



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL

MODELO LONGITUDINAL APLICADO À PERDA AUDITIVA INDUZIDA PELO RUÍDO: UM ESTUDO DE CASO

MICHELLE DINIZ LOPES

Orientador: Elizabeth Wanner
CEFET - MG

Coorientador: Fábio Rocha
CEFET - MG

BELO HORIZONTE
AGOSTO DE 2018

MICHELLE DINIZ LOPES

MODELO LONGITUDINAL APLICADO À PERDA AUDITIVA INDUZIDA PELO RUÍDO: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática e Computacional do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Matemática e Computacional.

Área de concentração: Modelagem Matemática e Computacional

Linha de pesquisa: Sistemas Inteligentes

Orientador: Elizabeth Wanner
CEFET - MG

Coorientador: Fábio Rocha
CEFET - MG

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL
BELO HORIZONTE
AGOSTO DE 2018

L865m Lopes, Michelle Diniz
Modelo longitudinal aplicado à perda auditiva induzida pelo ruído:
um estudo de caso / Michelle Diniz Lopes. – 2018.
47 f.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Modelagem Matemática e Computacional.

Orientadora: Elizabeth Wanner.

Coorientador: Fábio Rocha.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais.

1. Perda auditiva provocada por ruído – Estudos longitudinais –
Teses. 2. Teorias não-lineares – Teses. 3. Funções exponenciais – Teses.
4. Medicina do trabalho – Teses. I. Wanner, Elizabeth. II. Rocha, Fábio.
III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
IV. Título.

CDD 519.5

Resumo

Em ambientes industriais é comum a presença de ruídos que podem causar danos cumulativos e irreversíveis na audição dos trabalhadores, afastamento do trabalho e até indenizações no caso do não cumprimento rigoroso das normas de saúde e segurança do trabalho, além de onerar o sistema de saúde. O objetivo desse estudo é determinar a prevalência de perda auditiva induzida por ruído (PAIR) em trabalhadores de uma indústria, relacionado com a idade e com o tempo de exposição ao ruído. Os dados são de 106 trabalhadores que se submeteram a exame audiométrico periódico. Na literatura não foram identificados trabalhos que levem em consideração que as medidas feitas nos trabalhadores ao longo do tempo são correlacionadas. Portanto, a associação estatística entre PAIR com idade e tempo de empresa foi avaliada usando um modelo longitudinal. Estudos longitudinais permitem a distinção entre o grau de variação na variável de resposta para um indivíduo ao longo do tempo e a variação entre diferentes indivíduos. Dos diversos modelos testados, o modelo exponencial foi o que apresentou os melhores resultados e se ajustou melhor aos dados, relacionando as medições audiométricas com a idade do trabalhador e o tempo de empresa. Este modelo poderia ser usado em aplicações semelhantes em diversas áreas. Todas as análises comparativas entre os diversos modelos foram realizadas usando programas na linguagem R ([R Core Team, 2017, 2017](#)) para validação dos dados.

Palavras-chave: modelo longitudinal, perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR), estatística não-linear, modelo exponencial, medicina do trabalho, ruído

Lista de Figuras

Figura 1 – Entalhe de alta frequência no audiograma, típico de PAIR. Adaptado de (COLES; LUTMAN; BUFFIN, 2000)	21
Figura 2 – Protuberância (bulge) para baixo e para a esquerda no audiograma típico de PAIR associado à perda auditiva por idade (AAHL). (A linha tracejada indica a AAHL mediana para os homens com 70 anos). Adaptado de (COLES; LUTMAN; BUFFIN, 2000)	22
Figura 3 – Normal Q-Q Ouvido Esquerdo	33
Figura 4 – Normal Q-Q Ouvido Direito	34
Figura 5 – Q-Q Plot e Q-Q 'Standartizado'	36
Figura 6 – Semi-Variograma do Modelo 3	39
Figura 7 – Histograma dos resíduos	40

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Configuração dos dados	19
Tabela 2 – Estrutura dos dados longitudinais	24
Tabela 3 – Coeficientes do Modelo 3	37

Sumário

1 – Introdução	1
1.1 Objetivos	3
2 – Revisão da Literatura	5
3 – Materiais e Métodos	17
3.1 Configuração dos Dados	18
3.2 Norma NR-7	19
3.3 Modelos Longitudinais	23
3.3.1 Modelos Marginais	25
3.3.2 Modelos Lineares Mistos - MLM	25
3.3.2.1 Por que usar modelos de efeitos aleatórios	26
3.3.2.2 Vantagens dos Modelos de Efeitos Aleatórios para Análise de Dados Longitudinais	26
4 – Resultados	32
5 – Conclusão	41
6 – Trabalhos Futuros	43
Referências	44

Capítulo 1

Introdução

O termo ruído, de modo geral, é utilizado para descrever sons indesejáveis ou desagradáveis. Na maioria das fábricas existem ambientes com ruídos, por exemplo, o ruído das máquinas em funcionamento, dos processos produtivos, etc. Esses ruídos, quando intenso e continuado e quando as pessoas são expostas sem proteção adequada, podem causar alterações estruturais internas no ouvido e, desta forma, podem causar danos irreversíveis.

A perda auditiva induzida por ruído (PAIR) ([Ministério do Trabalho, 06 de julho de 1978.](#)), decorrente da fadiga auditiva, acarreta em uma redução temporária da capacidade auditiva. Esta mudança transitória de limiar pode retornar ao normal, após um período de afastamento do ruído. Assim, se nenhuma atividade for exercida após o trabalho, havendo repouso auditivo até o dia seguinte, a perda provavelmente deixará de existir. Porém, se a exposição a ambientes ruidosos for constante, essa mudança temporária de limiar poderá vir a se tornar irreversível.

A PAIR é uma perda do tipo neuro-sensorial, geralmente bilateral, irreversível e progressiva com o tempo de exposição ao ruído. É uma doença silenciosa que evolui ao longo dos anos de exposição ao ruído e atinge as células sensoriais do órgão de Corti (parte da cóclea do ouvido interno). Pode ser agravada quando associada a outros agentes como a vibração ou até mesmo substâncias químicas, por exemplo. A exposição ocupacional ao ruído intenso está associada a várias manifestações sistêmicas, tais como elevação do nível geral de vigilância, aceleração da frequência cardíaca e respiratória, alteração da pressão arterial e da função intestinal, dilatação das pupilas, aumento do tônus muscular, aumento da produção de hormônios.

Até o momento, não existe um tratamento para a PAIR. Deve-se acompanhar periodicamente a progressão da perda auditiva através de avaliações audiológicas. A reabilitação pode ser realizadas através de ações terapêuticas após uma análise minuciosa da capacidade auditiva do trabalhador.

Uma vez que o ruído está sempre presente nos ambientes de trabalho, ações preventivas pode ser tomadas tais como treinamento e programas educacionais, gerenciamento audiométrico efetivo, escolha de proteção auditiva adequada para determinado tipo de trabalho, etc. Tendo em vistas estas medidas preventivas, a proposta deste trabalho é desenvolver um modelo longitudinal para explicar a PAIR. Criar esse modelo longitudinal permitiria, através de duas ou mais observações (realizadas em instantes diferentes) da variável resposta Y em cada unidade amostral sob investigação, modelar o comportamento de uma ou mais variáveis respostas medidas nas unidades de uma ou mais populações ao longo de alguma dimensão ordenada – o tempo. Em outras palavras, com este modelo seria possível avaliar o comportamento da variável resposta ao longo do tempo além de avaliar a variação intra-indivíduo.

A norma regulamentadora NR-7 estabelece os limites de exposição ao ruído contínuo. Usando as premissas desta norma reguladora, é preciso entender como algumas variáveis se comportam e quais são as correlações entre elas tais como 'Idade versus tempo de empresa'.

No estudo realizado por (ALMEIDA, 1992), correlacionou-se a faixa etária, o tempo de exposição ao ruído, a atividade profissional, as queixas clínicas e alterações do limiar auditivo nas bandas de frequências de oitava de 500 Hz a 8 kHz. Verificou-se que os limiares foram comprometidos de acordo com o tempo de exposição e faixa etária. Observou-se também que a frequência mais afetada foi a de 4 kHz e que esta manifestação ocorre logo na primeira década de exposição.

Conforme (PASSCHIER-VERMEER, 1969), em ambientes com ruído industrial constante, após 10 anos de exposição, os maiores valores de PAIR são observados na frequência de 4 kHz. Constatou-se ainda, que, para exposições contínuas de 8 horas diárias por um período de 10 anos (DOBIE, 2005): a) 80 dB(A) é um nível equivalente seguro em relação à PAIR; b) um nível equivalente de 85 dB(A) pode produzir perdas de aproximadamente 10 dB nas frequências audiométricas mais sensíveis, ou seja, 3, 4 e 6 kHz; c) somente em exposições a níveis equivalentes iguais ou maiores que 90 dB(A), as perdas médias induzidas pelo ruído atingem valores que, somados às perdas causadas pela presbiacusia (perda auditiva que está relacionada diretamente ao envelhecimento), socioacusia (alterações auditivas provocadas pelo barulho intenso em ocasiões fora do ambiente de trabalho) e nosoacusia (patologias otológicas ou condições médicas), poderão produzir efeitos na audição que poderão ser detectáveis pelos indivíduos.

Vários trabalhos abordam esse tema e, em sua maioria, os autores utilizam a estatística descritiva para análise dos dados. Nos trabalhos (ALMEIDA et al., 2000a) e (MAIA, 2008) os autores utilizaram o modelo de regressão logística. Nos trabalhos (ARAÚJO, 2002) e (SCHLAUCH; CARNEY, 2007), o modelo de regressão linear múltipla foi aplicado ao

problema. Entretanto, na literatura, existem poucos trabalhos que utilizam estatística não-paramétrica aplicados à PAIR. No trabalho (PINTO et al., 2010), foi realizado um teste não paramétrico, o teste de ranque de soma Wilcoxon, com utilização do teste de diferenças de médias de Kruskal-Wallis para correlação entre sexo e Tinnitus Handicap Inventory (THI). Nesse trabalho foi analisado a influência do sexo, idade e grau de perda auditiva no incômodo do zumbido. Foram avaliados 68 pacientes do ambulatório de zumbido, no período de março de 2007 a março de 2008, em estudo com corte transversal e teve como conclusão que sexo, idade e perda auditiva não influenciaram no incômodo gerado pelo zumbido.

Em 2015 (LOPES, 2015) foi analisado um conjunto de audiometrias de 106 funcionários, pois havia a suspeita de que a última audiometria realizada pela empresa havia sido comprometida, gerando medições incorretas. Cada trabalhador realizou dois exames audiométricos, em um curto intervalo de tempo - um na cabine audiométrica da empresa e outro em um laboratório especializado na realização de audiometrias. A partir da análise dos dados coletados na cabine audiométrica da empresa, verificou-se que, em mais de 90% dos casos, os limiares auditivos dos trabalhadores, com base nas estimativas da norma ISO 1999:2013 (STANDARDIZATION, 2013), que a prevalência de PAIR nos trabalhadores estava muito acima do esperado, considerando-se os níveis sonoros encontrados na empresa. Assim, foi realizada uma nova audiometria nestes trabalhadores, em um laboratório especializado, para verificar se os diagnósticos eram mantidos. Com os resultados destes novos exames, a maioria dos diagnósticos iniciais de PAIR foi descartada. Através de um teste T para amostras pareadas, a hipótese de que a média das diferenças entre as medições da empresa e do laboratório seja zero foi rejeitada. Ou seja, os resultados apresentados pela empresa estavam sobrestimados em relação ao laboratório.

Este presente trabalho baseia-se em (LOPES, 2015). Utilizando comparação entre medições, a criação um modelo longitudinal poderia explicar a perda auditiva. O modelo longitudinal é consolidado teoricamente, e como as medidas realizadas em (LOPES, 2015) são correlacionadas, pois foram realizadas no mesmo indivíduo em tempos diferentes, os dados dos funcionários poderiam ser aproveitados para esse fim. Não foi identificado a utilização do modelo longitudinal com esta finalidade em estudos relacionados à PAIR.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é aplicar um modelo estatístico/matemático que possa explicar a perda auditiva de trabalhadores de indústria de maneira eficiente. A importância deste trabalho está na possibilidade de ser aplicado um modelo que possa prever a PAIR nestes trabalhadores. Essa ação mitigaria diversos problemas que a PAIR pode causar, como a surdez, zumbidos constantes, perda de equilíbrio e até ações trabalhistas indenizatórias.

Para que este objetivo seja atingido, os seguintes objetivos específicos podem ser listados:

- Entender como as variáveis 'Idade versus tempo de empresa' se relacionam;
- Realizar a implementação do modelo estatístico/matemático em linguagem R que será utilizado para validação dos dados audiométricos reais;
- Adequabilidade do modelo aplicado à perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) nos resultados das medições audiométricas de trabalhadores de uma indústria.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Este capítulo pretende analisar os diversos trabalhos disponíveis na literatura que utilizam estudos estatísticos paramétricos e não paramétricos para analisar a PAIR. Trabalhos que relacionam a PAIR com o ambiente industrial, envolvendo trabalhadores que exercem diversas funções, com a presença ou não de substâncias químicas também serão discutidos.

Não foram encontrados muitos artigos usando estatística não paramétrica para análise da PAIR. (Z et al., 2008) estudou a deficiência auditiva em idosos. Essa deficiência, em detrimento dos altos índices, prejudica a vida social do indivíduo e é considerado um problema de saúde pública. Nesse estudo, verificou-se a relação da deficiência auditiva com a idade, gênero e qualidade de vida de idosos de um bairro do interior do Rio Grande do Sul. Foram identificados 72 idosos nessas residências e 51 deles participaram do estudo. Pesquisou-se os limiares audiométricos para tom puro (onda senoidal perfeita, possuindo uma única frequência e desprovida de harmônicos) e realizou-se a avaliação da qualidade de vida. A maior parte dos idosos apresentou deficiência auditiva, principalmente de grau leve ou moderado. Para avaliar a qualidade de vida, observou-se o grau de socialização e a participação no grupo no qual o idoso está inserido e, neste estudo, foi considerada regular. O autor mostra que há influência da idade com a presença da deficiência auditiva. Quanto mais avançada a idade, maior o número de idosos com deficiência auditiva e, como a qualidade de vida está relacionada com a adequada capacidade de comunicação, uma queda nesse quesito é verificada. Não foi identificado influência do gênero nas variáveis nesse estudo. Os dados foram analisados utilizando as seguintes estatísticas não paramétrica: testes de Mann-Whitney (variáveis quantitativas sem distribuição normal), exato de Fisher (variáveis qualitativas) e de Kruskal-Wallis. Para verificar a existência de correlação, foram utilizados os coeficientes de Spearman. Os dados foram analisados utilizando o software estatístico SPSS 10.0.

(PINTO et al., 2010) também trabalhou com estatística não paramétrica para analisar o zumbido. O zumbido é um sintoma que afeta aproximadamente 15% da população mundial.

Acomete qualquer idade, mas predomina entre 40 e 80 anos e sua prevalência alcança 33% entre os idosos. Nesse estudo, o autor observou que, de modo geral, aproximadamente 20% dos pacientes incomodam-se com o zumbido, mas os fatores determinantes deste incômodo ainda não são conhecidos em sua totalidade. Foi avaliado a influência do sexo, idade e grau da perda auditiva no incômodo do zumbido em 68 pacientes por um período de 12 meses, em estudo com corte transversal. Os procedimentos realizados foram: anamnese com protocolo sistematizado, exame otorrinolaringológico completo, versão brasileira do Tinnitus Handicap Inventory (THI) e audiometria tonal liminar. Como resultado foram observados os seguintes aspectos: a idade variou de 24 a 83 anos e a média do THI foi de 39 pontos (36 no sexo feminino e 44 no masculino). Os graus de incômodo pelo THI foram: discreto: 32,3%; leve: 19,1%; moderado: 20,6%; severo: 13,2% e catastrófico: 14,7%. Não foi constatado correlação significativa do incômodo pelo zumbido com as variáveis sexo, idade e grau de perda auditiva, ou seja, sexo, idade e perda auditiva não influenciaram no incômodo gerado pelo zumbido. Foi realizado o teste de ranque de soma Wilcoxon, com utilização do teste não paramétrico de diferenças de médias de Kruskal-Wallis para correlação entre sexo e THI.

No estudo ([LEE et al., 2005](#)), os limiares de tom puro convencionais e as altas frequências ampliadas foram analisadas em 188 indivíduos adultos (91 mulheres, 97 homens) em idade mais avançada (60 a 81 anos), com o objetivo de estudar as mudanças longitudinais nos limiares, bem como os efeitos dos níveis limiares iniciais, idade, gênero e ruído sobre essas mudanças longitudinais. Os dados de entrada foram: idade média de 68 anos, média de medições por indivíduo de 9,8 durante um período de 6,4 anos. Os limites convencionais de tons puros entre 0,25 a 8 kHz. Os limites máximos de alta frequência de 9 a 18 kHz foram medidos a cada 2 a 3 anos. A inclinação de uma regressão linear foi utilizada para estimar a taxa de alteração nos limiares de tons puros de 0,25 a 18 kHz para cada ouvido. Um questionário foi utilizado para identificar os indivíduos com histórico de ruído positivo. A taxa média de variação nos limiares foi de 0,7 dB por ano a 0,25 kHz, aumentando gradualmente para 1,2 dB por ano a 8 kHz e 1,23 dB por ano a 12 kHz. A taxa de alteração dos limiares aumentou significativamente com a idade, de 0,25 a 3, 10 e 11 kHz para mulheres e 6 kHz para homens. Depois de ajustar a idade, as mulheres tiveram uma taxa significativamente mais lenta de mudança a 1 kHz, mas uma taxa de variação significativamente mais rápida de 6 a 12 kHz do que os homens. Para 0,25 e 1 kHz, os indivíduos com mais perda de audição em frequências mais altas tiveram uma taxa de troca mais rápida nessas frequências, enquanto que, para 6 e 8 kHz, indivíduos com maior perda auditiva em frequências médias e altas tiveram uma taxa mais lenta de mudança nessas frequências. As taxas de alteração de limiar para indivíduos com um histórico de ruído positivo não foram estatisticamente diferentes daqueles com histórico de ruído negativo. Os indivíduos com limiares iniciais mais altos em frequências médias e altas tendiam a ter menor taxa de variação de 6 a 8 kHz nos anos seguintes. O histórico de ruído não teve um efeito significativo na taxa de

mudanças de limiar.

Nos trabalhos de (SILVA; MENDES, 2005a) e (DIAS et al., 2006), foi utilizado um modelo de regressão logística. O primeiro aborda a PAIR com exposição a ruídos e vibrações e o segundo a PAIR com o zumbido. Em ambos os trabalhos, os indivíduos analisados tinham sido expostos a ruído ocupacional.

Em (SILVA; MENDES, 2005a), foi analisado a exposição de motoristas de ônibus à vibração de corpo-inteiro e ao ruído, verificando a possível associação entre estes dois fatores de risco para a PAIR. Foi realizado um estudo transversal (muito usado pela área da saúde no estudo de doenças) onde 141 motoristas de ônibus realizaram exame audiométrico. Este grupo foi estratificado em subgrupos de 'expostos' e 'controlados', conforme tempo de trabalho na empresa, e foi avaliado as exposições ao ruído e à vibração de corpo-inteiro (VCI). Os níveis de VCI encontrados foram relevantes e verificou-se que quando o veículo possui motor dianteiro a exposição ao ruído é maior. Não foi observada associação entre exposição à VCI e PAIR, nem interação com a exposição ao ruído. Empregou-se a técnica de regressão logística para descrever a associação entre (PAIR) e o conjunto de variáveis.

(DIAS et al., 2006) verificou a associação entre (PAIR) e queixa de zumbido em trabalhadores expostos ao ruído ocupacional. Foram entrevistados e avaliados trabalhadores com histórico de exposição ao ruído ocupacional. Foi estudado a existência de associação entre PAIR e ocorrência de zumbido por intermédio do modelo de regressão logística ajustado, tendo como variável dependente o zumbido e como variável independente a PAIR, classificada em seis graus e controlada pelas co-variáveis idade e tempo de exposição ao ruído. Foram analisados 284 trabalhadores numa cidade do interior de São Paulo. Neste estudo foi estimado que a prevalência de zumbido aumentaria de acordo com a evolução do dano auditivo, idade e tempo de exposição ao ruído. Para estes trabalhadores, a cada ano de vida, em média, a chance de ter zumbido nos ouvidos aumenta. Contudo, é importante o controle da emissão de ruídos e intervenção na evolução das PAIR's geradas com o objetivo de manter a saúde auditiva do trabalhador e à diminuição dos sintomas associados.

(LEENSEN; DUIVENBOODEN; DRESCHLER, 2011) trabalhou a exposição ao ruído na construção civil (Holanda), (DOBIE, 2005) falou sobre a relação entre a forma audiométrica e a PAIR em média nas frequências de fala e Cordeiro (CORDEIRO et al., 1994) sobre a associação da PAIR com o tempo acumulado de trabalho entre motoristas e cobradores.

Os artigos (LEENSEN; DUIVENBOODEN; DRESCHLER, 2011), (DOBIE, 2005), (CORDEIRO et al., 1994) e (MENDES et al., 2011) usaram regressão linear para tratar os dados. Nos dois primeiros artigos, os autores usaram a ISO 1999 como parâmetro de comparação dos seus dados. No artigo (LEENSEN; DUIVENBOODEN; DRESCHLER, 2011), foi estudado a exposição ao ruído na indústria da construção. Esse estudo analisou o limiar auditivo

de uma grande população de trabalhadores da construção (Holanda) e comparou seus limiares com os previstos pela ([STANDARDIZATION, 2013](#)). Foram analisados registros médicos de exames periódicos de saúde ocupacional de 29.644 trabalhadores da construção civil. Os limiares audiométricos de tons puros dos trabalhadores expostos ao ruído são comparados a um grupo de controle não exposto e às previsões ISO-1999. As análises de regressão foram realizadas para explorar a relação entre perda de audição e intensidade de ruído, tempo de exposição ao ruído e uso de proteção auditiva. Os trabalhadores expostos ao ruído tiveram maiores perdas auditivas em comparação com seus colegas não expostos ao ruído e à população de referência relatada na ISO-1999. A exposição ao ruído explicou apenas uma pequena proporção de perda auditiva. Quando o nível diário de exposição ao ruído aumentou de 80 dB (A) para 96 dB (A), apenas um pequeno aumento na perda de audição é mostrado. A relação de tempo de exposição e perda auditiva encontrada foi semelhante às previsões ISO-1999 quando se observam durações de 10 anos ou mais. Durante a primeira década, as medianas da população mostraram uma audição pior do que o previsto pela ISO-1999. Já ([DOBIE, 2005](#)), estudou a relação entre a forma audiométrica e a PAIR em média nas frequências de fala. Foi usado o padrão internacional (ISO-1999) como base comparativa. 270 audiogramas de ambos os sexos em diversas idades e níveis de exposição foram estudados. A profundidade de amplitude foi definida como a diferença entre a média de tons puros para 2, 3 e 4 kHz e para 1 e 6 kHz. A análise da profundidade de amplitude pode ser útil no diagnóstico médico e na alocação de perda auditiva, ou seja, fornecer uma pista para o diagnóstico, bem como uma estimativa da magnitude da contribuição do ruído para a perda de audição do indivíduo. Foi realizado uma análise descritiva usando regressão linear múltipla.

([CORDEIRO et al., 1994](#)) estudou, através da regressão linear múltipla, a associação da PAIR com o tempo acumulado de trabalho entre motoristas e cobradores. Este estudo avalia a relação existente entre a PAIR e as variáveis “tempo total acumulado de trabalho como condutor de veículos coletivos urbanos”, “pressão arterial diastólica” e “idade”, em uma população de 278 motoristas e cobradores usuários de um serviço de saúde ocupacional do interior de São Paulo. Os principais resultados encontrados foram uma associação positiva entre a PAIR e o tempo acumulado de trabalho, bem como a existência de uma interação entre esta variável e a idade dos condutores. Há um número significativo de trabalhadores com PAIR devido a exposição excessiva nos remetendo a ações que possam mitigar essa agressão, como a renovação da frota e uma possível diminuição da jornada de trabalho.

De acordo com ([MENDES et al., 2011](#)), em 2010, 30% dos trabalhadores da união europeia (constituído de 27 países) foram expostos a níveis elevados de ruído em pelo menos um quarto do tempo de sua jornada de trabalho. Apesar do controle e estudos sobre o ruído, a exposição excessiva a níveis sonoros continua a ser um tema bastante atual, sobretudo devido aos efeitos negativos sobre a audição, o corpo e o desempenho profissional. Foram

estudados 63 trabalhadores de uma indústria expostos a níveis sonoros superiores a 85 dB (A) e os registros audiométricos foram avaliados. Pretendeu-se verificar a existência de uma correlação entre a PAIR, a idade e a exposição (tempo e nível sonoro). Foi aplicado um questionário a todos os trabalhadores em estudo com o intuito de obter uma amostra ampla e mais bem caracterizada possível, com o objetivo de eliminar todas as situações que possam introduzir incerteza ao nível da interpretação dos resultados. A maioria dos trabalhadores em estudo apresentaram PAIR's classificadas como 'normais'. Comparativamente, registrou-se perdas auditivas médias superiores em trabalhadores expostos por 8 horas a níveis superiores a 85 dB(A), quando comparados com trabalhadores expostos por 8h a níveis menores que 70 dB(A). Apesar de o valor médio das perdas auditivas de ambas as amostras ser relativamente próximo, os valores máximos de perda chegam a ser 50% superiores no caso de exposições mais elevadas. Verificou-se ainda perdas mais elevadas a 4000Hz, para o grupo exposto por 8 horas superior a 85 dB(A). A percepção individual do estado auditivo não pode ser diretamente relacionada com a classificação da perda auditiva, uma vez que alguns indivíduos com uma perda classificada como 'normal' indicam que 'não ouvem bem' e vice-versa. O coeficiente de correlação de Pearson, obtido para a regressão entre a variável dependente "perdas auditivas" e as variáveis independentes "nível sonoro", "tempo de exposição" e "idade", indica que existe uma correlação positiva moderada, entre a variável dependente e as variáveis independentes. O resultado obtido deve ser, contudo, interpretado de forma usual e crítica, sobretudo porque, atendendo à expressão obtida, as perdas auditivas estariam principalmente associadas ao tempo de exposição, sendo que quando se aumentasse o tempo de exposição e/ou a idade, a PAIR diminuiria, o que notoriamente contraria o pressuposto dos efeitos negativos da idade e da exposição ao ruído ocupacional sobre a capacidade auditiva.

O artigo (SCHLAUCH; CARNEY, 2007) é diferente dos demais no quesito exposição a ruído ocupacional. Neste caso trata-se de um estudo de como identificar mudanças de limiar em pessoas expostas a altos níveis de pressão sonora durante concertos. Schlauch desenvolveu tabelas usando um modelo multinomial que podem fornecer uma ferramenta clínica para avaliar as audiometrias, identificando padrões estatisticamente significativos de diferenças "test-retest" nos limiares auditivos. O modelo multinomial foi comparado com outros dois métodos para identificar mudanças de limiar em pessoas expostas a altos níveis de pressão sonora durante os concertos. O modelo multinomial identificou as mesmas audiometrias que os métodos específicos, ele utiliza o desvio padrão das diferenças inter-ensaio para uma frequência como um parâmetro da distribuição Gaussiana subjacente aos resultados dos ensaios. O número de frequências de teste, as categorias de mudança de limiar, e a probabilidade de ocorrência de cada uma das categorias são usadas para calcular a probabilidade de um determinado padrão de diferenças de limiar em reteste (ou uma mais rara) pode ocorrer por acaso. O modelo multinomial foi comparado com 2 outros métodos para identificar as variações dos limiares em pessoas expostas a níveis

de pressão sonora elevados durante os concertos e identificou as mesmas audiometrias como os métodos específicos. Tabelas desenvolvidas usando um modelo multinomial podem fornecer uma ferramenta clínica para avaliar audiogramas, identificando padrões estatisticamente significativos das diferenças 'test-retest' dos limiares auditivos. Foi utilizado a distribuição multinomial que é uma generalização da distribuição binomial. A distribuição binomial é aplicada para casos com apenas dois resultados possíveis.

Os trabalhos de (WALLS et al., 1994) e (KIRCHNER et al., 2012) abordam a importância da conscientização da PAIR principalmente em ambientes industriais. (WALLS et al., 1994) montou um guia com definições sobre a PAIR, uma vez que desde a última década este tem sido um problema para a indústria da Nova Zelândia. O ruído ocupacional é um risco bem reconhecido e onipresente no local de trabalho e diversas campanhas de conscientização para o problema tem sido realizadas. O autor espera que os empregadores e funcionários passem a adotar medidas de controles efetivos ao invés de aceitarem a surdez como uma parte inevitável da vida profissional.

O trabalho de (KIRCHNER et al., 2012) teve como objetivo esclarecer as melhores práticas atuais para o diagnóstico da PAIR. A PAIR continua sendo uma das condições ocupacionais mais prevalentes e ocorre em um amplo espectro de indústrias. Ela pode ser evitável através da utilização correta do EPI, conscientização e do envolvimento de todas as áreas da empresa. O médico da medicina ocupacional e ambiental (OEM) trabalha com gerenciamento, segurança, higiene industrial, engenharia e recursos humanos para garantir que todos os componentes dos programas de prevenção de perda auditiva estejam em vigor, e não somente na realização dos testes audiométricos. No entanto, os testes audiométricos, além de documentar a perda permanente de audição, podem ser de valor na identificação da PAIR no momento em que a intervenção preventiva precoce é possível. O Colégio Americano de Medicina Ocupacional e Ambiental (ACOEM) acredita que os médicos OEM devem entender o histórico de exposição ao ruído de um trabalhador e tornarem-se proficientes na detecção e prevenção precoce das PAIRs.

Os demais trabalhos abordaram o tratamento dos dados estatísticos de uma forma mais comum, ou seja, de forma descritiva ou paramétrica. Os trabalhos relacionaram a PAIR em diversos ambientes como escolas, construções e principalmente na indústria. (LIBARDI et al., 2006) analisou professores de uma escola pública do ensino fundamental do interior de São Paulo para entender os efeitos do ruído na saúde deles. Trinta e seis (36) professores participaram dessa pesquisa e o nível do ruído foi medido em sala de aula. Foram considerados os efeitos auditivos e extra-auditivos (efeitos vinculados ao estresse e sono) e a maioria dos professores consideraram o ruído em sala de aula alto e relataram possuir sintomas extra-auditivos. O problema que a maioria dos professores apontaram foram os vocais e na comunicação oral em sala de aula. A variação em decibéis medido em sala de

aula foi de 55 a 102 e esse nível de ruído pode afetar diretamente na saúde do professor. A partir de 55 dB(A) a poluição sonora provoca efeitos extra-auditivos.

O trabalho de (MARTINS et al., 2007) teve como objetivo estudar os sintomas auditivos em professores, bem como os resultados das audiometrias e a aferição do ruído nas classes. Os professores estão expostos frequentemente a ruídos mas o controle do nível desse ruído não faz parte de sua rotina. O autor criou dois grupos de estudos compostos por: G1 (40 professores) e G2 (40 voluntários). Foi avaliado: idade, sexo, condições de trabalho, audiometrias e níveis de ruído nas classes. Em G1 predominaram as mulheres que atuavam em ensino fundamental em classes com 21 à 40 alunos e com jornadas de trabalho de 26 à 40 horas semanais. O tempo de profissão era variável e a maioria do G1 queixou de ruído excessivo nas classes, apresentaram sintomas auditivos e possuíam audiometrias alteradas, superiores em relação ao grupo G2. Os valores de ruído de 87dBA foram aferidos em todos os níveis de ensino. Logo, a surdez ocupacional pode estar ocorrendo em professores, mas serão necessárias pesquisas adicionais. Os dados obtidos foram avaliados a partir do método qui-quadrado e do teste para comparação de proporções utilizando-se a distribuição normal. Alguns autores investigam possíveis efeitos potenciais da combinação de ruído e substâncias químicas.

(ABREU; SUZUKI, 2002) avaliou dois grupos de indivíduos expostos à mesma intensidade de ruído, sendo um exposto também a fumos metálicos ricos em cádmio e o outro não. O autor propõem estudar se o poluente combinado com o ruído é mais prejudicial que o ruído isoladamente. Foram 36 trabalhadores de uma indústria metalúrgica avaliados e todos fizeram o exame audiométrico. Esses trabalhadores foram expostos a ruído e fumo de cádmio por 4 anos. Os resultados deste grupo foram comparados aos de um grupo de 36 trabalhadores dos mesmos setores da empresa expostos apenas ao ruído. A perda auditiva estava concentrada no intervalo de frequência de 4000 e 6000 Hz e foi mais acentuada no grupo exposto ao ruído e cádmio. Esse resultado indica uma possível ação ototóxica (dano aos sistemas coclear e/ou vestibular resultante de exposição a substâncias químicas) do metal cádmio quando associado à exposição ao ruído.

(KONINGS et al., 2007) realizou um trabalho sobre PAIR, um risco ocupacional importante que resulta de interação entre fatores genéticos e ambientais. Os fatores de risco ambientais são bastante estudados, mas pouco se sabe sobre os fatores genéticos. Este estudo propõe que o stress oxidativo (condição biológica em que ocorre desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio e a sua desintoxicação através de sistemas biológicos que as removam ou reparem os danos por elas causados) desempenha um papel importante no desenvolvimento de PAIR. Investigou também se as variações (single nucleotide polymorphisms - SNPs) no gene da catalase (CAT), um dos genes envolvidos no stress oxidativo, aumenta a suscetibilidade da PAIR. Foram analisados dados audiométricos

de 1261 suecos e 4500 trabalhadores poloneses expostos ao ruído. As amostras de DNA foram coletadas dos 10% mais suscetíveis e os 10% mais resistentes. Doze SNPs foram selecionados e genotipados. Posteriormente, a interação entre a exposição ao ruído e os genótipos e seu efeito na PAIR foram analisados usando regressão logística. Foram observadas interações significativas entre níveis de exposição ao ruído e genótipos de dois SNPs para a população sueca e de cinco SNPs para a população polonesa. Dois desses SNPs foram significativos em ambas as populações. Em conclusão, este estudo identificou associações significativas entre catalase SNPs e haplótipos (é um trecho do genoma que, em um único cromossomo de cada par, não pode ter partes da mãe e do pai juntas, apenas de um deles) e suscetibilidade ao desenvolvimento da PAIR. Estes resultados indicam que a catalase é um gene de suscetibilidade a PAIR, mas que o efeito dos polimorfismos (fonte de variabilidade) de CAT só pode ser detectado quando os níveis de exposição ao ruído são considerados.

A monografia de (LOPES, 2015) refere-se a um estudo comparativo entre os resultados das medições audiométricas de 100 trabalhadores de uma indústria realizadas pelo departamento médico dessa empresa e os exames realizados em um laboratório certificado pelo SESMT - Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho. De acordo com a norma NR-7 e por meio de análises estatísticas, foi identificado falhas nas medições realizadas pela empresa. Foi realizado o teste estatístico T de Student para amostras pareadas para comparar os resultados e foi observado que os resultados da empresa estavam sobrestimados em relação ao laboratório. Os resultados da empresa apresentaram uma perda auditiva maior em comparação com os resultados realizados pelo laboratório. O resultado de um exame audiométrico pode ser influenciado por uma série de fatores, como a observação ou não do repouso auditivo, a qualidade do equipamento utilizado, o isolamento da cabine audiométrica, a perícia do profissional que realiza o exame, dentre outros. A cabine audiométrica da empresa possuía um certificado válido de conformidade com a norma ISO 8253-1, exigida pela NR-7, mas, através de uma inspeção no local, foi verificado que era possível, no interior da cabine audiométrica, escutar o ruído do movimento de pessoas do lado de fora da cabine, o que não pode ocorrer em laboratórios especializados em audiometrias. A presença do ruído de fundo pode mascarar o tom gerado pelo audiômetro, aumentando os limiares auditivos registrados nos exames realizados na empresa. De acordo com os resultados da aplicação do teste t-Student para comparação de médias em amostras pareadas, foi concluído que os resultados apresentados pela empresa estavam sobrestimados em relação ao laboratório.

(LOPES et al., 2009) fez uma investigação por meio de um estudo transversal sobre a prevalência da PAIR em trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora acima de 85 dB NPS (Nível de Pressão Sonora). Foram analisados 400 prontuários de trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora acima de 85 dB NPS, locados em empresas de

diferentes segmentos. Foram observadas diferenças estatisticamente significante entre os limiars de baixas e altas frequências e o tempo de trabalho influenciou na piora dos limiars nas altas frequências bilateralmente. Quanto à lateralidade, não foram constatadas diferenças significativas entre os ouvidos direto e esquerdo. Foi observado ausência de correlação entre zumbido e PAIR. Para analisar a diferença entre as médias foi utilizado o teste t-pareado e o coeficiente de correlação Spearman para verificar a correlação entre as variáveis de tempo de exposição ao ruído ocupacional e os limiars auditivos.

([FERNANDES; MORATA, 2002](#)) investigou as queixas de saúde e audiometria de dois grupos de trabalhadores. O Grupo 1 foi exposto a níveis de pressão sonora elevados e vibração transmitida por meio das mãos-braços nos trabalhadores que operam moto roçadeiras, e o Grupo 2 foi exposto a níveis elevados de pressão sonora e vibração transmitida por meio do corpo inteiro nos trabalhadores que operam equipamentos pesados como pá-carregadeira, moto niveladora, retro-escavadeira e rolo compressor. Foram 73 participantes que passaram por entrevista, inspeção do meato acústico externo (tem a função de transmitir os sons captados pela orelha para o tímpano) e audiometria tonal. No grupo 2, nem todos os trabalhadores utilizaram protetor auditivo, e eles apresentaram um maior número de queixas, 17% queixaram de zumbido. Os trabalhadores do Grupo 1, sem exceção, fazem uso do protetor auditivo e 11% deles queixaram de zumbido. Entretanto, a porcentagem de audiometrias alterados é mais elevada no Grupo 1, expostos a vibração transmitida por meio das mãos-braços. Os dados foram analisados através de estatística descritiva.

O trabalho de ([COLES; LUTMAN; BUFFIN, 2000](#)) consistiu em diretrizes que visavam auxiliar no diagnóstico da PAIR em configurações médicas. A tarefa foi distinguir entre possibilidade e probabilidade, sendo o critério legal 'mais provável que não'. Argumenta-se que a quantidade de PAIR necessária para se qualificar para esse diagnóstico é aquela que é confiável mensurável e identificável através da audiometria. Os três principais requisitos para o diagnóstico de PAIR são definidos: deficiência auditiva de alta frequência, quantidade potencialmente perigosa de exposição ao ruído, entalhe audiométrico de alta frequência identificável ou protuberância. Quatro fatores modificadores também precisam ser considerados: quadro clínico, compatibilidade com a idade e a exposição ao ruído, critérios de Robinson (testes estatísticos levando a oito critérios, cada um dos quais é expresso em dois níveis de probabilidade), complicações como a assimetria, transtorno misto e deficiência auditiva condutora.

O trabalho de ([MAIA, 2008](#)) foi realizado no âmbito da construção civil e foi analisado o potencial de risco das PAIR's em diversas funções, como: ajudantes gerais, pedreiros, armadores e carpinteiros. Além disso, comparou-se as PAIRs com as perdas geradas pela exposição no nível de 82dB(A) e com as geradas pelo limite de tolerância de 85 dB(A), calculadas de acordo com a norma ISO 1999 (1990). Os dados audiométricos foram calcula-

dos a partir das medições de trabalhadores de 49 empresas, utilizando-se a base de dados da norma ISO 7029/84 (base de dados de limiares de audição determinados mediante audiometria por via aérea de indivíduos considerados otologicamente normais). Foi levantado as principais fontes de ruído, os espectros sonoros de máquinas utilizadas, os níveis de pressão sonora e os níveis de exposição na realização de várias tarefas específicas de cada função estudada para comparar os resultados desses procedimentos. Essas tarefas foram classificadas da seguinte forma: não ruidosas ($< 82 \text{ dB(A)}$), moderadamente ruidosas (entre 82 e 85 dB(A)) e ruidosas ($> 85 \text{ dB(A)}$). Os resultados obtidos nesse procedimento foram comparados com os resultados do procedimento audiométrico. A partir disso foi concluído que, das funções estudadas, somente na de carpinteiros existe um potencial de risco de perdas auditivas significativas, abrangendo, pelo menos, 50% da população dos trabalhadores desta função.

O trabalho de (ARAÚJO, 2002) visou identificar e quantificar a ocorrência de alterações auditivas sugestivas de PAIR e os principais sintomas otorrinolaringológicos referidos pelos trabalhadores. Foi realizada uma pesquisa no período de 3 meses com 187 trabalhadores de uma indústria metalúrgica em Goiânia, avaliados por médicos otorrinolaringologistas através de roteiro de entrevista e audiometria ocupacional. Foram obtidas audiometrias ocupacionais e após análise foi constatado que 21% eram sugestivas de PAIR, 72% eram normais e 7% sugestivas de outras doenças auditivas. Os sintomas auditivos mais frequentes foram: dificuldade de compreensão da fala: 12%; hipoacusia: 7%; tinitus: 13%; sensação de plenitude auricular: 4%; otorréia: 6%; tonturas: 12%. Dessa forma, concluiu-se que em metalúrgicas há ocorrências de alterações auditivas sugestivas de PAIR e queixa de sintomas otorrinolaringológicos significativos. Faz-se necessário a medição dos níveis de ruído nos postos de trabalho para o redimensionamento da carga de trabalho e seleção do EPI mais adequado.

Já (MIRANDA et al., 1998) realizou, a partir de dados audiométricos referentes a 7.925 trabalhadores de 44 empresas industriais de nove diferentes ramos de atividade estudos sobre a PAIR. Como resultado, foi observado PAIR em 45,9% na população estudada, bi e unilaterais. Para cada ramo, as prevalências foram as seguintes: 58,7% no editorial/gráfico, 51,7% no mecânico, 45,9% no de bebidas, 42,3% no químico/petroquímico, 35,8% no metalúrgico, 33,5% no siderúrgico, 29,3% no de transportes, 28,0% no de alimentos e 23,4% no têxtil. Chamou atenção as altas prevalências de PAIR unilateral: 18% dos trabalhadores avaliados. O presente estudo permitiu delinear um quadro extremamente alarmante, dada a magnitude da prevalência de PAIR apontando a importância da implementação, por parte das empresas, de Programas de Conservação Auditiva. O tratamento das variáveis e os cruzamentos entre elas foram realizados através do pacote estatístico de análise de dados SPSS26.

([RABINOWITZ, 2005](#)) expôs dois casos que ilustram alguns dos problemas envolvidos com a determinação de perda auditiva em funcionários que trabalham em uma área ruidosa, relacionado ou não ao trabalho. No primeiro caso, o conflito surgiu sobre se a perda auditiva de um funcionário poderia ser explicado pelo ruído do trabalho. Após a PAIR ser identificada, a administração da empresa foi imediatamente avisada e registrada na segurança ocupacional e administração de saúde. Foi analisado possíveis fatores fora da empresa que podem ter influenciado no prognóstico do funcionário. O segundo caso ilustra as consequências de chamar um caso de PAIR negligenciando uma condição médica potencialmente tratável. O funcionário teve um deslocamento de limiar corrigido por idade no ouvido direito e pouco tempo depois foi diagnosticado com uma infecção no ouvido, que foi devidamente tratado e resolvido, deixando claro que a PAIR não estava relacionada com o trabalho ou não foi significativamente agravada por exposição ao ruído ocupacional. Neste estudo, o autor discorreu sobre as armadilhas do não envolvimento de um profissional responsável no seguimento do problema e interpretação da audiometria.

([ALMEIDA, 1992](#)) analisou as características clínicas e audiométricas da disacusia sensorio neural ocupacional (distúrbio da audição causado por certos sons, provocando dor ou desconforto no indivíduo) por ruído de acordo com a faixa etária e o tempo de exposição em anos. Foram estudados 222 pacientes portadores de disacusia sensorio neural ocupacional decorrente da exposição ao ruído no ambiente de trabalho, correlacionando-se as queixas clínicas auditivas, alterações de limiar audiométrico nas frequências de 250Hz a 8000Hz, índices de discriminação vocal com a faixa etária e o tempo de exposição. Como grupo controle, utilizou-se os limiares audiométricos de uma população de mesma média etária, sem antecedentes mórbidos de doença auditiva, conforme a norma ISO 1999 (1990). O grupo foi dividido em subgrupos, e foi analisado 30 anos de exposição. Foi verificado que a queixa clínica de hipoacusia (enfraquecimento da acuidade auditiva) aumenta de acordo com a faixa etária e o tempo de exposição, enquanto que a frequência da queixa tinnitus (é um zumbido na cabeça) mantém-se constante. Os limiares audiométricos na segunda década de exposição apresentam variações que dependem da faixa etária analisada. As várias curvas audiométricas realizadas são paralelas entre si, mas não-horizontais, sendo que os piores limiares foram encontrados nas frequências agudas de 3000Hz a 8000Hz, como consequência clínica e fisiopatológica do acometimento mais acentuado das áreas basais da cóclea. A discriminação vocal também se mostrou pior de acordo com o aumento da faixa etária e do tempo de exposição. Indivíduos portadores de disacusia sensorio neural por ruído ocupacional apresentam alterações audiométricas, características que variam de acordo com a faixa etária e o tempo de exposição. Estas características definidas e resumidas nas curvas audiométricas obtidas podem constituir um padrão de comparação, avaliação e controle de outras populações também expostas. Neste estudo foi utilizado a análise de variância com delimitação de intervalos de confiança de Tukey para tratar os dados estatisticamente.

No estudo de (OGIDO; COSTA; MACHADO, 2009), estimou-se a prevalência de sintomas auditivos e vestibulares em trabalhadores expostos a ruído ocupacional. Foram analisados prontuários de 175 trabalhadores com PAIR, atendidos em um centro de referência de saúde ocupacional no interior de São Paulo durante 7 anos. As variáveis estudadas foram: frequência dos sintomas de hipoacusia (termo genérico que serve para definir a perda auditiva), zumbido e vertigem. As associações com idade, tempo de exposição ao ruído e limiares auditivos tonais foram analisadas utilizando-se os testes estatísticos qui-quadrado e exato de Fisher. Em 74% dos casos foram relatados hipoacusia, em 81% zumbidos e em 13,2% vertigem. Foi observado a associação entre hipoacusia e idade, tempo de exposição ao ruído e limiares auditivos tonais e entre vertigem e tempo de exposição ao ruído, não sendo encontradas outras associações significativas.

O próximo trabalho não tratou o ruído ocupacional, mas foi inserido com o objetivo de entendermos melhor a perda auditiva associada ao envelhecimento, pois ela refere-se à soma de perdas auditivas resultantes da degeneração fisiológica causada por exposição ao ruído. De acordo com (BARALDI; ALMEIDA; BORGES, 2007), essa degeneração pode ser causada por agentes ototóxicos trazendo diversos prejuízos e à necessidade de tratamentos médicos. Afeta cerca de 60% de todas as pessoas com idade acima de 65 anos. Este estudo teve por objetivo analisar a degeneração do sistema auditivo no decorrer da idade através de medidas supraliminares e de sensibilidade auditiva. Foi realizado um estudo de coorte contemporânea com corte transversal e avaliados 211 idosos, com idade média de 75,24 anos, sendo 61 do sexo masculino e 150 do sexo feminino. Os idosos foram submetidos a uma anamnese e à avaliação audiológica básica. Foram divididos em quatro grupos, de acordo com a faixa etária. Foi observado um declínio significativo do limiar nas 4 faixas etárias estabelecidas, a diminuição do índice percentual de reconhecimento de fala, diferença significativa com relação ao gênero. Com o avanço da idade, ocorreu um aumento gradual no grau da perda auditiva, os homens apresentaram limiares mais rebaixados na frequência de 4000Hz em comparação com as mulheres e na inteligibilidade de fala, observou-se decréscimo gradativo com o aumento da idade. Os dados foram analisados através da ANOVA - Teste de Igualdade de Duas Proporções, Teste de Qui-quadrado e Intervalo de confiança.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

A audiometria é um exame que avalia os limiares auditivos do paciente associados com a sua saúde auditiva. Além disso, no caso da perda auditiva ser detectada, o resultado do exame audiométrico pode indicar o grau e o tipo da perda auditiva associada. A audiometria é solicitada quando há necessidade de avaliar a capacidade auditiva do paciente, principalmente se existir suspeita de perda auditiva ou como complemento para outros diagnósticos (traumas, fatores emocionais, condições hereditárias, infecções, etc). A audiometria também é um exame periódico obrigatório em trabalhadores expostos a níveis elevados de ruído em seu ambiente de trabalho.

Existem dois tipos mais usuais de audiometria, sendo: tonal e vocal. O tonal visa estimar o grau e o tipo de perda auditiva, pois são emitidos sons em diversas frequências, já o vocal, pesquisa a capacidade de detectar (percepção e compreensão) a fala humana. É um exame realizado dentro de uma cabine acústica livre de ruídos do ambiente (OUVIR, 2016). É um exame silencioso, salvo as comunicações entre o paciente e o examinador. O paciente deverá colocar um fone de ouvido, acoplado a um pequeno microfone, através do qual ouvirá certos sons emitidos pelo examinador e deverá responder a eles mediante sinais gestuais previamente combinados (levantar uma das mãos, por exemplo). Em uma parte do exame, o paciente deverá repetir palavras emitidas pelo examinador. Nos exames de audiometria tonal, por via óssea, um vibrador é colocado sobre osso mastoide do paciente, o qual deverá acusar as percepções dessas vibrações.

Neste trabalho será abordado a audiometria tonal utilizada em disacusias sensoriais ocupacionais por ruído. Conforme visto em (ALMEIDA et al., 2000b), no Brasil há normas que regulamentam os critérios ambientais que caracterizam o trabalho considerado insalubre por exposição ao ruído. A Portaria 3214 de 8/06/78 do Ministério do Trabalho Brasil, através da Norma Regulamentadora nº 7, estabelece a obrigatoriedade dos exames audiométricos admissionais, periódicos e demissionais sempre que o ambiente de trabalho apresentar níveis de pressão sonora superiores a 85 dBA em 8 horas de exposição. Estabelece limites

de exposição e diferencia ruídos contínuos e impulsivos.

Atualmente, no Brasil e em outros países, não há um critério definitivo para descrever a relação entre PAIR e exposição a ruído ocupacional, mas a norma internacional ISO 1999:2013, Acoustics – Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment ([STANDARDIZATION, 2013](#)) é amplamente usada em países desenvolvidos. Nela estão contidos métodos de estimativa de PAIR e classificação de risco auditivo para populações expostas continuamente, em turnos diários de oito horas de trabalho num período de até 40 anos de trabalho. Essas estimativas e classificações são realizadas através de métodos estatísticos e a distribuição usada é a gaussiana.

A função de frequência audiométrica é a relação do período de exposição com o nível de exposição normalizado, que são os parâmetros para estimar a PAIR de uma população adulta exposta diariamente ao ruído. Caso o ambiente de trabalho tenha variação desses níveis diariamente, a aplicação da norma não é viável. De acordo com ([MAIA, 2002](#)), a ISO também apresenta a base de cálculo da incapacidade auditiva de acordo com diversas fórmulas que levam em consideração as perdas auditivas calculadas nas frequências audiométricas mais comuns, ou combinações dessas frequências e o limiar de audição que deve ser excedido para julgar existente a incapacidade. A frequência ou combinações de frequências e o limiar a serem usados na avaliação da capacidade auditiva não são especificados e a seleção quantitativa desses parâmetros é deixada por conta do usuário.

É importante ressaltar que a ISO se aplica aos ruídos contínuos, intermitentes, flutuantes, irregulares ou impulsivos na faixa de audiofrequência (menores que 10 kHz), desde que o nível de exposição diário seja mantido. A norma apresenta fórmulas para o cálculo das PAIRs nas frequências audiométricas entre 0,5 e 6,0 kHz.

3.1 Configuração dos Dados

Os dados são reais e estão dispostos conforme tabela 1, utilizaremos o funcionário 1 como exemplo.

- **Tempo:** corresponde ao tempo de empresa, período em que o funcionário trabalhou na empresa até o ano de 2013;
- **Medições:** relativas aos ouvidos direito e esquerdo;
- **Idade:** referente a cada ano em que ocorreu a realização da audiometria.

Tabela 1 – Configuração dos dados

Funcionário	Tempo	Medições	Idade
1	365	10	38,54521
1	445	15	38,76438
1	814	5	39,77534
1	1243	5	40,95068
1	1669	15	42,11781
1	2046	15	43,15068
1	2321	10	43,90411
1	2713	15	44,97808
1	3040	15	45,87397
1	3454	10	47,00822
1	3748	10	47,8137
1	4141	15	48,89041
1	4635	15	50,24384
1	5289	10	52,03562

3.2 Norma NR-7

A norma regulamentadora NR-7 estabelece critérios nacionais para a interpretação dos resultados do exame audiométrico com finalidade de prevenção ([Ministério do Trabalho, 06 de julho de 1978.](#)). Segundo a norma:

- São considerados dentro dos limites aceitáveis, para efeito desta norma técnica de caráter preventivo, os casos cujos audiogramas mostram limiares auditivos menores ou iguais a 25 dB(NA), em todas as frequências examinadas.
- São considerados sugestivos de perda auditiva induzida por níveis de pressão sonora elevados os casos cujos audiogramas, nas frequências de 3.000 e/ou 4.000 e/ou 6.000 Hz, apresentam limiares auditivos acima de 25 dB(NA) e mais elevados do que nas outras frequências testadas, estando estas comprometidas ou não, tanto no teste da via aérea quanto da via óssea, em um ou em ambos os lados.

A interpretação dos resultados do exame audiométrico sequencial, ainda de acordo com a NR 7, deve seguir os seguintes parâmetros:

- São considerados sugestivos de desencadeamento de perda auditiva induzida por níveis de pressão sonora elevados, os casos em que os limiares auditivos em todas as frequências testadas no exame audiométrico de referência e no sequencial permanecem menores ou iguais a 25 dB(NA), mas a comparação do audiograma sequencial com o de referência mostra uma evolução dentro dos moldes definidos no item 2.1 da norma, e preenche um dos critérios abaixo:
 - a diferença entre as médias aritméticas dos limiares auditivos no grupo de

- frequências de 3.000, 4.000 e 6.000 Hz iguala ou ultrapassa 10 dB(NA);
- a piora em pelo menos uma das frequências de 3.000, 4.000 ou 6.000 Hz iguala ou ultrapassa 15 dB(NA).

Outrossim, a ANSI 3.6 estabelece os critérios clínicos para a classificação de perda auditiva, que são os seguintes:

- Normal: até 25 dB;
- Leve: até 40 dB;
- Moderada: até 60 dB;
- Severa: até 80 dB;
- Profunda: acima de 80 dB;

O audiograma típico de PAIR apresenta um entalhe (notch) em 4 kHz ([SILVA; MENDES, 2005b](#)), ilustrado na Figura 1. Quando outras causas estão presentes (idade, tumores, etc.), o entalhe pode ser mascarado, mas o audiograma geralmente mostrará o que é chamado de “protuberância (bulge) para baixo e para a esquerda”, ilustrado na Figura 1.

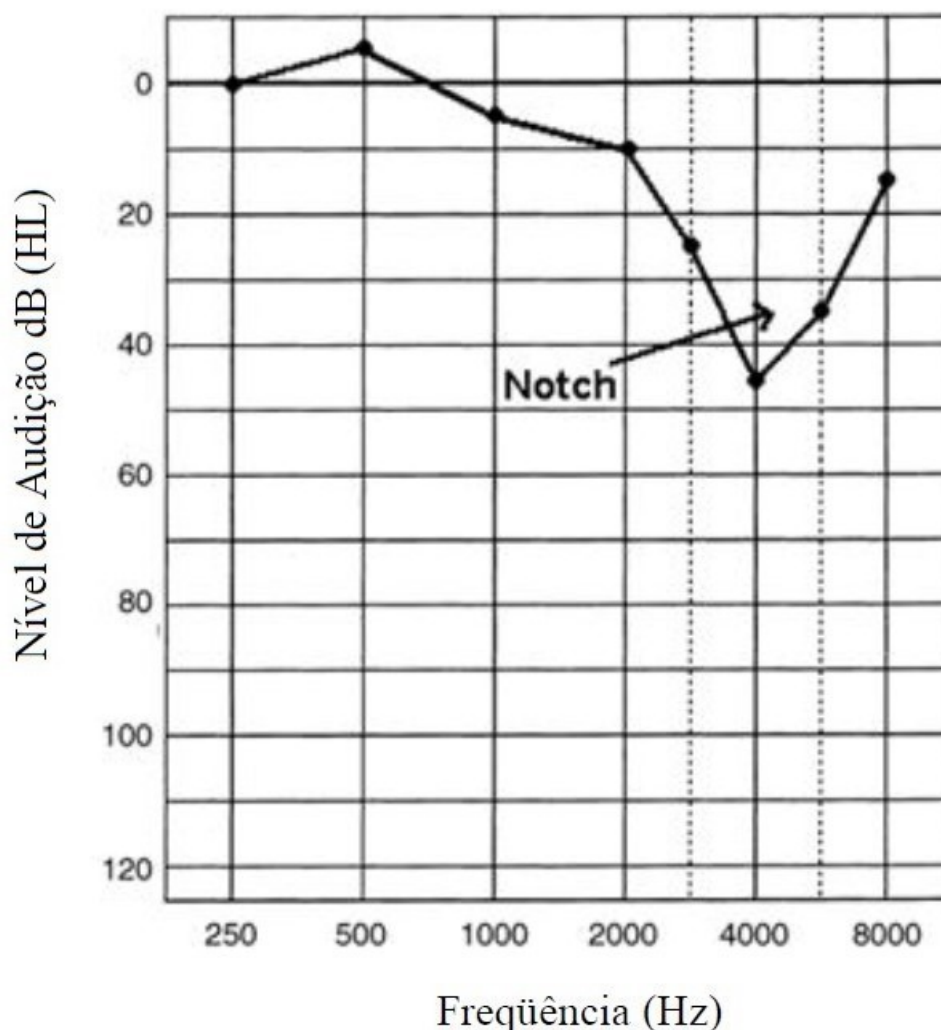


Figura 1 – Entalhe de alta frequência no audiograma, típico de PAIR. Adaptado de (COLES; LUTMAN; BUFFIN, 2000)

Na Figura 2, a linha tracejada representa uma estimativa da perda auditiva associada à idade (age-associated hearing loss – AAHL) para um homem de 70 anos. Em consequência da deterioração da audição, nas altas frequências, associada com o envelhecimento, os limiares da região de 4 kHz já não são piores que os limiares em 8 kHz no exemplo mostrado na figura. A profundidade da protuberância (PP) mede a distância entre a perda auditiva relacionada com a idade (linha pontilhada) e os limiares do exame audiométrico, nas frequências de 3 a 6 kHz (quando estes são piores do que poderia ser previsto pela deterioração natural da audição pelo efeito da idade).

Observa-se que a profundidade da protuberância (PP) pode permitir uma estimativa da contribuição do ruído para a perda auditiva em indivíduos, independentemente da gravidade global da perda auditiva. A PP é um descritor que pode fortalecer ou enfraquecer um diagnóstico de PAIR. Ela pode estimar aproximadamente a magnitude da componente

induzida por ruído na perda auditiva total, medida pela média aritmética da mudança nos limiares auditivos nas frequências 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 3000 Hz.

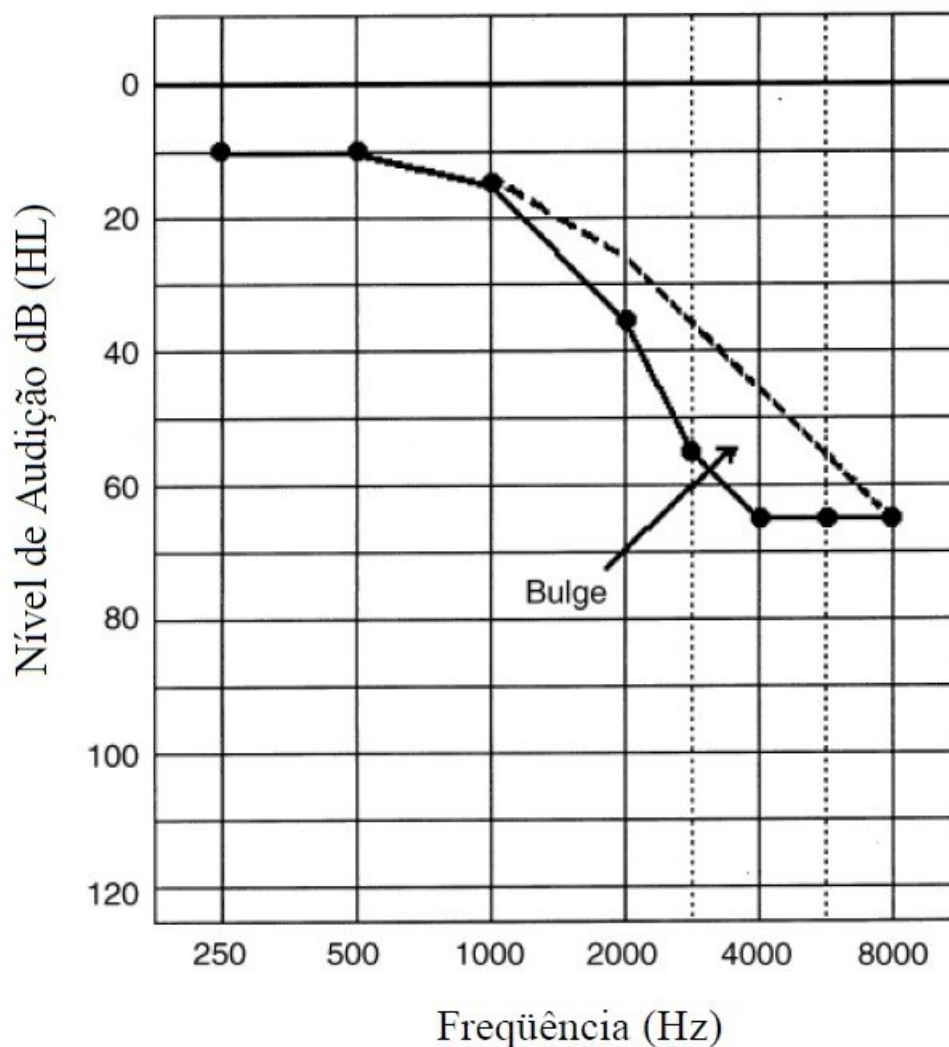


Figura 2 – Protuberância (bulge) para baixo e para a esquerda no audiograma típico de PAIR associado à perda auditiva por idade (AAHL). (A linha tracejada indica a AAHL mediana para os homens com 70 anos). Adaptado de (COLES; LUTMAN; BUFFIN, 2000)

A partir do trabalho (LOPES, 2015) observou-se que a média calculada da última medição dos funcionários estava alterada. Dos 106 funcionários, mais de 90% apresentam a diferença entre as médias igual ou superior à 10 dB. Todas as medições foram realizadas no laboratório especializado em audiometria devidamente certificado, de acordo com as regras propostas pelo ministério do trabalho. Ao longo do tempo de empresa de cada trabalhador, ao menos uma vez por ano, ele foi submetido a uma audiometria. Devido a uma suspeita de falha na medição de 2013, excepcionalmente cada trabalhador realizou dois exames audiométricos (em um curto intervalo de tempo), um na cabine audiométrica da própria empresa e outro

em um laboratório especializado na realização de audiometrias.

Os dados coletados por meio da audiometria são relativos aos limiares auditivos em sete frequências específicas (0,5, 1, 2, 3, 4, 6, e 8 KHz) e foram realizados separadamente nos ouvidos direito e esquerdo. As análises, em alguns casos, excederam aos critérios expostos pela norma NR-7. Esse resultado não era esperado, visto que as medições foram realizadas em um curto espaço de tempo. De acordo com os resultados da aplicação do teste t-Student para comparação de médias em amostras pareadas, a conclusão foi de que os resultados apresentados pela empresa estavam sobrestimados em relação ao laboratório.

Finalizado esse trabalho, foram identificadas algumas relações que precisam ser entendidas, por exemplo, como as variáveis idade, tempo de empresa se relacionam, se alterações nas frequências poderiam alterar essa relação e se existiria algum modelo matemático que representasse a perda auditiva. Como os modelos longitudinais são aqueles em que indivíduos são medidos repetidamente através do tempo e, uma vez que não encontramos nenhum estudo que abordasse esse aspecto, a escolha deste modelo matemático/estatístico parece natural. O mesmo banco de dados usado em (LOPES, 2015), excluindo as medições incorretas realizadas em 2013 pela empresa, será novamente utilizado.

3.3 Modelos Longitudinais

A análise de dados com respostas correlacionadas é comum em estudos na área de medicina, epidemiológica, econômica, dentre outras, onde medidas do mesmo indivíduo podem ser obtidas em diferentes ocasiões. As observações repetidas para um mesmo indivíduo caracterizam um estudo longitudinal, cujo objetivo é detectar possíveis mudanças na resposta dos indivíduos sob o tempo, além de avaliar quais fatores influenciam na heterogeneidade entre indivíduos (FITZMAURICE; LAIRD; WARE, 2012). Essa heterogeneidade, em geral, pode estar associada a fatores genéticos, ambientais, sociais, dentre outros. Dessa forma, o desenho de estudo longitudinal permite conhecer características do indivíduo que podem explicar tal heterogeneidade, e como é a mudança ao longo do tempo.

Em um estudo longitudinal, os participantes, ou mais geralmente as unidades a serem estudadas, são referidos como indivíduos ou sujeitos. Nesse sentido, a resposta do i -ésimo indivíduo, $i = 1, 2, \dots, n$, tomada repetidamente ao longo do tempo, é definida por Y_{ij} , e pode ser agrupada em um vetor $m_i \times 1$ do tipo $\mathbf{Y}_i = (Y_{T_{i1}}, \dots, Y_{T_{im_i}})^T$, com $j = 1, \dots, m_i$. Associado a cada Y_{ij} , há um vetor $p \times 1$ de variáveis preditoras X_{ij} , que podem ou não mudar ao longo do tempo, ou seja, $\mathbf{X}_{ij} = (X_{T_{i11}}, \dots, X_{T_{im_i p}})^T$. Os vetores $\mathbf{X}_{ij}$ podem ser representados por uma matriz $m_i \times p$:

$$\mathbf{X}_i = \begin{pmatrix} X_{i11} & X_{i12} & \dots & X_{i1p} \\ X_{i21} & X_{i22} & \dots & X_{i2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{im_i1} & X_{im_i2} & \dots & X_{im_ip} \end{pmatrix}$$

A Tabela 2 mostra um exemplo da estrutura de dados longitudinais.

Tabela 2 – Estrutura dos dados longitudinais

Indivíduo	Tempo	Resposta	Variáveis explicativas		
1	1	y_{11}	x_{111}	$\dots$	x_{11p}
1	2	y_{12}	x_{121}	$\dots$	x_{12p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
1	m_1	y_{1m_1}	x_{1m_11}	$\dots$	x_{1m_1p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	1	y_{i1}	x_{i11}	$\dots$	x_{i1p}
i	2	y_{i2}	x_{i21}	$\dots$	x_{i2p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
i	m_i	y_{im_i}	x_{im_i1}	$\dots$	x_{im_ip}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	1	y_{n1}	x_{n11}	$\dots$	x_{n1p}
n	2	y_{n2}	x_{n21}	$\dots$	x_{n2p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
n	m_n	y_{nm_n}	x_{nm_n1}	$\dots$	x_{nm_np}

A análise dos dados em um estudo longitudinal requer técnicas de modelagem que levem em conta o fato de que as medidas repetidas de um mesmo indivíduo podem ser correlacionadas. Assim, os modelos usuais, que supõem independência entre as observações, não são apropriados para analisar dados dessa natureza.

Um dos trabalhos pioneiros em análise de dados longitudinais foi escrito por (LAIRD; WARE, 1982), que, com base em uma classe mais geral de modelos lineares mistos (MLM), inicialmente introduzida por (HARVILLE, 1977), descreveram uma classe flexível de modelos lineares mistos para modelar respostas contínuas, que incluía como casos especiais a ANOVA univariada para medidas repetidas, e os modelos para curvas de crescimento em dados longitudinais (FITZMAURICE; LAIRD; WARE, 2012).

Nos últimos anos, vários modelos que estendem os Modelos lineares ¹ foram apresentados para modelar respostas longitudinais. Em (DIGGLE, 2002) foram apresentadas extensões dos modelos lineares para dados longitudinais, incorporando a dependência entre ob-

¹ Linear Models (LM)

servações ao longo do tempo. Nas subseções a seguir, duas destas extensões serão apresentadas.

3.3.1 Modelos Marginais

Os modelos marginais possuem metodologias mais populares para modelar dados cuja resposta tem caráter longitudinal e fornecem um método unificado para analisar vários tipos de respostas longitudinais, evitando suposições sobre a distribuição do vetor de respostas, e baseando-se exclusivamente em suposições sobre a resposta média. Essa classe de modelos caracteriza a esperança marginal de uma variável resposta discreta ou contínua, como função de um conjunto de variáveis preditoras, sendo apropriada quando o foco da análise é inferir sobre a média da população (DIGGLE, 2002). Assim, o termo “marginal”, nesse contexto indica que o modelo para a resposta média em cada ocasião não incorpora dependência sobre nenhum efeito aleatório ou sobre respostas anteriores (FITZMAURICE; LAIRD; WARE, 2012).

Em outras palavras, as respostas são modeladas marginalmente em relação às demais respostas, observando os efeitos no conjunto e, associado a este modelo, há uma estrutura de correlação envolvida, pois para um mesmo indivíduo são feitas várias medidas. Segundo (DIGGLE, 2002) este modelo é capaz de modelar separadamente o efeito das variáveis explicativas na esperança da variável resposta, ou seja, esta esperança individual, $E(Y_{ij})$, é expressa em função de $X_{ij}^T \beta$, onde $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)^T$, $p < n$, é o vetor dos parâmetros da regressão a serem estimados.

Neste trabalho, a utilização de modelos marginais não é aconselhável visto que os dados são desbalanceados, pois os indivíduos são medidos em tempos diferentes (diferentes períodos de trabalho, admissão, demissão, etc). Neste caso, é aconselhável utilizar o Modelo de Efeitos Mistos (LME) ou o Modelo Linear Generalizado para dados desbalanceados. Foi analisado cada modelo separadamente respeitando se a suposição em cada uma delas estava sendo satisfeita a fim de que o melhor modelo fosse determinado.

3.3.2 Modelos Lineares Mistos - MLM

Na análise de dados onde a mesma unidade experimental é medida várias vezes, os modelos clássicos de regressão, que apresentam apenas efeitos fixos além do erro experimental, não podem ser utilizados visto que a pressuposição básica de independência entre as observações não pode ser assumida.

Existe outra classe de modelos bastante utilizada em estudos longitudinais que são os modelos lineares mistos, que incluem efeitos aleatórios no modelo de efeitos fixos, a nível do indivíduo, modelando a heterogeneidade entre indivíduos e induzindo, assim, uma

covariância entre as respostas repetidas.

3.3.2.1 Por que usar modelos de efeitos aleatórios

Os modelos de efeitos aleatórios também são conhecidos como modelos multinível, modelos mistos, modelos de coeficientes aleatórios, modelos Bayes empíricos e modelos de regressão aleatória. Modelos de efeitos aleatórios são modelos de regressão nos quais os coeficientes de regressão podem variar entre os indivíduos ou entre grupos de indivíduos.

3.3.2.2 Vantagens dos Modelos de Efeitos Aleatórios para Análise de Dados Longitudinais

Para estudos longitudinais, os modelos de efeitos aleatórios permitem que o pesquisador não apenas descreva a tendência ao longo do tempo, tendo em conta a correlação existente entre as medições sucessivas, mas também descreva a variação geral de uma população e a taxa de mudança ao longo do tempo no nível do indivíduo.

Neste tipo de modelagem, é possível que nem todos os indivíduos sejam medidos em todas as ocasiões. Um indivíduo pode, por alguma razão, não comparecer ao local no dia da medição, ou seja, o número e os instantes de medições não precisam ser igualmente espaçados.

As análises podem ser conduzidas para indivíduos que possam perder uma ou mais medições, ou possa ter perdido o acompanhamento em algum momento durante o estudo.

Em análise de dados, geralmente observamos várias medições ausentes ou incompletas o que normalmente são fatores de grande preocupação. Poucos indivíduos são perdidos para acompanhamento em estudos populacionais e geralmente isso acontece quando pesquisa é abandonada ou quando o indivíduo morre.

O modelo misto acomoda bem essas perdas, pois não há necessidade para determinar as estimativas dos parâmetros, que os dados sejam balanceados. Esse modelo permite acomodar perda de dados.

Existem várias técnicas para analisar dados longitudinais, incluindo modelos lineares generalizados com equações de estimação generalizadas (isto é, modelos de GEE) e os modelos lineares mistos (MLMs), que inclui como casos particulares os modelos para curvas de crescimento e a ANOVA univariada para medidas repetidas. Nessa família, que apresenta tanto efeitos fixos como aleatórios, além do erro experimental, o vetor de respostas segue uma distribuição normal.

A metodologia descrita por Laird e Ware consiste em um modelo de dois níveis para medidas repetidas, sendo baseada no trabalho de (HARVILLE, 1977), onde o autor discute o problema na estimação dos componentes da variância em modelos de análise de variância.

Laird e Ware, no primeiro nível do modelo, introduziram os parâmetros populacionais, efeitos individuais e a variação intra-indivíduo, enquanto que a variação entre-indivíduos entra no segundo nível do modelo.

A denominação 'modelo linear misto' é geralmente reservada a modelos lineares que contenham efeitos fixos além da média geral μ , e qualquer outro termo aleatório além do erro. Assim, o modelo proposto é dado pela seguinte expressão:

$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{X}_i\beta + \mathbf{Z}_i\mathbf{b}_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

em que Y_i é um vetor m_i -dimensional; β é um vetor $p \times 1$ de parâmetros desconhecidos; $\mathbf{X}_i$ e $\mathbf{Z}_i$ são matrizes conhecidas, de dimensão $m_i \times p$ e $m_i \times q$, respectivamente; $\mathbf{b}_i$ é um vetor $q \times 1$ de efeitos aleatórios a nível do indivíduo, independente de $\mathbf{X}_i$; e $\varepsilon \sim N(0, \Sigma_i)$, onde Σ_i é a matriz de covariâncias, cuja dimensão é $m_i \times m_i$. Os efeitos $\mathbf{b}_i$ seguem uma distribuição normal, com média 0 e matriz de covariância $\mathbf{G}$, de dimensão $m_i \times m_i$, e são independentes de ε_i .

É importante ressaltar que o efeito aleatório β_i capta as variações do indivíduo i , sendo de fundamental importância para trabalhos em que existem diferenças entre os indivíduos. Por exemplo, o câncer de pulmão em grupos de fumantes e não fumantes.

Marginalmente, os Y_i são independentes e seguem uma distribuição normal com média $\mathbf{X}_i\beta$ e matriz de covariâncias Σ_i , dada por $\mathbf{Z}_i\mathbf{G}\mathbf{Z}_i^T + \sigma^2\mathbf{I}$, em que $\mathbf{I}$ é uma matriz identidade. Assim, a função de verossimilhança para o modelo descrito na Equação (1) é dada por:

$$L(\beta, \sigma^2, \mathbf{G}) = \prod_{i=1}^n |\Sigma_i|^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{Y} - \mathbf{X}_i\beta)^T \Sigma_i^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{X}_i\beta) \right\} \quad (2)$$

Para estimar os parâmetros do modelo linear misto, Laird e Ware sugerem o uso do algoritmo EM (Expectativa de Maximização) (DEMPSTER; LAIRD; RUBIN, 1977) para obtenção das estimativas de máxima verossimilhança (MV). Contudo, a estimação por MV fornece estimativas viciadas para os componentes da variância. Isso se deve ao fato de que a função de verossimilhança completa, descrita na Equação (2), envolve o vetor β , de parâmetros fixos, que precisa ser estimado juntamente com os componentes de variância, e a perda de graus de liberdade na estimação dos efeitos fixos não é levada em consideração na estimação de MV dos componentes de variância. Uma solução é utilizar o método de máxima verossimilhança restrita (PATTERSON; THOMPSON, 1971), que em geral, diminui o viés dos estimadores de máxima verossimilhança para os componentes de variância. Para

esse método a seguinte função de verossimilhança é considerada:

$$L(\sigma^2, \mathbf{G}) = \prod_{i=1}^n |\Sigma_i|^{-1/2} |\mathbf{X}_i^T \Sigma_i \mathbf{X}_i|^{-1/2} \exp \left\{ \frac{1}{2} (\mathbf{Y} - \mathbf{X}_i \beta)^T \Sigma_i^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{X}_i \beta) \right\} \quad (3)$$

Vale ressaltar que este tipo de estimativa está implementado em vários softwares estatísticos, inclusive o R (R Core Team, 2017, 2017), adotado neste trabalho.

Embora a introdução de efeitos aleatórios no modelo misto possa dar conta da correlação entre as respostas longitudinais, ela tem importantes implicações na interpretação dos coeficientes da regressão. A interpretação dos β s nessa classe de modelos é ao nível do indivíduo, ou seja, β mede a mudança na resposta do indivíduo i a cada unidade que aumentamos (ou diminuimos) em $\mathbf{X}_{ij}$. Assim, a forma como interpretam-se os coeficientes do modelo misto é o que o difere dos modelos marginais, cujo alvo da inferência é a média da população (FITZMAURICE; LAIRD; WARE, 2012).

É possível, através do teste da razão de verossimilhança ((CASELLA; BERGER, 2002)), verificar se o efeito $\mathbf{b}_i$ é estatisticamente significativo. Ou seja, sob H_0 (hipótese nula) queremos testar se $\sigma_b^2 = 0$, onde σ_b^2 é a variância de $\mathbf{b}_i$. Se o teste apontar para um efeito estatisticamente significativo implica, então, que a inclusão de $\mathbf{b}_i$ no modelo é importante para explicar a variação entre indivíduos decorrente das medidas repetidas. O teste usual para tal verificação possui distribuição assintótica qui-quadrado com 1 grau de liberdade. Esse teste é, em geral, conservador por testar na fronteira do espaço paramétrico, sendo aconselhável considerar uma mistura de qui-quadrados ($\frac{1}{2}\chi_0^2 + \frac{1}{2}\chi_1^2$) como distribuição.

Além de avaliar se o efeito σ_b^2 é estatisticamente significativo, é também de frequente interesse expressá-la em termos de uma correlação intra-classe (TOM; BOSKER; BOSKER, 1999) nos modelos onde apenas o intercepto é aleatório. O coeficiente de correlação intra-classe indica a proporção não explicada da variância a nível do indivíduo, ou seja, ele reflete a magnitude da variância entre indivíduos (HEDEKER; GIBBONS, 1994). De forma geral, o coeficiente de correlação intra-classe (ICC, em inglês) é expresso por:

$$ICC = \frac{\hat{\sigma}_b^2}{\hat{\sigma}_b^2 + \hat{\sigma}_\varepsilon^2}$$

em que $\hat{\sigma}_b^2$ representa a variância estimada para o efeito aleatório, e $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ a variância estimada dos erros do modelo.

A função de verossimilhança nessa classe de modelos é expressa por:

$$\begin{aligned}
 L(\beta, \phi, \mathbf{G}) &= \prod_{i=1}^n \int_{\mathbf{b}_i} f(\mathbf{Y}_i, \mathbf{b}_i) d\mathbf{b}_i \\
 &= \prod_{i=1}^n \int_{\mathbf{b}_i} f(\mathbf{Y}_i | \mathbf{b}_i) f(\mathbf{b}_i) d\mathbf{b}_i \\
 &= \prod_{i=1}^n \int_{\mathbf{b}_i} \left[\prod_{j=1}^{m_i} f(Y_{ij} | \mathbf{b}_i) \right] f(\mathbf{b}_i) d\mathbf{b}_i
 \end{aligned} \tag{4}$$

Os parâmetros do modelo linear misto são obtidos maximizando-se a função descrita na Equação (4). Contudo, em geral, a integral anterior não possui forma analítica, e para obtenção das estimativas por máxima verossimilhança faz-se então necessária a utilização de métodos de aproximação numérica, como Laplace ou Quadratura gaussiana (PINHEIRO; BATES, 1995). Os métodos aproximados, por sua vez, podem ser computacionalmente intensivos se o número de efeitos aleatórios no modelo for relativamente grande. Uma melhor alternativa é utilizar o algoritmo EM.

O teste da razão de verossimilhança é frequentemente usado para a seleção do modelo adequado, juntamente com o AIC – Critérios de Informação de Akaike. De acordo com o estudo de Sobral, Thalesm (SOBRAL; BARRETO, 2011), o AIC pode ser explicado como um critério que dá uma pontuação para o modelo, baseado em sua adequação aos dados e na ordem do modelo. Os critérios de informação têm um grande ponto a favor, que é a facilidade e baixo custo computacional para serem calculados, uma vez que necessitam somente da ordem do modelo, tamanho da amostra e variância do ruído (no caso dos mínimos quadrados), e servem como mais um método de análise qualitativa dos modelos, auxiliando o pesquisador na tarefa de decisão em seleção de modelos. Outro ponto é que os critérios simplesmente geram uma 'nota' para o modelo, mas nada dizem sobre a qualidade deles.

Ao selecionar o melhor modelo não necessariamente significa selecionar a melhor estrutura para as médias e sim a melhor estrutura de covariâncias. Há algumas etapas para a construção do modelo como a seleção dos efeitos fixos, identificação dos efeitos aleatórios e comparação dos modelos.

Para os dados deste trabalho foi utilizado os modelo lineares mistos e os modelos lineares desbalanceados: Exponencial, AR Contínuo, Gaussiano e Esférico e as matrizes de covariâncias foram testadas.

De acordo com o trabalho de (ABRANTES et al.,), os erros de ajuste do modelo, representados por ε_i apresentam uma distribuição normal m-variada com média zero e variância $\mathbf{V}_i$, ou seja, $\varepsilon_i \sim N(0, \mathbf{V}_i)$. A matriz de variância e covariância ($\mathbf{V}_i$) pode ser estruturada ou

não estruturada. As principais formas de estruturá-la são apresentadas a seguir:

- **não estruturada:** nesta forma são consideradas a variância e covariância para cada par de medidas. Neste caso $\sigma_{kj} = \sigma_{jk}$ e temos $m_i(m_i + 2)$ componentes de variância.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1m_i} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2m_i} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ \sigma_{m_i1} & \sigma_{m_i2} & \cdots & \sigma_{m_im_i} \end{bmatrix} \quad (5)$$

- **correlação uniforme:** considera-se que a variância é σ^2 e que a covariância entre as medidas é a mesma σ^2 em todos os pares de tempos;

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

- **auto-regressiva ou correlação serial:** semelhante à uniforme, porém a matriz é resultado da multiplicação da variância por um valor σ^2 para as variâncias e por um número representado pelo valor de um coeficiente de correlação elevado à diferença de tempo entre as medidas $\rightarrow (\rho^{|j-k|})$. A intenção é que as informações mais próximas tendem a ser mais correlacionadas que as informações mais distantes pois à medida que aumenta a diferença entre os tempos a correlação diminui. A vantagem é que a matriz é modelada com apenas dois parâmetros (σ^2 e ρ) e $0 < \rho < 1$.

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \cdots & \rho^{m_i-1} \\ & 1 & \rho & \cdots & \rho^{m_i-2} \\ & & 1 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Quando os dados são correlacionados, os valores de y_{ij} tendem a depender das demais medições, então a correlação precisa ser modelada. Uma maneira de fazer isso é medindo a função de $g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|)$. Existem diversas maneiras de medir essa matriz de correlação e para isso, temos que a covariância entre duas medições no mesmo indivíduo, y_{ij} , y_{ik} é dada por:

$$Cor(y_{ij}, y_{ik}) = \frac{Cov(y_{ij}, y_{ik})}{\sqrt{var(y_{ij})var(y_{ik})}} \quad (8)$$

sendo

$$\text{var}(y_{ij}) = \text{var}(y_{ik}) = \sigma^2 \quad (9)$$

temos que:

$$\text{Cov}(y_{ij}, y_{ik}) = g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|) \quad (10)$$

Algumas formas para $g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|)$:

- **Exponential:** $g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|) = \exp(-\phi|t_{ij} - t_{jk}|)$;
- **AR contínuo:** $g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|) = \phi^{|t_{ij} - t_{jk}|}$;
- **Gaussiano:** $g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|) = \exp(-(\phi|t_{ij} - t_{jk}|)^2)$;
- **Esférica:** $g(\phi, |t_{ij} - t_{jk}|) = (1 - 1.5(\phi|t_{ij} - t_{jk}|) + 0.5(\phi|t_{ij} - t_{jk}|)^3)$;

No modelo Exponencial a correlação entre qualquer par de medidas repetidas diminui exponencialmente com as separações de tempo entre elas. Como o expoente é negativo, ele vai dar mais peso aos que são semelhantes. O modelo AR Contínuo funciona como se fosse uma cadeia de Markov, as observações mais próximas possuem mais peso que as distantes, ou seja, quanto mais distante no tempo menos peso possui. O modelo Gaussiano tem interpretação próxima da exponencial, quanto mais próximo o $|t_{ij} - t_{jk}|$, maior o peso. O modelo Esférico é uma mistura, pois possui correlações que não são lineares. O modelo possui um peso linear e um cúbico. A função trabalha com um peso fixo, se as distâncias forem grandes ele dá o peso de 0,5 (soma), se as distâncias forem menores ele apresenta uma (subtração) de 1,5.

Capítulo 4

Resultados

Os estudos foram iniciados utilizando o modelo de regressão múltipla com o objetivo de mostrar sua inadequação. Foi realizado uma análise descritiva dos dados na tentativa de responder aos objetivos deste trabalho.

Os trabalhadores são funcionários do setor automotivo, todos do sexo masculino e o ambiente de trabalho é ruidoso. O tempo médio de exposição desses trabalhadores é de 8 horas diárias, sendo o tempo médio que trabalharam nessa empresa de 13 anos com idade média de 45 anos.

Foi realizado uma análise de regressão da última medição dos ouvidos esquerdo e direito.

A equação de regressão do Ouvido Esquerdo - OE é dada da seguinte forma:

$$\text{Medição} = 5,76 + 0,227 \times \text{Idade} + 0,122 \times \text{Tempo de empresa}.$$

Essa equação representa o aumento da audição através do tempo de exposição e idade, o que diverge completamente de todo referencial teórico pesquisado sobre o assunto.

O mesmo critério se aplica ao Ouvido Direito - OD, cuja equação de regressão é

$$\text{Medição} = -3,15 + 0,389 \times \text{Idade} + 0,0863 \times \text{Tempo de empresa}.$$

Uma das suposições do modelo de regressão é que os resíduos possuem uma distribuição normal com média zero e mesmo desvio-padrão. Podemos observar pelos gráficos 3 e 4, que há evidências para concluir que os dados não seguem a distribuição normal. Esses gráficos são chamados de QQ-Plot, onde, no eixo das abscissas, são plotados os quantis teóricos da normal e no eixo das ordenadas, são plotados os quantis dos resíduos. Se os resíduos seguem uma distribuição normal, espera-se que os pontos fiquem em cima da

reta, o que não é observado nas figuras 3 e 4. Além disso, as medidas realizadas são correlacionadas, pois foram realizadas no mesmo indivíduo em tempos diferentes. Logo, a estatística descritiva não é aconselhada.

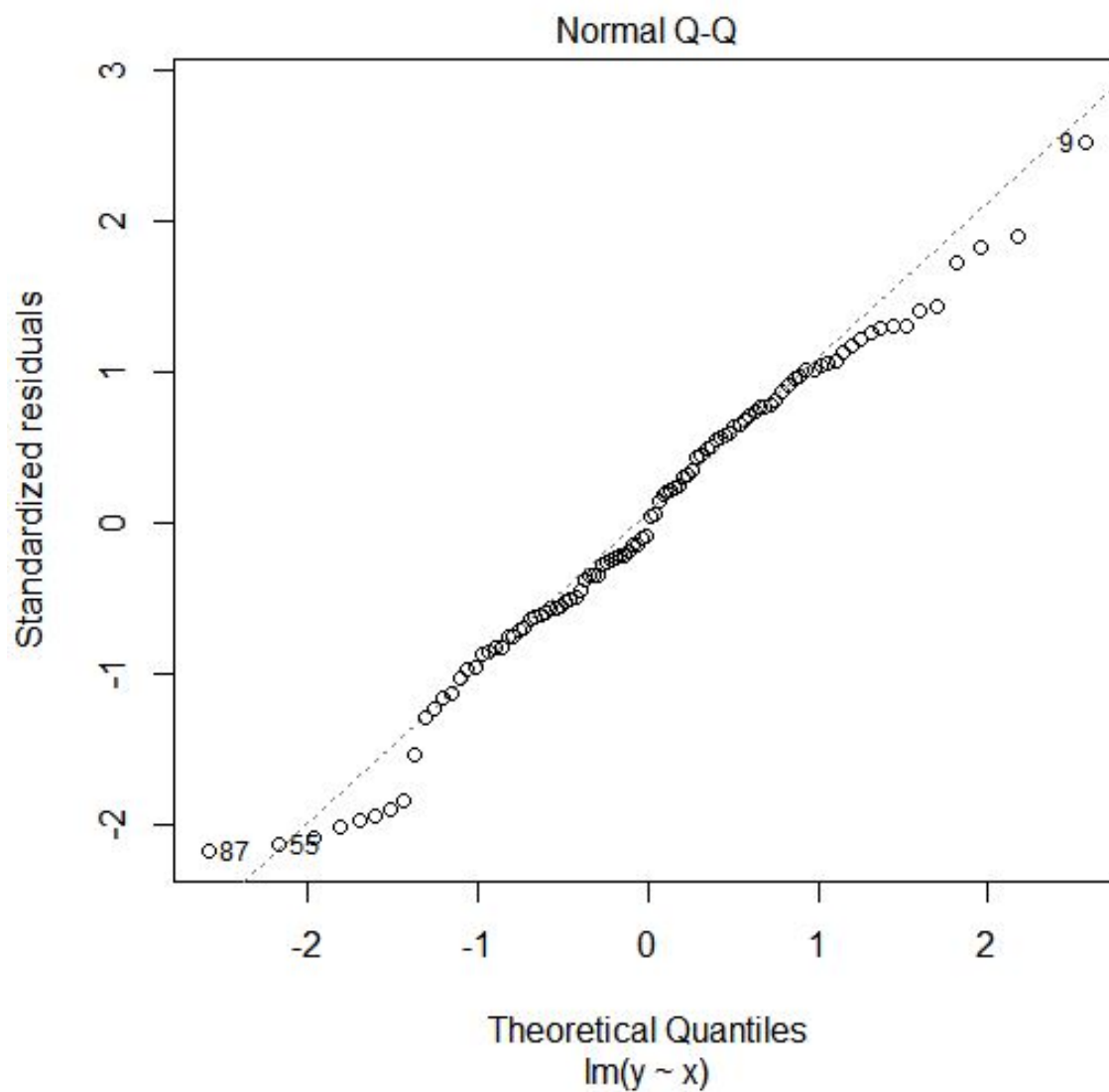


Figura 3 – Normal Q-Q Ouvido Esquerdo

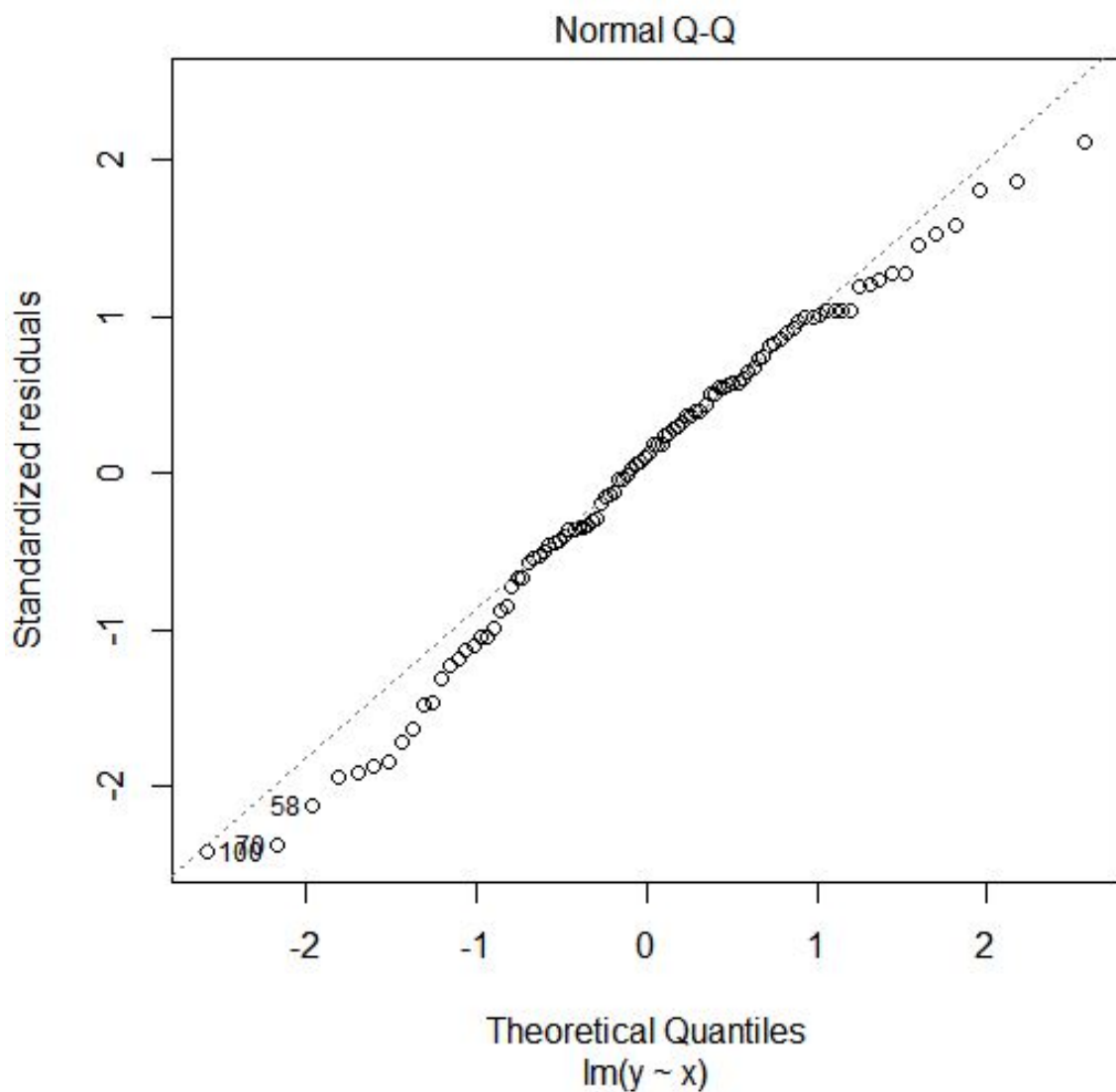


Figura 4 – Normal Q-Q Ouvido Direito

As medições audiométricas deste trabalho são reais e concluímos não ser adequado tratar esses dados usando regressão linear múltipla, pois uma vez violada a suposição de normalidade dos resíduos, são geradas estimativas viciadas e, além disso, os parâmetros do modelo ficam com sinal contrário ao esperado para esses tipos de dados. O modelo de regressão gerado não faz sentido. Como os dados são medidas repetidas de indivíduos ao longo do tempo, é de se esperar que suas medidas sejam correlacionadas.

O modelo longitudinal é natural para acomodar em modelos lineares a correlação da medida de indivíduos, modelando a estrutura de covariância.

Dessa forma, dados longitudinais podem ser obtidos tanto prospectivamente, seguindo os sujeitos ao longo do tempo, ou retrospectivamente, extraindo as múltiplas medidas de cada indivíduo a partir de registros históricos. É importante salientar que o tipo de problema considerado sob a denominação de análise de dados longitudinais difere daquele comumente tratado na literatura estatística por análise de séries temporais pelo fato de que, neste caso, em geral, dispõe-se de uma única unidade amostral com muitas observações ao longo do tempo (por exemplo, 100 ou mais), ao passo que naquele, lida-se com várias unidades amostrais (por exemplo, 5 ou mais) observadas em poucos instantes (por exemplo, 2 a 10). Os conjuntos de dados longitudinais são formados por observações ao longo do tempo de uma variável resposta (Y) e um grupo de covariáveis para cada um dos sujeitos, (ou unidade de investigação).

A principal vantagem do modelo longitudinal, razão pela qual definiu-se este o modelo adequado para a análise dos dados de PAIR, é a sua eficácia para estudar a mudança ao longo do tempo. Esse modelo foi pouco usado para tratar a PAIR. Outro mérito do estudo longitudinal é sua capacidade para distinguir o grau de variação em Y sobre o tempo para uma pessoa a partir da variação em Y entre as pessoas.

A utilização dos Modelos Marginais foi descartada tendo em vista que os dados são desbalanceados. Além das análises iniciais usando o modelo de regressão múltipla, foi estudado o Modelo Linear de Efeitos Mistos, supostamente o mais adequado e foram realizadas diversas simulações com esse modelo. Neste modelo há várias medições para cada tempo, mas há uma suposição a ser satisfeita: a de que os resíduos são normais. Analisando graficamente (Figura 5) percebemos que os resíduos não atendem a essa suposição. No intuito de modelar melhor os resíduos, foi proposto "standartizar" o modelo de efeitos mistos para conseguir normalizá-los. Essas análises foram feitas e a suposição continuou não sendo válida (Figura 5).

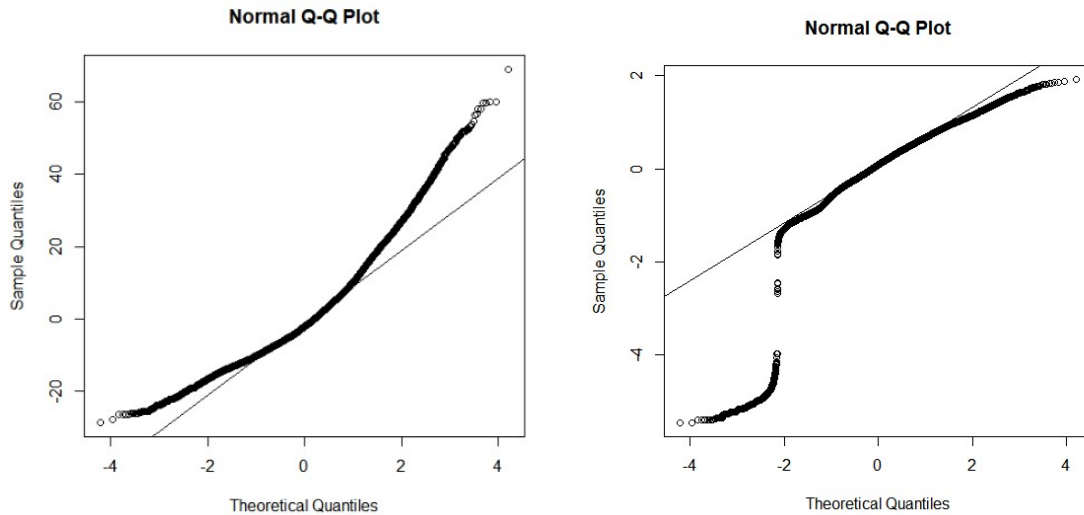


Figura 5 – Q-Q Plot e Q-Q 'Standartizado'

O próximo passo foi estudar o Modelo Linear Generalizado Desbalanceado. Foram testados os seguintes modelos: Exponencial, AR Contínuo, Gaussiano e Esférico. Foram realizadas simulações com as variáveis (Idade e Tempo) para cada um dos modelos citados, considerando:

$$Modelo1 = \beta_0 + \beta_i Idade + \beta_i Tempo \quad (11)$$

$$Modelo2 = \beta_0 + \beta_i Tempo \quad (12)$$

$$Modelo3 = \beta_0 + \beta_i Idade + \beta_i Tempo + \beta_i Idade \times Tempo \quad (13)$$

$$Modelo4 = \beta_0 + \beta_i Idade \quad (14)$$

Após testes, o modelo que melhor representa os dados deste trabalho foi escolhido. Seleccionamos dentre os modelos: Exponencial, AR Contínuo, Gaussiano e Esférico, o que apresentou o menor AIC (Critério de informação Akaike): o Exponencial.

Dentre as simulações com as variáveis (Idade e Tempo) do modelo Exponencial, escolhemos o que apresentou a maior interação. No caso deste trabalho foi escolhido o modelo 3 – Exponencial, descrito da seguinte forma:

$$AIC(modelo3) = 8027.036$$

$$Modelo3 = \beta_0 + \beta_i Idade + \beta_i Tempo + \beta_i Idade \times Tempo \quad (15)$$

Tabela 3 – Coeficientes do Modelo 3

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	4.4126	2.2059	2.0004	0.0457
Idade	0.3272	0.0629	5.2053	0.0000
Tempo	0.0016	0.0007	2.4481	0.0145
Idade*Tempo	0.00003	0.00002	-2.22565	0.0262

Observando a tabela 3 o p-valor da interação Idade x Tempo (0.0262) foi significativo, considerando o nível de significância de 5%. Logo, a Idade e Tempo não podem ser interpretados sozinhos.

De acordo com as referências bibliográficas pesquisadas, é natural que ocorra o desgaste da audição na medida em que envelhecemos e por isso foi analisado se há interação entre as variáveis tempo e idade (confundimento). O confundimento pode ser associado com a exposição sem ser sua consequência e pode estar associado com o desfecho/doença independente da exposição. O confundimento é representado pela interação $\beta Idade \times Tempo$.

No modelo exponencial foi ignorado as medidas repetidas e foi trabalhado com a média dessas medições. Ou seja, há uma medição em cada tempo. Essa alteração em nada mudou com relação a estrutura do modelo longitudinal, ou seja, está sendo analisado medidas repetidas ao longo do tempo. No entanto, quanto de informação é perdida usando a média? Para responder a esse questionamento é preciso definir a estatística suficiente. Segundo (FERNANDES, 2014), a família exponencial inclui muitas distribuições de probabilidade mais comumente utilizadas em Estatística, tanto contínuas quanto discretas. Uma característica essencial desta família é que existe uma estatística suficiente com dimensão fixa. Definição: A família de distribuições com função de (densidade) de probabilidade $p(x|\theta)$ pertence à família exponencial a um parâmetro se podemos escrever:

$$p(x|\theta) = a(x)exp[u(x)]\phi(\theta) + b(\theta) \quad (16)$$

Pelo critério de fatoração de Neyman, $U(x)$ é uma estatística suficiente para θ . Neste caso, a classe conjugada é identificada como:

$$p(\theta) = \kappa(\alpha, \beta)exp[\alpha]\phi(\theta) + \beta b(\theta) \quad (17)$$

Aplicando o teorema de Bayes segue que:

$$p(\theta|x) = \kappa(\alpha + u(x), \beta + 1) \exp[\alpha + u(x)] \phi(\theta) + [\beta + 1] b(\theta) \quad (18)$$

Agora, usando a constante k, a distribuição preditiva pode ser obtida sem necessidade de qualquer integração. A partir da Equação $p(x)p(\theta|x) = p(x|\theta)p(\theta)$ e após simplificação segue que

$$p(x) = \frac{p(x|\theta)p(\theta)}{p(\theta|x)} = \frac{a(x)\kappa(\alpha, \beta)}{\kappa(\alpha + u(x), \beta + 1)} \quad (19)$$

De uma maneira mais direta, na estatística suficiente não é preciso ter ou usar todos os dados, ou seja, é válido usar a média como foi feito neste trabalho, em outras palavras, não perdemos informações se compararmos com o modelo linear de efeitos mistos.

Testes (semivariograma) foram aplicados para assegurar que o modelo exponencial está adequado e garantir que a suposição seja satisfeita. O semivariograma é um gráfico que expressa a variabilidade espacial entre as amostras e o grau de dependência entre os pontos amostrais. Quanto mais afastadas forem as amostras, mais seus valores em média deverão ser diferentes. De acordo com o gráfico 6 pode-se afirmar que a estrutura exponencial está adequada e os dados são aleatórios.

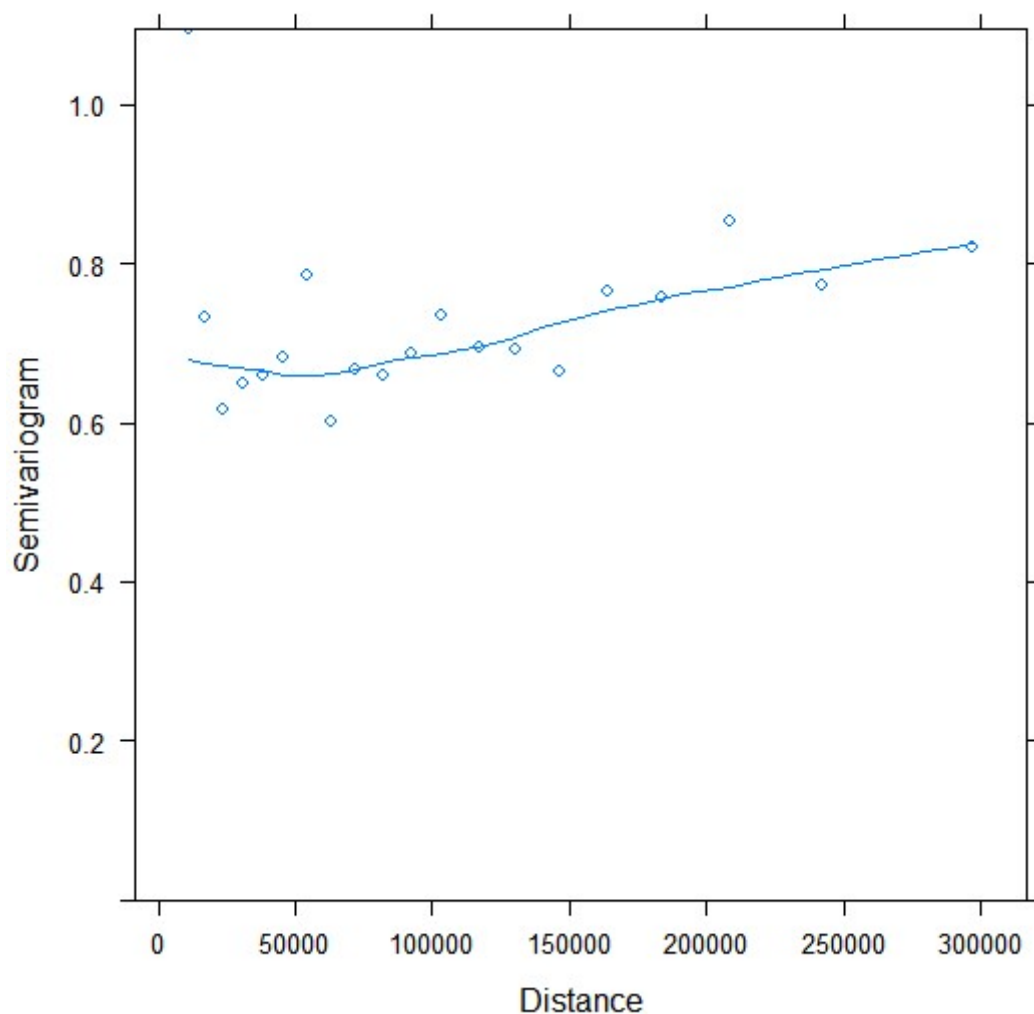


Figura 6 – Semi-Variograma do Modelo 3

Os resíduos do Modelo 3 (Exponencial) foi analisado. O teste Shapiro apresentou o p-valor baixo, igual a 0.000503, isso se dá pelo fato do banco de dados ser muito grande e qualquer variação será significativa. Nesse caso é melhor analisar os resíduos através do histograma mostrado na Figura 7. Nesta figura percebemos que a suposição do modelo para os resíduos normais com média zero é satisfeita, pois o histograma possui forma de sino centrado no valor zero (zero é a média, mediana e moda dos resíduos).

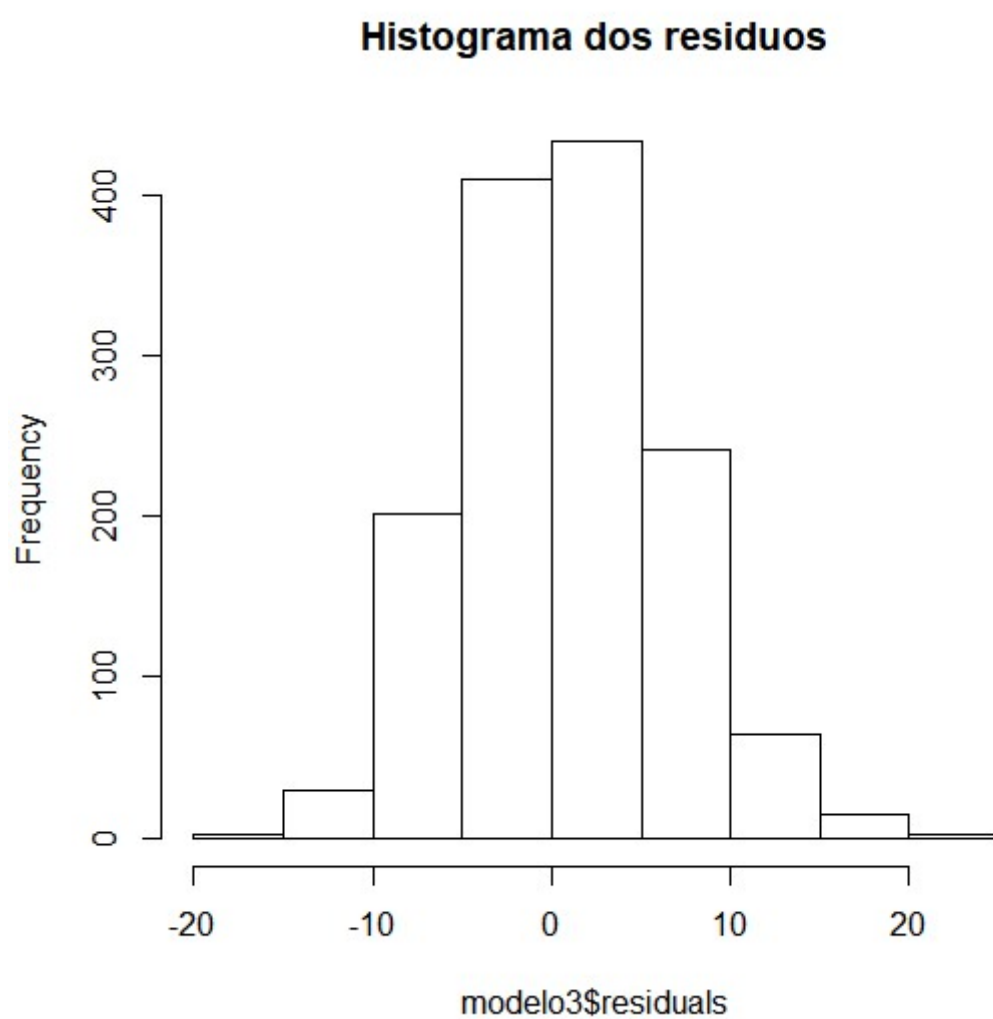


Figura 7 – Histograma dos resíduos

Capítulo 5

Conclusão

A principal motivação deste trabalho foi a identificação e aplicação de um modelo estatístico/matemático que possa explicar a perda auditiva de trabalhadores de ambientes industriais. Diversos modelos foram testados, como os modelos de regressão linear múltipla e séries temporais mostraram-se inadequados para explicar os dados deste trabalho, também foi testado o modelo linear misto, cuja suposição de normalidade dos resíduos não foi satisfeita. Levando em consideração que os indivíduos possuem suas medidas repetidas ao longo do tempo, foi analisado a adequação dos modelos longitudinais para estes dados.

Não foram encontradas aplicações deste tipo de modelo para o estudo da evolução dos dados de audiometria de trabalhadores expostos ao ruído. Inclusive livros teóricos sobre o assunto, como o (DIGGLE, 2002), são para abordagens longitudinais específicas.

De modo geral, os trabalhos utilizam estatística paramétrica e reafirmam os critérios estabelecidos pela norma regulamentadora NR-7 e a constituição biológica do ser humano, pois a deterioração dos limiares auditivos faz parte do processo degenerativo relacionado ao envelhecimento. Alguns trabalhos importantes que utilizaram estatística paramétrica como o realizado por (ALMEIDA, 1992), correlacionou a idade, o tempo de exposição ao ruído e a atividade profissional. Foi verificado que os limiares foram comprometidos de acordo com o tempo de exposição e faixa etária. (PASSCHIER-VERMEER, 1969) também desenvolveu um trabalho com conclusões semelhantes.

Para responder ao problema proposto neste trabalho, foi necessário entender como as variáveis “Idade versus tempo de empresa” se relacionam. Foram realizadas diversas simulações com diversos modelos longitudinais. Além disso, foram realizados testes considerando diversos efeitos e variações com as variáveis Idade e Tempo. O modelo que apresentou os melhores resultados e se ajustou melhor aos dados foi:

$$Modelo3 = \beta_0 + \beta_i Idade + \beta_i Tempo + \beta_i Idade \times Tempo \quad (20)$$

O modelo *Modelo3* (exponencial) foi o que apresentou a interação mais significativa dentre os modelos testados.

Apesar do modelo exponencial ser considerado o mais adequado para os dados reais deste trabalho, ainda há possibilidades de melhorias deste modelo e pretendemos aprofundar a análise já realizada.

Todas as análises comparativas entre os diversos modelos foram realizadas usando programas na linguagem R para validação dos dados.

Capítulo 6

Trabalhos Futuros

É natural esperar uma interação entre o Tempo e a Idade, pois são fatores intrínsecos a degeneração auditiva que está relacionada ao envelhecimento. Para os modelos testados neste trabalho, a interação entre Idade x Tempo foi significativa.

Seria necessário estender o modelo longitudinal para separar os efeitos dessas variáveis, pesquisando aplicações em outras áreas como economia, medicina, etc.

Poderia também ser incluído uma variável de nível de ruído relacionado com o EPI usado. Estudar como possíveis alterações na frequência podem afetar as variáveis Idade e Tempo seria também uma opção.

Seria interessante obter mais dados de empresas diferentes e aprofundar ainda mais a pesquisa na literatura em busca de modelos que incluem efeitos aleatórios e os separam, para ser possível propor extensões desses modelos.

Referências

- ABRANTES, M. M. et al. Diferentes estratégias de modelagem de dados longitudinais desbalanceados. Citado na página 29.
- ABREU, M. T. de; SUZUKI, F. A. Avaliação audiométrica de trabalhadores ocupacionalmente expostos a ruído e cádmio. **Rev Bras Otorrinolaringol**, SciELO Brasil, v. 68, n. 3, p. 488–94, 2002. Citado na página 11.
- ALMEIDA, S. D. et al. História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído. **Rev Assoc Med Bras**, SciELO Brasil, v. 46, n. 2, p. 143–58, 2000. Citado na página 2.
- ALMEIDA, S. D. et al. História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído. **Rev Assoc Med Bras**, v. 46, n. 2, p. 143–58, 2000. Citado na página 17.
- ALMEIDA, S. I. C. d. História natural da disacusia induzida por ruído industrial e implicações médico-legais. Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), 1992. Citado 3 vezes nas páginas 2, 15 e 41.
- ARAÚJO, S. A. Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, SciELO Brasil, v. 68, n. 1, p. 47–52, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 14.
- BARALDI, G. dos S.; ALMEIDA, L. C. de; BORGES, A. C. de C. Evolução da perda auditiva no decorrer do envelhecimento. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial, v. 1, n. 1, p. 64–70, 2007. Citado na página 16.
- CASELLA, G.; BERGER, R. L. **Statistical inference**. [S.l.]: Duxbury Pacific Grove, CA, 2002. v. 2. Citado na página 28.
- COLES, R.; LUTMAN, M.; BUFFIN, J. Guidelines on the diagnosis of noise-induced hearing loss for medicolegal purposes. **Clinical Otolaryngology & Allied Sciences**, Wiley Online Library, v. 25, n. 4, p. 264–273, 2000. Citado 4 vezes nas páginas vi, 13, 21 e 22.
- CORDEIRO, R. et al. Associação da perda auditiva induzida pelo ruído com o tempo acumulado de trabalho entre motoristas e cobradores. **Cadernos de Saúde Pública**, SciELO Brasil, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.
- DEMPSTER, A. P.; LAIRD, N. M.; RUBIN, D. B. Maximum likelihood from incomplete data via the em algorithm. **Journal of the royal statistical society. Series B (methodological)**, JSTOR, p. 1–38, 1977. Citado na página 27.

DIAS, A. et al. Associação entre perda auditiva induzida pelo ruído e zumbidos association between noise-induced hearing loss and tinnitus. **Cad. Saúde Pública**, SciELO Brasil, v. 22, n. 1, p. 63–68, 2006. Citado na página 7.

DIGGLE, P. **Analysis of longitudinal data**. [S.l.]: Oxford University Press, 2002. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 41.

DOBIE, R. A. Estimating noise-induced permanent threshold shift from audiometric shape: The iso-1999 model. **The official journal of the american auditory society, US National Library of Medicine National Institutes of Health, Influyente Ut Health System**, LWW, v. 26, n. 6, p. 630–635, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 2, 7 e 8.

FERNANDES, L. M. Inferência bayesiana em modelos discretos com fração de cura. 2014. Citado na página 37.

FERNANDES, M.; MORATA, T. C. Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. **Rev Bras Otorrinolaringol**, SciELO Brasil, v. 68, n. 5, p. 705–13, 2002. Citado na página 13.

FITZMAURICE, G. M.; LAIRD, N. M.; WARE, J. H. **Applied longitudinal analysis**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. v. 998. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 25 e 28.

HARVILLE, D. A. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. **Journal of the American Statistical Association**, Taylor & Francis, v. 72, n. 358, p. 320–338, 1977. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

HEDEKER, D.; GIBBONS, R. D. A random-effects ordinal regression model for multilevel analysis. **Biometrics**, JSTOR, p. 933–944, 1994. Citado na página 28.

KIRCHNER, D. B. et al. Occupational noise-induced hearing loss: Acoem task force on occupational hearing loss. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, LWW, v. 54, n. 1, p. 106–108, 2012. Citado na página 10.

KONINGS, A. et al. Association between variations in cat and noise-induced hearing loss in two independent noise-exposed populations. **Human molecular genetics**, Oxford Univ Press, v. 16, n. 15, p. 1872–1883, 2007. Citado na página 11.

LAIRD, N. M.; WARE, J. H. Random-effects models for longitudinal data. **Biometrics**, JSTOR, p. 963–974, 1982. Citado na página 24.

LEE, F.-S. et al. Longitudinal study of pure-tone thresholds in older persons. **Ear and hearing**, LWW, v. 26, n. 1, p. 1–11, 2005. Citado na página 6.

LEENSEN, M.; DUIVENBOODEN, J. V.; DRESCHLER, W. A retrospective analysis of noise-induced hearing loss in the dutch construction industry. **International archives of occupational and environmental health**, Springer, v. 84, n. 5, p. 577–590, 2011. Citado na página 7.

LIBARDI, A. et al. O ruído em sala de aula e a percepção dos professores de uma escola de ensino fundamental de piracicaba. **Distúrbios da Comunicação**. ISSN 2176-2724, v. 18, n. 2, 2006. Citado na página 10.

LOPES, A. C. et al. Condições de saúde auditiva no trabalho: investigação dos efeitos auditivos em trabalhadores expostos ao ruído ocupacional. **Arq Int Otorrinolaringol**, AMB (associação médica brasileira), Scielo, v. 13, n. 1, p. 49–54, 2009. Citado na página 12.

LOPES, M. D. Comparação de medição auditiva entre dois laboratórios. <http://plutao.est.ufmg.br/>, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 3, 12, 22 e 23.

MAIA, P. A. Estimativa de exposições não contínuas a ruído. **São Paulo**, 2002. Citado na página 18.

MAIA, P. A. O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional. **São Paulo (SP): FUNDACENTRO**, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 13.

MARTINS, R. H. G. et al. Surdez ocupacional em professores: um diagnóstico provável. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, SciELO Brasil, v. 73, n. 2, p. 239–244, 2007. Citado na página 11.

MENDES, A. F. T. et al. Ruído ocupacional em ambiente industrial. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.

Ministério do Trabalho, B. **Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 - NR 07. Norma Regulamentadora NR-7- Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional**. [S.l.], 06 de julho de 1978. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 19.

MIRANDA, C. R. et al. Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores industriais da região metropolitana de salvador, bahia. **Informe Epidemiológico do SUS**, Centro Nacional de Epidemiologia/Fundação Nacional de Saúde/Ministério da Saúde, v. 7, n. 1, p. 87–94, 1998. Citado na página 14.

OGIDO, R.; COSTA, E. A. da; MACHADO, H. da C. Prevalência de sintomas auditivos e vestibulares em trabalhadores expostos a ruído ocupacional. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, n. 2, p. 377–380, 2009. Citado na página 16.

OUVIR, D. d. **O que é uma audiometria?** 2016. Disponível em: <<https://www.direitodeouvir.com.br/audiometria>>. Citado na página 17.

PASSCHIER-VERMEER, W. Hearing loss due to exposure to steady-state broadband noise. TNO, 1969. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 41.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, Oxford University Press, v. 58, n. 3, p. 545–554, 1971. Citado na página 27.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. Approximations to the log-likelihood function in the nonlinear mixed-effects model. **Journal of computational and Graphical Statistics**, Taylor & Francis, v. 4, n. 1, p. 12–35, 1995. Citado na página 29.

PINTO, P. C. L. et al. Avaliação da relação entre severidade do zumbido e perda auditiva, sexo e idade do paciente. **Braz J Otorhinolaryngol**, SciELO Brasil, v. 76, n. 1, p. 18–24, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 5.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Citado 2 vezes nas páginas v e 28.

RABINOWITZ, P. Determining when hearing loss is work related. **CAOHC Update, Fall**, v. 17, n. 3, p. 6–10, 2005. Citado na página 15.

SCHLAUCH, R. S.; CARNEY, E. A multinomial model for identifying significant pure-tone threshold shifts. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, ASHA, v. 50, n. 6, p. 1391–1403, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 9.

SILVA, L. F.; MENDES, R. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 1, p. 9–17, 2005. Citado na página 7.

SILVA, L. F.; MENDES, R. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 1, p. 9–17, 2005. Citado na página 20.

SOBRAL, T. E.; BARRETO, G. Análise dos critérios de informação para a seleção de ordem em modelos auto regressivos. In: **X Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações**. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 29.

STANDARDIZATION, I. O. for. **Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment**. [S.l.]: International Organization for Standardization, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 3, 8 e 18.

TOM, A.; BOSKER, T. A. S. R. J.; BOSKER, R. J. **Multilevel analysis: an introduction to basic and advanced multilevel modeling**. [S.l.]: Sage, 1999. Citado na página 28.

WALLS, C. et al. Noise-induced hearing loss of occupational origin. **Wellington, New Zealand: Occupational Safety and Health Service, Department of Labor, New Zealand Government**, 1994. Citado na página 10.

Z A. R. et al. Relação entre deficiência auditiva, idade, gênero e qualidade de vida de idosos. **Arq. int. otorrinolaringol.(Impr.)**, v. 12, n. 1, p. 62–70, 2008. Citado na página 5.