo número de palavras totais nas sentenças, ou ainda, seguindo escala onde os escores eram definidos pelo acerto de números de palavras chaves, sendo que cada uma das sentenças continha de três a quatro palavras chaves. Neste estudo priorizamos o entendimento da informação, já que as consequências da troca ou omissão de palavras na aviação podem ser catastróficas.

As comparações foram feitas par a par e, portanto, fizemos múltiplas comparações admitindo a chance de 5% de falso positivo para cada comparação.

6.4 Análise dos resultados

O melhor desempenho dos nossos voluntários foi no silêncio da cabine audiométrica. Na aeronave, quando os testes foram transmitidos via rádio, a performance caiu mesmo no silêncio (motor desligado), com exceção para os números. O desempenho foi ainda pior com o motor ligado, embora tenha melhorado progressivamente com o uso do sistema antirruído e da conexão direta do implante coclear com o sistema de rádio da aeronave (gráfico 7).

Gráfico 7 - Média do índice de reconhecimento das frases, números e dissilábicos dos usuários de implante coclear nas situações de audiometria, helicóptero desligado e ligado.



O reconhecimento da fala no teste de ruído do helicóptero em usuários de implante coclear, mesmo com perfil audiométrico tonal dentro dos critérios de exigência da aviação civil no Brasil, ainda não se assemelha de maneira geral aos percentuais atingidos pelos pilotos controles. Nossos voluntários apresentaram média de acertos para dissilabos abaixo de 80% já no silêncio da cabine audiométrica. A performance de alguns voluntários, que atingiram mais de 80% de acertos na audiometria, não se

sustentou na melhor condição com o motor ligado (conexão direta). Desta forma, está distante de ser enquadrada nos critérios internacionais da ICAO, que preconiza um acerto de no mínimo 80% no teste de inteligibilidade no ruído da aeronave quando os candidatos não preenchem os critérios audiométricos bilateralmente.

Mesmo o melhor resultado dos implantados para dissílabos, na situação menos adversa possível no helicóptero ligado (conexão direta) não se assemelha com o pior resultado dos controles. Todavia não foi nosso objetivo comparar as respostas entre controles e usuários de implante coclear.

Por razões de metodologia (diferenças nos critérios de inclusão, nas listas de sentenças e suas formas de correção) e ano de realização do estudo (considerando que os escores de acertos aumentam com o desenvolvimento tecnológico) a comparação com testes de inteligibilidade da fala tem valor relativo. Nossos voluntários implantados quando testados unilateralmente para frases, números e dissílabos na situação basal de silêncio obtiveram resultados não discrepantes em relação aos encontrados na literatura. Bento *et al.* (2004) observaram média de acertos para sentenças de 71.30% entre 61 implantados, avaliados entre 1999-2003 no HC-FMUSP. Hazrati e Loizou (2012) encontraram média de 87.36% nos escores de inteligibilidade para frases, contabilizando acertos de palavras, de 11 usuários de IC avaliados no silêncio. Nossos 12 voluntários obtiveram média de 75,83% na mesma situação basal de silêncio. Entretanto nossa correção foi mais rigorosa, pois priorizamos o entendimento da informação já que as consequências da troca ou omissão de palavras na aviação podem ser catastróficas. Louza *et al.* (2017) estudaram implantados com surdez unilateral. No teste de inteligibilidade de números na orelha implantada (em cabine de audiometria e mascarando a orelha normoacústica contralateral) obtiveram escore de 90%. No nosso estudo observamos média dos escores para números de 96,6 %. Nossa média para dissílabos no silêncio foi de 65%. Manrique *et al.* (2006), em teste com dissílabos, ainda no silêncio, obtiveram resultados entre 50-60% em adultos com surdez pós-lingual. Rama-López *et al.* (2006) observaram média de 54% para dissílabos e 72% para sentenças (correção por palavras chaves) após 3 anos de implante unilateral.

Apesar do reconhecimento da fala no ruído ser muito discutido na literatura, não encontramos trabalhos com exposição ao ruído de aeronave para comparar com nossos resultados. Fetterman e Domico (2002) avaliaram a percepção de fala de 96 implantados utilizando sentenças apresentadas a 70 dB A nas situações de sinal ruído de +10 dB e

+5dB. Considerando o percentual de acertos de acordo com número de palavras corretas na frase, obteve resultado de 73% na relação S/R +10 dB e de 47% na relação S/R +5 dB. Nossos testes foram apresentados na intensidade de 66 dB A e o ruído de fundo chegou a 97,7 dB A. Nossa relação de sinal ruído foi de -30 dB aproximadamente, na situação quando utilizamos o fone sem antirruído. Ressalta-se que, quanto mais negativa for esta relação maior é a dificuldade já que a sentença está sendo emitida abaixo da intensidade do ruído. Além disso, nossa forma de correção como já mencionado, foi mais rigorosa. Assim nossa média para frases no ruído na relação S/R -30 dB foi de apenas 5,83%, chegando a 34,17% na situação de conexão direta, quando não pudemos estabelecer a relação sinal ruído.

Na comparação das respostas obtidas na audiometria (silêncio) e na situação real de voo (helicóptero ligado) observamos diferenças significativas para todos os testes realizados (frases, números e dissílabos), demonstrando notória dificuldade no entendimento pelos implantados.

Ao reduzirmos a exposição de ruído, ativando o sistema antirruído do fone, observamos melhora significativa apenas para as frases. Não observamos, portanto, melhora considerável através deste mecanismo de atenuação do ruído. Nesta situação inclusive houve relato de piora de entendimento dos dissílabos por parte dos pilotos controles com piora nos percentuais de acerto, embora este fato não tenha se traduzido em diferença significativa ($p=0,10$). Esse foi um achado inesperado que não foi foco nesse estudo. Um estudo com maior número de pilotos com audição normal poderá revelar se há piora no entendimento dos dissilábicos em função da ativação do sistema antirruído do fone.

Já quando reduzimos ao máximo a exposição ao ruído pela conexão direta via cabo entre o implante e o sistema de rádio da aeronave, houve melhora significativa nos resultados para números e dissílabos. Apesar disso, nesta situação esperávamos resultados próximos ao da situação da conexão direta no silêncio com o helicóptero desligado, pois o sistema proposto reduziria o ruído de forma considerável. Uma possível justificativa para esta divergência poderia ser a entrada de ruído pelo microfone dos pilotos controles que mantiveram o sistema de *intercom* (comunicação interna) ligado (*squelch* aberto). A função do *squelch* é de aumentar ou diminuir a sensibilidade da ativação do microfone. Pode-se ajustar o *squelch* para abrir somente quando sinais mais fortes (conversação pelo rádio) são recebidos. Esta função permite que um ruído

de fundo irritante não abra o *intercom*. Quando o *scquelch* encontra-se totalmente fechado não permite a entrada de ruído de fundo, mas também não permite a transmissão da voz pelo *intercom*, situação fora da realidade para pilotos. Desta forma, acreditamos não ter ocorrido a anulação do ruído, inicialmente proposta na etapa de conexão direta com helicóptero ligado, por ter existido uma retroalimentação pelo microfone dos pilotos controles. Desta forma também não pudemos estabelecer a relação sinal/ruído à que os voluntários foram submetidos nesta situação.

Não houve diferença estatística significativa nas comparações entre os implantados utilizando fone ou a conexão direta no helicóptero desligado. Este resultado é facilmente explicado, pois a situação já era de silêncio e a conexão direta, portanto, não otimizou o entendimento.

O entendimento para números mostrou-se o menos comprometido em todas as situações, com decréscimo de apenas 1,76% na média na situação do helicóptero desligado com fone (transmissão por rádio) em relação à média obtida na cabine audiométrica. Na situação menos adversa, com o helicóptero ligado (conexão direta), houve decréscimo na média de apenas 13,70% em relação à média obtida no silêncio (cabine audiométrica).

Observamos piora significativa nos testes com dissílabos ($p < 0,001$) na situação do helicóptero desligado em relação à cabine audiométrica. Acreditamos que possa ter sido devido à transmissão através do rádio. Para fins comparativos, não encontramos trabalhos na literatura relacionados à transmissão dos testes de inteligibilidade através da radiofonia envolvendo usuários de IC.

6.5 Teste de interferência do *scquelch*

Para confirmar a interferência do *scquelch* na transmissão do rádio frente ao ruído e assim consequentemente na performance dos voluntários, realizamos teste de inteligibilidade (frases, números e dissílabos) com um dos voluntários usuários de IC (Nucleus). Utilizamos equipamento de *intercom* portátil PA-400ST (figura 7) que permite 4 entradas de microfone e 4 saídas de áudio.



Figura 7 - Intercom portátil PA-400ST.

Em uma das entradas transmitimos uma gravação de ruído de helicóptero em volume alto (não avaliamos a intensidade sonora); em outra, a gravação dos testes de inteligibilidade. Em uma das saídas de áudio, conectamos o cabo de conexão direta ao implante após o ajuste de anulação do ruído externo do IC. Realizamos a transmissão de listas de frases, números e dissílabos com *squelch* aberto e posteriormente com o *squelch* quase totalmente fechado (atenuando o volume do ruído). Esta situação não é passível de reprodução na realidade do voo, mas serviu para constatarmos que realmente há melhora da inteligibilidade quando fechamos o *squelch* (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados em teste de inteligibilidade, em percentual de acertos, de usuário de IC com *squelch* aberto e fechado.

	<i>Squelch</i> aberto	<i>Squelch</i> parcialmente fechado
Frases	20%	100%
Números	90%	100%
Dissílabos	28%	52%

6.6 Considerações finais

A comunicação pelo rádio por si só prejudicou de forma significativa a inteligibilidade dos usuários de IC. Aliás, mesmo pessoas normo-ouvintes sentem dificuldade na compreensão das mensagens radiofônicas. Desta forma, direcionamento

tecnológico no desenvolvimento dos implantes, ajustes na programação do IC, ou mesmo o treinamento auditivo para a radiofonia (o que já existe no caso do piloto ser o implantado) surgem como possibilidades de melhoria da inteligibilidade dos usuários de IC na situação do voo.

Além disso, optamos por avaliar a inteligibilidade da fala dos usuários de IC no helicóptero sabendo que do menor grau de dificuldade em cabines de aeronaves mais silenciosas. Assim, esperam-se melhores resultados em condições mais favoráveis para a comunicação.

Por outro lado, a comunicação por enlace de dados (*CPDLC*) já é uma realidade internacional utilizada com eficácia para reduzir as demandas do canal de voz pelo rádio *VHF*. Pode ser associada às mensagens auditivas, mesmo que redundantes, a fim de se afastar erro no entendimento e garantir a segurança do voo. Na verdade, toda informação auditivo-visual é a que melhor se assemelha às condições da vida cotidiana, uma vez que a leitura labial acontece automaticamente em uma conversação normal. Indivíduos que utilizam IC também apresentam melhora no desempenho quando testados em situações com o uso da informação auditivo-visual. Desta forma, um piloto civil, reabilitado com IC poderia atuar em áreas onde a comunicação por enlace de dados já acontece de forma efetiva, viabilizando a comunicação audiovisual, com a proibição do voo solo por exemplo. Ou ainda, na ausência deste recurso, com a finalidade de não se comprometer uma carreira de tantas mil horas de voo de um piloto reabilitado pelo IC, poderia haver a restrição no CMA, como acontece na legislação americana nos casos de surdez, permitindo a atuação de usuários de IC nas áreas onde a comunicação via rádio não seja necessária. Já um piloto com perda auditiva unilateral reabilitado com IC teria melhor desempenho na compreensão da fala em condições ruidosas, em relação ao piloto com audição monoaural, e poderia usar o fone sobre a orelha não implantada e o sistema de conexão direta ao sistema de rádio da aeronave na outra orelha com IC.

De qualquer forma mais testes de inteligibilidade, principalmente no ruído da aeronave, para a qual a licença de voo está sendo solicitada, são necessários para embasar critérios frente à possibilidade de reabilitação auditiva através do IC em pilotos da aviação civil.

7. CONCLUSÕES

7. CONCLUSÕES

Os usuários de IC não alcançaram níveis de inteligibilidade de fala compatíveis com os requisitos auditivos para pilotos da aviação civil nos testes realizados no helicóptero. Mesmo aqueles com bons escores para dissílabos em cabine audiométrica, (acima de 80%) não mantiveram o bom desempenho na situação menos adversa de exposição ao ruído (conexão direta).

Os recursos de atenuação de ruído propostos neste estudo auxiliaram na inteligibilidade de fala dos implantados expostos ao ruído da cabine do helicóptero, havendo diferença significativa para as frases quando foi acionado o sistema antirruído dos fones. Já o sistema de conexão direta contribuiu para a melhora significativa na inteligibilidade dos números e dos dissílabos.

A comunicação pelo rádio por si só também interferiu de forma significativa na inteligibilidade de usuários de implante coclear.

8. ANEXOS

.1 Anexo A – Aprovação CAPPesq



Hospital das Clínicas da FMUSP
Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq

PROJETO DE PESQUISA

Título: PERFORMANCE DE USUÁRIOS DE IMPLANTE COCLEAR EM TESTE DE INTELIGIBILIDADE NO POSTO DE PILOTAGEM

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Ricardo Ferreira Bento **Versão:** 1

Pesquisador Executante: Juliana Maria Araujo Caldeira **CAAE:** 16066813.9.0000.0068

Co-autores: Fábio Andrade de Almeida, Maria Valéria S. Goffi Gomez

Finalidade Acadêmica: Doutorado

Instituição: HCFMUSP

Departamento: OTALMOLOGIA E OTORRINOLARINGOLOGIA

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Registro on-line: 10719

Número do Parecer: 294.148

Data da Relatoria: 05/06/13

Apresentação do Projeto: Estudar a interferência que um usuário do implante coclear, uni e bilateral, no posto de pilotagem, possa exercer sobre os equipamentos da cabine de uma aeronave; avaliar a sua performance auditiva na conversação direta no cockpit, e na radiocomunicação nas condições de um posto de pilotagem. Métodos: No Instituto de Aeronáutica e Espaço será avaliada a compatibilidade eletromagnética de usuários de IC unilateral e bilateral frente aos equipamentos de navegação e segurança na cabine da aeronave Brasília. Numa segunda etapa será realizado teste de inteligibilidade para avaliar a resposta auditiva por meio de comunicação oral direta e comunicação via rádio no posto de pilotagem da aeronave com os motores ligados. Os usuários de IC deverão registrar por escrito palavras ditadas não relacionadas a termos aeronáuticos conforme seu entendimento. As respostas obtidas e o índice de acertos serão analisados posteriormente.

Objetivo da Pesquisa: 1. Estudar a interferência que um usuário do implante coclear, uni e bilateral, no posto de pilotagem, possa exercer sobre os equipamentos da cabine de uma aeronave; 2. Avaliar a performance auditiva de usuários de implante coclear uni e bilateral na conversação direta no cockpit, nas condições de um posto de pilotagem; 3. Avaliar a performance auditiva de usuários de implante coclear uni e bilateral na radiocomunicação em um posto de pilotagem.

Avaliação dos Riscos e Benefícios: Risco mínimo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa: O tema é relevante e a metodologia está adequada.

Rua Dr. Ovídio Pires de Campos, 225 - Prédio da Administração - 5º andar
CEP 05403-010 - São Paulo - SP.
55 11 2661-7585 - 55 11 2661-6442 ramais: 16, 17, 18 | marcia.carvalho@hc.fm.usp.br



Hospital das Clínicas da FMUSP
Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória: Ok.

Recomendações: Ok.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações: Ok.

Situação do Parecer: Aprovado.

Necessita Apreciação da CONEP: Não.

Considerações Finais a critério do CEP: Em conformidade com o item IX.2 da Resolução CNS nº 196/96 – cabe ao pesquisador: **a)** desenvolver o projeto conforme delineado; **b)** elaborar e apresentar relatórios parciais e final; **c)** apresentar dados solicitados pelo CEP, a qualquer momento; **d)** manter em arquivo sob sua guarda, por 5 anos da pesquisa, contendo fichas individuais e todos os demais documentos recomendados pelo CEP; **e)** encaminhar os resultados para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico participante do projeto; **f)** justificar perante ao CEP interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

São Paulo, 05 de Junho de 2013

Prof. Dr. Luiz Eugênio Garcez Leme
Coordenador
Comissão de Ética para Análise de
Projetos de Pesquisa-CAPPesq

8.2 Anexo B – Modelo das folhas de respostas

Nome: _____

Frases

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____
- 7 _____
- 8 _____
- 9 _____
- 10 _____

Números

Palavras		
1.....	11.....	21.....
2.....	12.....	22.....
3.....	13.....	23.....
4.....	14.....	24.....
5.....	15.....	25.....
6.....	16.....	
7.....	17.....	
8.....	18.....	
9.....	19.....	
10.....	20.....	

8.3 Anexo C – Listas de sentenças

Sentenças contexto aberto 1

1) Meu filho está ouvindo música
2) Não paguei a conta do bar
3) A chuva inundou a rua
4) O aluno quer assistir ao filme
5) Amanhã não posso almoçar
6) Ela viaja em dezembro
7) Você teve muita sorte
8) Sua mãe pôs o carro na garagem
9) Ainda não pensei no que fazer
10) Essa estrada é perigosa

Sentenças contexto aberto 2

1) Encontrei seu irmão na rua
2) Parece que agora vai chover
3) Hoje é meu dia de folga
4) Elas viajaram de avião
5) Seu trabalho estará pronto amanhã
6) Esqueci de comprar os pães
7) Ouvi uma música linda
8) Acabei de passar um cafezinho
9) A bolsa está dentro do carro
10) Ainda não está na hora

Sentenças contexto aberto 3

1) Ela esqueceu a chave do carro
2) Ligo para você amanhã
3) Os preços subiram demais
4) Não perguntei o nome da rua
5) Os meninos estão jogando bola
6) A porta estava aberta
7) Ela ganhou a viagem de férias
8) Preciso fazer o jantar
9) Deixei as folhas encima da mesa
10) Sua mãe não comprou a casa

Sentenças contexto aberto 4

1) O avião já está atrasado
2) O jantar da sua mãe estava bom
3) Esqueci de ir ao banco
4) O preço da roupa não subiu
5) Avisei o seu filho agora
6) Tem que esperar na fila
7) Elas foram almoçar mais tarde
8) Ganhei um carro azul lindo
9) Ela não está com muita pressa
10) Não pude chegar na hora

Sentenças contexto aberto 5

1)É perigoso andar nesta rua
2)Não encontrei meu filho
3)A chuva foi muito forte
4)Ela acabou de bater o carro
5)Não posso dizer nada
6)Esqueci de levar a bolsa
7)Os pães estavam quentes
8)Os preços subiram na segunda
9)Elas já alugaram uma casa na praia
10)Meu irmão viajou de manhã

Sentenças contexto aberto 6

1) Os preços não devem subir
2) Vou viajar as nove da manhã
3) Cheguei atrasada na aula
4) Esta rua é perigosa
5) Esqueci da bolsa na sua mesa
6) Não falei com sua filha
7) Ela comprou os últimos pães
8) Meu irmão bateu o carro ontem
9) Prometi a ele não contar o segredo
10) A casa de campo já foi alugada

8.4 Anexo D– Listas de Números e Palavras

Números 1	Números 2	Números 3	Números 4	Números 5	Números 6
37: três sete	24: dois quatro	96: nove meia	11: uno uno	41: quatro uno	94: nove quatro
5: cinco	97: nove sete	53: cinco três	75: sete cinco	66: meia meia	77: sete sete
39: três nove	59: cinco Nove	35: três cinco	90: nove zero	4: quatro	59: cinco nove
93: nove três	58: cinco oito	68: meia oito	43: quatro três	30: três zero	0: zero
19: uno nove	25: dois cinco	98: nove oito	81: oito uno	14: uno quatro	20: dois zero
29: dois nove	8: oito	16: uno meia	10: uno zero	71: sete uno	86: oito meia
85: oito cinco	27: dois sete	22: dois dois	69: meia nove	51: cinco uno	72: sete dois
49: quatro nove	46: quatro meia	3: três	74: sete quatro	76: sete meia	21: dois uno
6: meia	91: nove uno	84: oito quatro	91: nove uno	56: cinco meia	67: meia sete
57: cinco sete	33: três três	9: nove	52: cinco dois	70: sete zero	15: uno cinco

Dissílabos 1	Dissílabos 2	Dissílabos 3	Dissílabos 4	Dissílabos 5	Dissílabos 6	Alfabeto
1) caro	1) ano	1) classe	1) zona	1) rede	1) valsa	1) tango
2) pena	2) nova	2) volta	2) porta	2) parte	2) menos	2) charlie
3) logo	3) nenhum	3) porto	3) forma	3) dama	3) função	3) papa
4) belo	4) alma	4) fogo	4) filho	4) vidro	4) velho	4) uniform
5) triste	5) troca	5) conta	5) rosa	5) prova	5) santa	5) kilo
6) juiz	6) ninho	6) santo	6) preto	6) pobre	6) falta	6) foxtrot
7) 7)gato	7) grupo	7) preso	7) estar	7) clima	7) dever	7) alfa
8) barro	8) alto	8) comum	8) cheio	8) baixo	8) roupa	8) victor
9) sede	9) quanto	9) brasil	9) peso	9) matar	9) placa	9) lima
10) hoje	10) homem	10) pronto	10) malha	10) longe	10) gelo	10) juliett
11) chave	11) final	11) partir	11) calor	11) área	11) causa	11) golf
12) prato	12) pensar	12) cena	12) tempo	12) nunca	12) gota	12) mike
13) meio	13) jogo	13) sangue	13) flores	13) centro	13) entrar	13) yankee
14) tipo	14) barra	14) custo	14) branca	14) boa	14) sorte	14) bravo
15) rua	15) servir	15) canto	15) passar	15) lembrar	15) nariz	15) x-ray
16) frio	16) frente	16) muito	16) jovem	16) filha	16) fácil	16) zulu
17) fazer	17) dona	17) lugar	17) culpa	17) civil	17) dentro	17) quebec
18) zebra	18) poder	18) casa	18) carro	18) casar	18) valor	18) november
19) seguir	19) perder	19) bicho	19) menor	19) meia	19) qualquer	19) whiskey
20) dormir	20) chuva	20) gente	20) falar	20) local	20) dizer	20) hotel
21) chamar	21) tomar	21) faca	21) branco	21) campo	21) cola	21) romeo
22) mesa	22) grande	22) papel	22) razão	22) senhor	22) mulher	22) delta
23) jardim	23) boca	23) melhor	23) vida	23) filme	23) gema	23) sierra
24) água	24) jornal	24) manhã	24) sentir	24) banco	24) sonho	24) oscar
25) hotel	25) farol	25) sempre	25) cama	25) depois	25) bola	25) india

9. REFERÊNCIAS

9. REFERÊNCIAS

Albernaz PLM. Implante coclear. Parte 2. *Rev Bras Med Otorrinolaringol.* 1996; 3(2):119-22.

Andrade AN, Iorio MCM, Gil D. Reconhecimento de fala em indivíduos com perda auditiva neurossensorial. *Braz. J. Otorhinolaryngol.* 2016;vol.82 no.3 São Paulo.

Arndt S, Aschendorff A, Laszig R., Beck R, Schild C, Kroeger S, Ihorst G, Wesarg T. Comparison of pseudobinaural hearing to real binaural hearing rehabilitation after cochlear implantation in patients with unilateral deafness and tinnitus. *Otol Neurotol.* 2011;32(1):39-47.

Bento RF, Neto RB, Castilho AM, Gómez VG, Giorgi SB, Guedes MC. Resultados auditivos com o implante coclear multicanal em pacientes submetidos a cirurgia no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. *Rev. Bras. Otorrinolaringol.* 2004;70(5):632-7.

Bishop CE, Eby TL. The current status of audiologic rehabilitation for profound unilateral sensorineural hearing loss. *Laryngoscope.* 2010;120:552-556.

Blamey PJ, Pyman BC, Gordon M et al. Factors predicting postoperative sentence scores in postlinguistically deaf adult cochlear implant patients. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1992;101:342-8.

Blamey P, Artieres F, Başkent D, Bergeron F, Beynon A, Burke E, Dillier N, Dowell R, Fraysse B, Gallégo S, Govaerts PJ, Green K, Huber AM, Kleine-Punte A, Maat B, Marx M, Mawman D, Mosnier I, O'Connor AF, O'Leary S, Rousset A, Schauwers K, Skarzynski H, Skarzynski PH, Sterkers O, Terranti A, Truy E, Van de Heyning P, Venail F, Vincent C, Lazard DS. Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: An update with 2251 patients. *Audiol Neurootol.* 2013;18(1):36-47.

Boisvert I, McMahon CM, Tremblay G, Lyxell B. Relative importance of monaural sound deprivation and bilateral hearing loss in predicting cochlear implantation outcomes. *Ear Hear.* 2011;32(6):758-66.

Boisvert, I., Lyxell, B., Mäki-Torkko, E., et al. Choice of ear for cochlear implantation in adults with monaural sound-deprivation and unilateral hearing aid. *Otol Neurotol.* 2012;33(4):572-9.

Brasil. Anac. *Instrução Suplementar nº 67-004 Revisão A*; 2015. [citado 05 de julho de 2017]. Disponível em: http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-67-004a/@@display-file/arquivo_norma/IS67-004A.pdf

Brasil. Anac. *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 67 Emenda nº 00*; 2011. [citado 05 julho de 2017]. Disponível em:

http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-067-emd-00/@_@display-file/arquivo_norma/RBAC67EMD01.pdf

Brasil. Decea. *Manual do Comando da Aeronáutica - MCA 100-13 - Procedimentos Operacionais para o Uso de Comunicação por Enlace de Dados Controlador-Piloto (CPDLC) e de Vigilância Dependente Automática - Contrato (ADS-C) no ATS. 10 de agosto de 2009.* [citado 05 julho de 2017]. Disponível em: <http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=2613>.

Buckey JCJ, Musiek FE, Schoder RK, Clark JC, Hart S, Havelka J. Hearing loss in space. *Aviat Space Environ Med.* 2001;72:1121-4.

Caili.J, Galvin JJ, Yi-ping C, Anting X., Qian JF. Perception of speech produced by native and nonnative talkers by listeners with normal hearing and listeners with cochlear implants. *J Speech Lang Hear Res.* 2014;57(2):532-54.

Caldeira JMA, Almeida FA, Ribeiro MA, Alonso JDA, Goffi-Gomez MVS, Bento RF. Electromagnetic compatibility of cochlear implant with an aircraft cockpit. *Audiology Neurotology Extra.* 2014;4(2):56-61.

Coez A, Zilbovicius M, Ferrary E, Bouccara D, Mosnier I, Ambert-Dahan E, Bizaguet E, Syrota A, Samson Y, Sterkers O. Cochlear implant benefits in deafness rehabilitation: pet study of temporal voice activations. *J Nucl Med.* 2008;49(1):60-7.

Costa MJ, Iorio MCM, Mangabeira-Albernaz PL. Development of a test to evaluate speech recognition with and without noise. *Pro-fono.* 2000;12(2):09-16.

Cushing S. *Fatal Words, Communication Clashes and Aircraft Crashes.* Chicago: Chicago University Press; 1994.

Deelen GW, Blom JH. Hearing loss and radiotelephony intelligibility in civilian airline pilots. *Aviat Space Environ Med.* 1990;61(1):52-5.

FAA - Federal Aviation Administration. Guide For Aviation Medical Examiners; 2016. [citado 04 jul.2017]. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/aam/ame/guide/pp_process/exam_tech/item49/amd/.

Fetterman BL, Domico EH. Speech recognition in background noise of cochlear implant patients. *Otolaryngol Head Neck Surgery.* 2002;126(3):257-63.

Francis H W, Yeagle, JD, Brightwell, T, Venick H. Central effects of residual hearing: Implications for choice of ear for cochlear implantation. *Laryngoscope.* 2004; 114 (10): 1747-52.

Gama MR. *Percepção de fala: uma proposta de avaliação qualitativa.* São Paulo: Pancast, 1994.

Ghiselli S, Nedic S, Montino S, Astolfi L, Bovo R. Cochlear implantation in post-lingually deafened adults and elderly patients: analysis of audiometric and speech perception outcomes during the first year of use. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2016; 36(6):513-19.

- Gifford RH, Shallop JK, Peterson AM. Speech recognition materials and ceiling effects: considerations for cochlear implant programs. *Audiology Neurotology*. 2008;13(3):193-205.
- Gil FO. *Metodologia de Avaliação de Segurança das Comunicações entre Controlador e Piloto Via Enlace de Dados (CDPLC) Aplicada em Áreas Terminais*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2011.
- Gomez MVSG, Guedes MC, Sant'Anna SBG, Peralta CGO, Tsuji RK, Castilho AM, Neto RVB, Bento RF. Critérios de Seleção e Avaliação Médica e Audiológica dos Candidatos ao Implante Coclear: Protocolo HCFMUSP. *Arquivos Internacionais de Otorrinolaringologia*. 2004;8(4):295-317.
- Green KMJ, Bhatt YM, Mawman DJ, O'Driscoll MP, Saeed SR, Ramsden RT, Green MW. Predictors of audiological outcome following cochlear implantation in adults. *Cochlear Implants Int*. 2007;8(1):1-11.
- Grossmann W, Brill S, Moeltner A, Mlynski R, Hagen R, Radeloff A. Cochlear Implantation Improves Spatial Release from Masking and Restores Localization Abilities in Single-sided Deaf Patients. *Otol Neurotol*. 2016;37(6):658-64.
- Hazrati O, Loizou PC. The combined effects of reverberation and noise on speech intelligibility by cochlear implant listeners. *Int J Audiol*. 2012;51(6):437-43.
- Hazrati O, Sadjadi SO, Loizou PC, Hansen JH. Simultaneous suppression of noise and reverberation in cochlear implants using a ratio masking strategy. *J Acoust Soc Am*. 2013;134(5):3759-65.
- Helleberg JR, Wickens CD. Effects of data-link modality and display redundancy on pilot performance: an attentional perspective. *Int J Aviat Psychol*. 2003;13(3):189-210.
- Holden LK, Finley CC, Firszt JB, Holden TA, Brenner C, Potts LG, Gotter BD, Vanderhoof SS, Mispagel K, Heydebrand G, Skinner MW. Factors affecting open-set word recognition in adults with Cochlear implants. *Ear Hear*. 2013;34(3):342-60.
- Hoth S, Rösli-Khabas M, Herisanu I, Plinkert PK, Praetorius M. Cochlear implantation in recipients with single-sided deafness: Audiological performance. *Cochlear Implants Int*. 2016;17(4):190-9.
- ICAO - International Civil Aviation Organization. Manual of Civil Aviation Medicine. 3rd ed. Quebec, Canada; 2012. [citado 04 jul.2017]. Disponível em: https://www.icao.int/publications/documents/8984_cons_en.pdf.
- Junior FC, Pinna MH, Alves RD, Malerbi AFS, Bento RF. Cochlear Implantation and Single-sided Deafness: A Systematic Review of the Literature. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2016;20(1):69-75.
- Kalazans DC. *Acidentes Aéreos: Conheça os bastidores das investigações de acidentes aeronáuticos*. São Paulo: Bianchi; 2013.
- Kerns K. Data-link communication between controllers and pilots: A review and synthesis of the simulation literature. *Int J Aviat Psychol*. 1991;1(3):181-204.

- Krause JC, Braida LD. Investigating alternative forms of clear speech: The effects of speaking rate and speaking mode on intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2002;112:2165-73.
- Kuchar J, Junqueira CMC. Inteligibilidade de fala com e sem ruído em indivíduos expostos à música eletrônica. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2010;76(3):280-6.
- Lancaster JA, Casali JG. Investigating pilot performance using mixed-modality simulated data link. *Hum Factors*. 2008;50(2):183-93.
- Louza J, Hempel JM, Krause E, Berghaus A, Müller J, Braun T. Patient benefit from Cochlear implantation in single-sided deafness: a 1-year follow-up. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2017;274(6):2405-09.
- Manrique M, Ramos A, Morera C, Cenjor C, Lavilla MJ, Boleas MS, Cervera-Paz FJ. Analysis of the cochlear implant as a treatment technique for profound hearing loss in pre and postlocutive patients. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2006;57(1):2-23.
- Materiais de Audiometria de Fala em Português* [CD-ROM]. Brigham Young University; 1999.
- Matschke RG. Communication and noise. Speech intelligibility of airplane pilots with and without active noise compensation. *HNO*. 1994;42(8):499-504.
- Mesquita ALA, Fernandes RME, Brasil GLR. Análise do tempo de exposição ao ruído gerado por helicóptero. *Revista de Engenharia e Tecnologia Revista de Engenharia e Tecnologia*. 2013;5(2):36-43.
- Mertens G, Kleine Punte A, De Bodt M, Van de Heyning P. Binaural auditory outcomes in patients with postlingual profound unilateral hearing loss: 3 years after cochlear implantation. *Audiol Neurootol*. 2015;20(suppl 1):67-72.
- Middlebrooks JC, Bierer JA, Snyder RL. Cochlear implants: the view from the brain. *Curr Opin Neurobiol*. 2005;15(4):488-93.
- Molesworth BRC, Burgess M. Improving intelligibility at a safety critical point: In flight cabin safety. *Safety Science*. 2013;51(1):11-6.
- Molesworth BRC, Burgess M, Kwon D. The use of noise cancelling headphones to improve concurrent task performance in a noisy environment. *Applied Acoustics*. 2013;74(1):110-5.
- Morera C, Manrique M, Ramos A, Garcia-Ibanez L, Cavalle L, Huarte A, Castillo C, Estrada E. Advantages of binaural hearing provided through bimodal stimulation via a cochlear implant and a conventional hearing aid: A 6-month comparative study. *Acta Oto-Laryngologica*. 2005;125(6):596-606.
- Mühler R, Ziese M, Rostalski D, Verhey JL. On the effect of reverberation on speech intelligibility by cochlear implant listeners. *HNO*. 2014;62(1):35-40.

- Müller J, Schön F, Helms J. Speech understanding in quiet and noise in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40 + cochlear implant system. *Ear Hear.* 2002;23(3):198-206.
- Plant K, McDermott H, van Hoesel R, Dawson P, Cowan R. Factors Predicting Postoperative Unilateral and Bilateral Speech Recognition in Adult Cochlear Implant Recipients with Acoustic Hearing. *Ear Hear.* 2016;37(2):153-63.
- Prado AS (Quarto Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos). Planilha com relatório estatístico de acidentes aéreos ocorridos por falha de comunicação. São Paulo;2017. Ofício nº 126/SSFE/309, protocolo Comaer nº 67016.000302/2017-36.
- Rama-López J, Cervera-Paz FJ, Manrique M. Cochlear implantation of patients with far-advanced otosclerosis. *Otol Neurotol.* 2006;27(2):153-8.
- Sampaio ALL, Araújo MFS, Oliveira CACP. New criteria of indication and selection of patients to cochlear implant. *Int J Otolaryngol.* 2011(2);39-47.
- Santos KTP, Fernandes JC, Amorim RB, Bevilacqua MC. Evaluation of Speech Perception in Noise in Different Positions in Adults with Cochlear Implant. *International Archives of Otorhinolaryngology.* 2009;13(1):16-23.
- Sapiejewski R, inventor; Bose Corporation, in-the-ear noise reduction headphones. United States Patent US 6,683,965 2004 Jan 27.
- Saroul N, Akkari M, Pavier Y, Gilain L, Mom T. Long-term benefit and sound localization in patients with single-sided deafness rehabilitated with an osseointegrated bone-conduction device. *Otol Neurotol.* 2013;34(1):111-4.
- Seghier ML, Boëx C, Lazeyras F, Sigrist A, Pelizzone M. fMRI evidence for activation of multiple cortical regions in the primary auditory cortex of deaf subjects users of multichannel cochlear implants. *Cereb Cortex.* 2005;15(1):40-8.
- Sheng L, Del Rio E, Bradlow AR, Fan-Gang Z. Clear speech perception in acoustic and electric hearing. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2004;116(4):2374-83.
- Shizhang W, supervisor Richter E, Nehorai A, Chen W. Noise Canceling Headphones. Department of Electrical and Systems Engineering Washington University in St. Louis: Fall; 2008.
- Sladen DP, Frisch CD, Carlson ML, Driscoll CL, Torres JH, Zeitler DM. Cochlear implantation for single-sided deafness: a multicenter study. *Laryngoscope.* 2017;127(1):223-8.
- Steelman KS, Talleur D, Carbonari R, Yamani Y, Nunes A, McCarley JS. Auditory, visual, and bimodal data link displays and how they support pilot performance. *Aviat Space Environ Med.* 2013;84(6):560-6.
- Távora-Vieira D, Marino R, Acharya A, Rajan GP. The impact of cochlear implantation on speech understanding, subjective hearing performance, and tinnitus perception in

patients with unilateral severe to profound hearing loss. *Otol Neurotol*. 2015;36(3):430-6.

Thai-Van H, Veuillet E, Norena A, Guiraud J, Collet L. Plasticity of tonotopic maps in humans: influence of hearing loss, hearing aids and cochlear implants. *Acta Otolaryngol*. 2010;130(3):333-7.

Tokita J, Dunn C, Hansen M R. Cochlear implantation and single-sided deafness. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2014;22(5):353-8.

U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Cochlear Implants Exempt from Rules Regarding Portable Electronic Devices. Information for Operators. Info 07022 Date 12/18/07.

U.S. 14 CFR Part 67. Medical standards and certification. Federal Register /vol. 61, no. 54/ tuesday, march 19, 1996 / rules and regulations 11257. [citado 05 julho de 2017]. Disponível em: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/67.105>.

Wagstaff AS, Arva P. Hearing loss in civilian airline and helicopter pilots compared to air traffic control personnel. *Aviat Space Environ Med*. 2009;80(10):857-61.

Wickens CD. Multiple resources and performance prediction. *Theor Issues Ergon*. 2002;3(2):159-77.

Wimmer W, Weder S, Caversaccio M., Kompis M. Speech Intelligibility in Noise with a Pinna Effect Imitating Cochlear Implant Processor. *Otol Neurotol*. 2016;37(1):19-23.

Wolfe J, Morais M, Schafer E, Agrawal S, Koch D. Evaluation of speech recognition of cochlear implant recipients using adaptive, digital remote microphone technology and a speech enhancement sound processing algorithm. *J Am Acad Audiol*. 2015;26(5):502-8.

Yamaguchi CT, Gomez MVSG. Cochlear Implant User's Audiological Profile and Individual Sound Amplification Apparatus in the Contralateral Ear: Preliminary Results. *Rev. CEFAC*. 2009;11(3):494-8.

10. APÊNDICE

Manual of Civil Aviation Medicine-ICAO - chapter 12 Otorhinolaryngology

shaped fistula using vein or fascia graft to avoid lateral displacement at an accidental opening during a sudden decompression which might induce incapacitating vertigo.

12.5.3 Applicants should not fly for a period of one to three months following stapes surgery to allow complete healing to take place. Thereafter, a specialized ENT assessment should be made to ascertain Eustachian tube patency and the absence of vertigo, past pointing, nystagmus or unsteadiness during the Valsalva manoeuvre and while blowing the nose forcibly.

12.5.4 An applicant who, after this three-month period, has not had vertigo and has post-operative acceptable hearing may be allowed to fly only under operational restrictions such as flying with or as a co-pilot only or with a safety pilot for a two-year observation period. The final decision to remove these restrictions should then be considered.

12.5.5 It is essential that such a pilot be told of the potential hazards of upper respiratory tract infections or other conditions which may interfere with ventilation of the middle ear.

12.5.6 A surgical reconstruction referred to as tympanoplasty has been known since 1956. The aims are twofold — firstly to improve hearing and secondly to close small or large perforations of the tympanic membrane and rebuild the middle ear structures. Once again a careful history must be obtained.

12.5.7 If the hearing is within Annex 1 provisions, there is no vertigo, and the new tympanic membrane is intact and free of disease, there should be no restrictions on the applicant's ability to fly.

12.6 HEARING ASSESSMENT

12.6.1 Most applicants have fairly good or serviceable hearing. There are, however, borderline cases, and there are changes in the hearing of applicants with time. Consequently, hearing must be re-examined at specified intervals. The hearing test requirements and the hearing requirements are detailed in Annex 1 as follows:

6.2.5 Hearing test requirements

6.2.5.1 Contracting States shall use such methods of examination as will guarantee reliable testing of hearing.

6.2.5.2 Applicants shall be required to demonstrate a hearing performance sufficient for the safe exercise of their licence and rating privileges.

6.2.5.3 Applicants for Class 1 Medical Assessments shall be tested by pure-tone audiometry at first issue of the Assessment, not less than once every five years up to the age of 40 years, and thereafter not less than once every two years.

6.2.5.3.1 Alternatively, other methods providing equivalent results may be used.

6.2.5.4 Applicants for Class 3 Medical Assessments shall be tested by pure-tone audiometry at first issue of the Assessment, not less than once every four years up to the age of 40 years, and thereafter not less than once every two years.

6.2.5.4.1 Alternatively, other methods providing equivalent results may be used.

6.2.5.5 **Recommendation.**— Applicants for Class 2 Medical Assessment should be tested by pure-tone audiometry at first issue of the Assessment and, after the age of 50 years, not less than once every two years.

6.2.5.6 At medical examinations, other than those mentioned in 6.2.5.3, 6.2.5.4 and 6.2.5.5, where audiometry is not performed, applicants shall be tested in a quiet room by whispered and spoken voice tests.

Note 1.— The reference zero for calibration of pure-tone audiometers is that of the pertinent Standards of the current edition of the Audiometric Test Methods, published by the International Organization for Standardization (ISO).

Note 2.— For the purpose of testing hearing in accordance with the requirements, a quiet room is a room in which the intensity of the background noise is less than 35 dB(A).

Note 3.— For the purpose of testing hearing in accordance with the requirements, the sound level of an average conversational voice at 1 m from the point of output (lower lip of the speaker) is c. 60 dB(A) and that of a whispered voice c. 45dB(A). At 2 m from the speaker, the sound level is 6 dB(A) lower.

Note 4.— Guidance on assessment of applicants who use hearing aids is contained in the Manual of Civil Aviation Medicine (Doc 8984).

Note 5.— Attention is called to 2.7.1.3.1 on requirements for the issue of instrument rating to applicants who hold a private pilot licence.

Paragraph 2.7.1.3.1 refers to the requirements of a private pilot who wishes to obtain an instrument rating.

2.7.1.3.1 Applicants who hold a private pilot licence shall have established their hearing acuity on the basis of compliance with the hearing requirements for the issue of a Class 1 Medical Assessment.

....

6.3 Class 1 Medical Assessment

....

6.3.4 Hearing requirements

6.3.4.1 The applicant, when tested on a pure-tone audiometer, shall not have a hearing loss, in either ear separately, of more than 35 dB at any of the frequencies 500, 1 000 or 2 000 Hz, or more than 50 dB at 3 000 Hz.

6.3.4.1.1 An applicant with a hearing loss greater than the above may be declared fit provided that the applicant has normal hearing performance against a background noise that reproduces or simulates the masking properties of flight deck noise upon speech and beacon signals.

Note 1.— It is important that the background noise be representative of the noise in the cockpit of the type of aircraft for which the applicant's licence and ratings are valid.

Note 2.— In the speech material for discrimination testing, both aviation-relevant phrases and phonetically balanced words are normally used.

6.3.4.1.2 Alternatively, a practical hearing test conducted in flight in the cockpit of an aircraft of the type for which the applicant's licence and ratings are valid may be used.

....

6.4 Class 2 Medical Assessment

....

6.4.4 Hearing requirements

Note.— Attention is called to 2.7.1.3.1 on requirements for the issue of instrument rating to applicants who hold a private pilot licence.

6.4.4.1 Applicants who are unable to hear an average conversational voice in a quiet room, using both ears, at a distance of 2 m from the examiner and with the back turned to the examiner, shall be assessed as unfit.

6.4.4.2 When tested by pure-tone audiometry, an applicant with a hearing loss, in either ear separately, of more than 35 dB at any of the frequencies 500, 1 000 or 2 000 Hz, or more than 50 dB at 3 000 Hz, shall be assessed as unfit.

6.4.4.3 **Recommendation.—** An applicant who does not meet the requirements in 6.4.4.1 or 6.4.4.2 should undergo further testing in accordance with 6.3.4.1.1.

....

12.8.2 The purpose of the hearing tests is to determine as nearly as possible the degree and type of any hearing loss and functional impairment and to ascertain whether hearing function is satisfactory for the safe performance of aviation duties as required in Annex 1. Hearing tests are useful for the diagnosis of certain diseases of the ear and to separate disturbances of sound conduction from those of sound perception.

12.8.3 Hearing tests commonly employed include the use of whispered and spoken voice and tuning forks. These methods yield much knowledge for the assessment of hearing if they are employed intelligently. However, the results obtained are likely to be more qualitative than quantitative when assessed by inexperienced examiners. Quantitative determinations are made with the electrically calibrated audiometer, which produces sound of known intensity — either pure tone signals (at various frequencies) or actual speech (recorded or "live").

Whispered and spoken voice tests

12.8.4 The examiner who uses his voice to test an applicant's hearing must know how well his own voice is heard at different distances and how to vary the intensity of his own voice so that each applicant is tested under similar conditions. One can begin testing with a very low whisper, the lips about half a metre from the applicant's ear and directed toward the ear. The examiner exhales and then whispers. In a quiet room an applicant with normal hearing can repeat what is said to him. If he cannot understand a low whisper, the examiner uses a medium whisper and finally a loud whisper. The examiner gradually increases the intensity of his voice until the applicant responds correctly.

12.8.5 Hearing requirements for the issue and renewal of flight crew and air traffic controller licences in international civil aviation are contained in Annex 1, Chapter 6, 6.3.4 — Hearing requirements (for Class 1 Medical Assessment), 6.4.4 (for Class 2 Medical Assessment) and 6.5.4 (for Class 3 Medical Assessment). For Class 2 Medical Assessment, it is stated, *inter alia*, that the applicant must have the ability to hear an average conversational voice in a quiet room, using both ears, at a distance of 2 metres (6 feet) from the examiner, with the back turned to the examiner.

12.8.6 Care must be taken in the choice of word material used to test hearing. Questions which can be answered by "yes" or "no" should be avoided. It is better to have the applicant repeat familiar bisyllabic words (known as "spondee"⁵ words) such as snowball, cowboy and mousetrap or to ask a question such as "How many singers constitute a quartet?" It is important to be certain that the applicant cannot read the examiner's lips.

12.8.7 Applicants with sensorineural hearing loss may hear a spoken voice much better than a whisper, even a loud one. The reason is they tend to have a greater loss in high than in low frequencies and the whisper contains more high frequencies than does the spoken voice.

Tuning fork tests

12.8.8 Tuning fork tests for hearing remain an important part of the hearing examination. The most useful tuning fork for testing hearing is the 512 Hz fork. The examiner should understand and be able to do a Weber⁶ and a Rinne⁷ test (*vide infra*). The 512 Hz fork is selected because it is not felt as a vibration and higher frequencies are heard by air conduction.

12.8.9 A tuning fork should be stroked between the thumb and index finger, gently tapped on the knuckle, or carefully activated with a rubber reflex hammer. Striking the fork too hard produces overtones as well as too intense a sound. When tuning forks are used for testing, masking may be necessary. A simple improvised mask is a sheet of glazed

⁵ Spondee: having two long syllables (— —).

⁶ After Friedrich Eugen Weber, German otologist (1832–1891).

⁷ After Friedrich Heinrich Rinne, German otologist (1819–1868).

Speech audiometry

12.9.14 A speech audiometer is essentially the same instrument as the pure-tone audiometer. It produces the spoken voice rather than pure tones at controlled intensity levels. The spoken voice may be a "live voice" but is normally a recorded voice, preferably by a selected speaker (air traffic controller). Speech audiometry is basically a speech intelligibility test. The percentage of words correctly perceived, independently of the type of material used, gives the intelligibility rate (articulation score). This rate, even in normal persons, will depend considerably on the test word material used, predominantly spondee words (already discussed under whispered voice tests) and phonetically balanced words.

12.9.15 Annex 1, 6.3.4.1.1, Note 2, indicates that "in the speech material for discrimination testing, both aviation-relevant phrases and phonetically balanced words are normally used". Tests should aim at an assessment of strictly auditory functions and not depend on the ability to grasp the meaning of codes and sentences heard incompletely, as in unfamiliar situations dangerous misunderstandings from incorrect interpretation might occur. The following material is used in several States for testing speech intelligibility, listed in order of increasing difficulty:

12.9.15.1 Short sentences: lists of simple sentences, subject, object and verb corresponding closely to normal speech and R/T messages presented at various intensity levels. They might be supplemented by lists of two-digit numbers. With normal hearing 100 per cent of this material is correctly understood.

12.9.15.2 Spondee words such as "aircraft, baseball, iceberg". The threshold is determined for a discrimination of 50 per cent.

12.9.15.3 Phonetically balanced (P-B) words: these are familiar monosyllabic (sometimes bisyllabic) words such as "at, tree, by, ice" selected so as to approximate the distribution of sound in ordinary conversation. The maximum P-B score is established at the individually optimal intensity level. Lists of phonetically balanced words have been established for many languages.

12.9.16 Speech audiograms can be produced by varying the intensity levels at which the test material is presented (abscissae) and plotting them against the speech intelligibility in percentages (ordinates). Separate curves may be presented on the speech audiogram for spondees, P-B words, figures and short sentences as appropriate. Although there appears to be a satisfactory degree of equivalence for the intelligibility of P-B lists in various languages, better uniformity of testing procedures should be aimed at internationally, referring particularly to the application of background noise.

12.9.17 An applicant with normal hearing will hear and correctly repeat 95 to 100 per cent of these words at individually suitable intensity levels. A discrimination score lower than 80 per cent should not be accepted. Those with sensorineural loss may fail to achieve a satisfactory score. No matter how loud P-B words are presented, the examinee with severe inner ear hearing loss fails to make an adequate score. In fact, if the intensity is increased beyond the range of his most comfortable loudness, his score may even become worse. This is poor discrimination ability.

12.9.18 In contrast, persons with conductive loss score high on this test. All that is required for them to hear well is amplification. Thus, they can use hearing aids very satisfactorily.

12.9.19 Certain frequencies are more important than others in the interpretation of speech. The most important frequencies are 500, 1 000, 2 000 and 3 000 Hz. Speech is essentially compressed into this range, which is sufficient for fairly complete understanding. In persons whose audiogram curves exhibit an abrupt drop, the average of the best two frequencies may give better correlation. Discrimination is usually bad when the drop affects speech frequencies. This is the person who will often remark, "I can hear you, but I can't understand you". These individuals have difficulty in group conversation or when listening against a background of noise.

12.10 EXAMINATION PROCEDURE FOR APPLICANTS WITH A POTENTIAL HEARING DISORDER

12.10.1 The examination may be conducted in the following way:

- a) Any extraneous material in the auditory canals (cerumen, purulent material, debris), which may impede the passage of sound waves or prevent the tympanic membrane or middle ear from being seen, is removed.
- b) Whispered and conversational voice tests are carried out. A 512 Hz fork is used to do a Weber and a Rinne Test.
- c) An audiogram is taken, showing both air and bone conduction graphs for each ear and indicating what fraction (percentage) of the hearing range has been rendered inaudible.
- d) The examinee is asked to state the effect of noisy surroundings, his ability to understand telephone conversation, and in addition, his reaction (pain, distress) to loud noises. His statements are recorded.
- e) The tympanic membrane is carefully examined and its mobility observed with a Siegle-type otoscope¹⁰ (pneumatic).
- f) In cases of conductive deafness, an attempt is made to introduce air into the middle ear (Valsalva manoeuvre, Politzer method¹¹, Eustachian catheter). An observation (or history) of appreciable improvement in hearing (even though transient) following the introduction of air is recorded.

12.10.2 With the exception of the audiogram, all of the above information can be obtained in a few minutes, and designated medical examiners should possess the apparatus used in obtaining it. The use of an impedance meter for tympanometry and reflex measurements can be of great value.

Speech-in-noise test

12.10.3 If an applicant fails to meet the pure-tone audiometry hearing requirement, he may be declared fit if he has "normal hearing performance against a background noise that reproduces or simulates the masking properties of flight deck noise upon speech and beacon signals" (Annex 1, 6.3.4.1.1)). In the assessment of applicants for air traffic control duties, 6.5.4.1.1 indicates that the applicant may be declared fit provided that he has "normal hearing performance against a background noise that reproduces or simulates that experienced in a typical air traffic control working environment."

12.10.4 The significance of speech-in-noise tests rests on the finding that aviation personnel with hearing loss, generally caused by exposure to aircraft noise during many years of service, may be able to understand communications under flight deck noise as well as those with normal hearing. This apparent improvement of hearing under noise is called recruitment. Flight safety under these conditions is not impaired as long as it is made certain in each case that intelligibility of speech and perception of signals under background noise, as well as hearing on the ground for briefing and check-list procedures is satisfactory (Annex 1, 6.3.4.1.1, Note 1). Such a test can be performed under different conditions for reproducing or simulating flight deck noise: white noise, tape recordings in flight, flight simulators or flight tests may be used. However, flight-deck noise levels and spectra differ between aircraft types (Table III-12-3). A high noise level is not

¹⁰ Siegle otoscope: an otoscope with a bulb attachment by which the air pressure in the external auditory canal can varied. After Emil Siegle, German otologist (1833–1900).

¹¹ Politzer method: inflation of the Eustachian tube and tympanum by forcing air into the nasal cavity at the moment when the patient swallows. After Adam Politzer, German otologist (1835–1920).

considered an essential factor as tests may also be carried out at lower noise levels (70–110 dB have been used, taking into account conditions prevailing in some aircraft, including take-off and landing).

12.10.5 The speech-in-noise test is further a screening procedure aimed at ensuring that applicants can reliably perceive radio communications and acoustic signals (beacons, warning signals); they must also hear aerodynamic flow (speed, approaching stall), engine performance and sounds associated with aircraft systems and instruments. Voice communications between crew members in the cockpit including instructions and routine check-list operations must be clearly understood, also during approach, landing and emergency operations.

12.10.6 The distances between pilots in the average airline flight deck varies from 0.6 to 1.2 m (2 to 4 ft), while the pilot-to-flight engineer distance is 0.6 to 1.8 m (2 to 6 ft).

12.10.7 Instrument landing system (ILS) modulation frequencies are: inner marker 3 000 Hz, middle marker 1 300 Hz, outer marker 400 Hz (Annex 10 — *Aeronautical Communications*, Vol. I, 3.1.6.4). NDB (non-directional beacon) modulating tone for identification is 1 020 Hz \pm 50 Hz or 400 Hz \pm 25 Hz.

12.10.8 The characteristics and intensity of flight-deck noise largely depend on the various types of aircraft and their engines (piston, turbo-prop, turbo-jet, turbo-fan) but also considerably on aerodynamic noise and the speed of the aircraft. The basic problem is the effect of flight-deck noise upon speech perception, i.e. speech interference levels. It is complicated by acoustically significant differences in the use of earphones or overhead speakers for listening to R/T signals. Earphones are often not designed for hearing protection, thus little sound attenuation is provided. Whether earphones or loudspeakers are used on the flight deck, the signal-to-ambient noise ratio can be varied through volume control.

12.10.9 As the speech-in-noise test is relevant for the final assessment of auditory fitness for applicants who have failed to meet the pure-tone audiometry requirements, these tests, as well as practical assessment in flight, if necessary, should be carried out so as to produce reliable results and to convey confidence on an international basis, considering their importance for flight safety. An applicant who fails to pass the pure-tone audiometry test should not be declared unfit because of hearing loss, if his speech and signal perception have been demonstrated to be within acceptable limits at the appropriate masking noise level.

12.10.10 The background noise, regulated at the desired intensity levels, can be presented to the ear on separate loudspeakers. The volume of the test material should be controllable by the applicant in a manner representative of the aircraft communication equipment.

12.11 TYPES OF HEARING LOSS

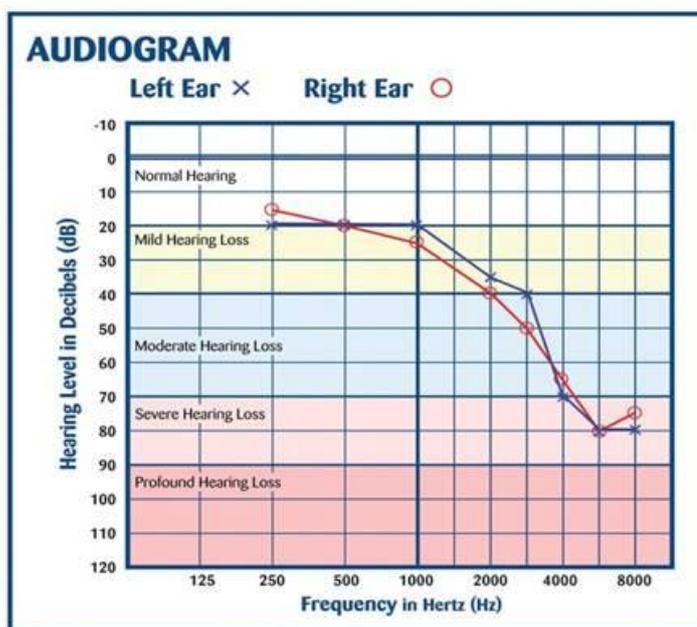
Monaural hearing loss

12.11.1 The risk of sudden loss of hearing during flight is negligible. Head-shadow effects, brought about by the head in certain positions, cause poorer discrimination during monaural reception and might affect efficient communication between crew members and should be taken into account. The question of whether the affected individual is a pilot-in-command or co-pilot is relevant because of the seating arrangements. The differences in signal-to-noise ratio necessary for equivalent monaural and binaural perception are usually 3–4 dB. Annex 1, 6.3.4.1 and 6.5.4.1, specify a hearing ability “in each ear separately”. In addition, 6.3.2.25 requires an applicant to “not possess any abnormality or disease of the ear”. Monaural hearing in both private pilots and professional flight crews should therefore always be investigated and evaluated in accordance with best medical practice as well as assessed under 6.3.4.1.1. It should be noted that under the provisions of Annex 6, multi-crew aircraft are required to have intercom and radio equipment which can be effectively used in these cases.

12.11.2 Individuals with monaural loss complain about their inability to localize sound, to understand speech in noisy situations, and to hear or understand speech directed to their poor side (shadowing). A so-called CROS-arrangement — contralateral routing of the signal — may sometimes be used advantageously for the person with normal hearing in one ear and essentially no hearing in the other ear. Here the auditory signals are picked up by a microphone placed beside the poor ear and shunted across, either electrically or acoustically, to the good ear. A non-occluding-type ear mould is used in the good ear which permits the direct reception of auditory stimuli in that ear. Persons fitted with this arrangement report a decided improvement in their ability to understand speech directed to their bad ear as well as some improvement in their ability to understand speech in noisy situations.

Presbycusis

12.11.3 As a pilot grows older, there will be a gradual deterioration of hearing. This sensorineural hearing loss is called presbycusis. The age of onset of presbycusis may occur as early as the thirties and Figure III-12-4 shows the high frequency hearing loss synonymous with the aging process. Repeat audiograms will detect the situation. The vast majority of individuals with sensorineural hearing impairment can gain significant improvement through the use of a wearable hearing aid.



* An example presbycusis (sloping high-frequency hearing loss) synonymous with the ageing process.

Figure III-12-4. Audiogram showing presbycusis

12.12 HEARING AIDS

12.12.1 Few applicants present themselves for a medical examination wearing a hearing aid. There are, however, quite a number of flight crew who can benefit, particularly socially, by an aid. When an applicant can communicate better with the hearing aid than without it, consideration should be given for its use for aviation duties on the ground.

12.12.2 The first hearing aids were made in the late 1920s and early 1930s. These carbon-type aids were responsible for the prevalent notion that only persons with conductive hearing loss could benefit from hearing aids.

12.12.3 In the 1930s the vacuum-tube aid came into usage. There was still much doubt concerning the efficiency of a hearing aid for the person with sensorineural hearing loss. The development of the transistor and the transistor hearing aids opened up a new era in design and fitting. No longer was it necessary to have a bulky, inefficient instrument. Significant advances and refinements in hearing aids can be expected to continue.

12.12.4 If an applicant requires an aid, counselling in the selection of an aid to meet individual needs is necessary. Weight, size and concealment of the aid are secondary. By testing appropriately powered aids with frequency response characteristics deemed suitable for the particular hearing loss involved, it is often possible to demonstrate clear-cut and significant improvements in performance.

12.12.5 The degree of hearing loss and the discrimination scores, as well as the ear that is habitually used on the earphones, are factors to consider in the initial selection. In many instances, it may be necessary to test hearing-aid use in each ear separately and binaurally to determine the most appropriate fitting.

12.12.6 The use of personal hearing aids is usually not accepted during flight performance of professional flight crews. Arguments against the use of hearing aids for licensing purposes centre around their delicate nature, their relatively low reliability, and their suboptimal acoustic performance. However, personal hearing aids are not normally required in flight because of the mandatory aircraft intercom and radio equipment. The best aids presently available provide a maximum of approximately 70 per cent of normal speech perception in environments of even relatively low ambient noise. This results from the frequency-response characteristic of aids, which is not "flat" in the 500 to 3 000 Hz range (as in the normal ear's response) and which above 3 000 Hz shows deep "valleys" in which ambient noise intrudes, masking adjoining frequencies. The point is made that the use of hearing aids is by no means functionally analogous to the use of correcting lenses for a refractive error.

12.12.7 Consideration of the technical characteristics of hearing aids for other than professional pilots leads to the recommendation that they should not be used in flight unless approved following a full investigation and assessment taking into account all of the operational implications under Annex 1, 1.2.4.9.

12.13 NOSE AND PARANASAL SINUSES

Nose

12.13.1 It is important for a pilot to have a normal-functioning nose. Impairment of the sense of smell may cause the first faint odour of gas, oil or smoke to go unnoticed. A malfunctioning nose can cause serious problems in regard to aeration of the sinuses and the Eustachian tube with resultant middle ear pathology.

12.13.2 A careful examination of the nose can and should be done. In some cases, where the mucosa of the septum and the turbinates are swollen, it is impossible to examine it carefully unless a shrinking agent, such as neosynephrine or xylometazolin solution is used. Most examinees do not object to a flat pledget of cotton (soaked) placed in each nostril.