

DESAFIOS DOS PROGRAMAS DE CONSERVAÇÃO AUDITIVA DIANTE DA COEXPOSIÇÃO A RUÍDO E OTOTÓXICOS

Marcos Jorge Gama Nunes⁽¹⁾ (mj_nunes@id.uff.br), Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas⁽¹⁾ (osvaldoquelhas@id.uff.br), Maria de Lurdes Costa Domingos⁽¹⁾ (mlcdomingos53@gmail.com), Igor Macedo de Lima⁽¹⁾ (eng.igorlima@gmail.com), Dayanni de Brito da Silva⁽¹⁾ (dayannibrito@gmail.com)

⁽¹⁾ Universidade Federal Fluminense (UFF); Departamento de Engenharia

RESUMO

A perda auditiva ocupacional permanece entre os agravos mais prevalentes nos ambientes industriais, frequentemente associada à coexposição a ruído e substâncias ototóxicas. Este estudo analisou a efetividade dos Programas de Conservação Auditiva (PCA) diante dessa realidade, utilizando o método ProKnow-C para a seleção e avaliação de artigos nas bases Scopus e Web of Science. Os resultados indicam que embora o PCA seja consolidado como uma ferramenta legal de prevenção sua aplicação ainda se restringe em grande parte, ao controle do ruído, desconsiderando os efeitos sinérgicos de solventes, metais, vibração, calor e gases asfixiantes. Foram identificadas lacunas normativas e metodológicas, como a ausência de limites integrados, de indicadores preventivos capazes de antecipar riscos antes do adoecimento e de ferramentas de gestão à vista. Conclui-se que os PCA necessitam de revisão estrutural com a incorporação de abordagens sistêmicas, vigilância ampliada, participação ativa dos trabalhadores e personalização por seguimento, de modo a fortalecer sua efetividade e alinhá-los às evidências científicas contemporâneas.

PALAVRAS-CHAVE: PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO AUDITIVA, RUÍDO, OTOTÓXICOS, PERDA AUDITIVA.

1. INTRODUÇÃO

A perda auditiva continua sendo uma das doenças relacionadas ao trabalho mais estudadas no mundo em ambientes industriais, afetando não apenas a capacidade laborativa, mas também aspectos psicológicos e sociais dos trabalhadores (ZHOU *et al.*, 2024). Diversos fatores podem desencadeá-la ou potencializá-la, tais como o ruído, a vibração, agentes ototóxicos e substâncias asfixiantes (Morata *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2023).

O Programa de Conservação Auditiva (PCA), concebido como ferramenta legal para o enfrentamento desse agravo, historicamente têm adotado uma visão reducionista centrada no controle do ruído, compreendido como o principal fator etiológico da perda auditiva. Essa concepção tradicional tem se mostrado insuficiente diante de evidências científicas que apontam para um cenário multifatorial (Ren *et al.*, 2023). Estudos recentes demonstram que a perda auditiva ocupacional resulta não apenas da ação isolada do ruído, mas da interação complexa entre agentes físicos e químicos, presentes de maneira combinada e contínua nos ambientes de trabalho (Beaver; Schneider, 2023; Schaal *et al.*, 2017; Cavallari *et al.*, 2021; ZHOU *et al.*, 2024).

Entre os agentes que atuam de forma combinada com o ruído, destacam-se os solventes ototóxicos, frequentemente identificados em processos industriais relacionados à pintura, montagens, adesivos e plásticos (Morata *et al.*, 2013). Esses compostos possuem capacidade de atravessar a barreira hematoencefálica, afetando regiões centrais do sistema nervoso auditivo, comprometendo as células ciliadas externas e prejudicando a integridade sináptica (Sliwinska-Kowalska *et al.*, 2004; Nakhooda; Sartorius; Bi, 2019).

A literatura científica oferece evidências consistentes da ação sinérgica entre ruído e agentes químicos, um risco 2,4 vezes maior de perda auditiva permanente em trabalhadores submetidos a ruído, solventes e metais pesados, mesmo em ambientes com níveis médios de ruído (Schaal *et al.*, 2017).

Choi e Kim (2014) relataram um aumento de 1,64 vezes na incidência de perda auditiva em trabalhadores expostos concomitantemente a metais pesados e ruído e a pesquisa realizada por Lacerda *et al.* (2010) com operadores de empilhadeira evidenciou que os expostos simultaneamente ao ruído e monóxido de carbono (CO) apresentaram prevalência significativamente maior de perda auditiva, com exposição abaixo dos limites legais.

Timidamente, sem especificar quais agentes ambientais, a Norma Regulamentadora brasileira nº 7 reforça a necessidade de ações preventivas específicas dentro do Programa de Conservação Auditiva, com especial atenção a trabalhadores expostos a ruídos acima de 80 dB(A), e particularmente em casos de exposição combinada com substâncias ototóxicas e ou vibração (Cunha *et al.*, 2018; Brasil, 2022b).

Diante desse cenário, torna-se indispensável revisar criticamente as evidências científicas sobre a efetividade do Programa de Conservação Auditiva frente à exposição simultânea a múltiplos riscos. Esta revisão tem como objetivo sintetizar os principais achados da literatura nacional e internacional sobre o tema, explorando diretrizes emergentes que apontam para a necessidade de reavaliação do programa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ruído contínuo e intermitente

O ruído é o principal fator de risco para a perda auditiva induzida por ruído, caracterizada por ser irreversível e progressiva, resultando em danos às células ciliadas da cóclea (Beaver; Schneider, 2023; ZHOU *et al.*, 2024). Estudos recentes indicam que exposições ao ruído, mesmo em níveis considerados moderados, podem provocar sinaptopatia auditiva oculta, com prejuízos à compreensão da fala antes da elevação dos limiares audiométricos (Kujawa; Liberman, 2015).

A exposição contínua a níveis superiores a 85 dB(A) pode causar lesões auditivas permanentes, dependendo da intensidade e do tempo de exposição (Themann; Masterson, 2019). O Ministério do Trabalho e Emprego [MTE] (Brasil, 2022a), alerta que a exposição diária a níveis de ruído acima de 100 dB(A) pode causar danos auditivos severos em poucos minutos. Segundo o órgão, a exposição nessa intensidade é considerada segura por apenas 60 minutos por dia.

No Brasil, o limite de tolerância é definido como o nível máximo de exposição ocupacional a um agente de risco que um trabalhador pode suportar durante a jornada de trabalho sem prejuízos à saúde e estabelece que para jornadas de 8 horas diárias, o nível de exposição ao ruído não deve ultrapassar uma dose ou 85 dB(A) (Brasil, 2022a).

A prevenção dos efeitos auditivos ocupacionais deve ser iniciada quando a exposição superar 50% do limite de tolerância, valor conhecido como nível de ação (Cunha *et al.*, 2018). Conforme estabelece a Norma Regulamentadora 9 (Brasil, 2022c), a partir desse nível devem ser adotadas medidas preventivas, incluindo ações de controle médico, independentemente do uso de protetores

auditivos. De acordo com Nakhooda *et al.*(2019) e Lippe (2025), a prevenção da perda auditiva ocupacional exige capacidade de prevenir déficits auditivos a longo prazo e garantir a efetividade das estratégias adotadas no ambiente ocupacional. A adoção de um fator de dobra 3 dB ($q=3$), em vez de 5 dB ($q=5$) da Norma Regulamentadora 15, é recomendada por diversas instituições especializadas devido aos benefícios significativos na proteção da saúde auditiva dos trabalhadores (NIOSH, 1998).

2.2 Programa de Conservação Auditiva

O PCA é um conjunto estruturado de medidas preventivas adotadas pelas organizações com o objetivo de preservar a saúde auditiva dos trabalhadores expostos a partir de certos níveis de ruído, substâncias ototóxicas e outros agentes físicos. De acordo com Themann e Masterson (2019), o programa deve ser implementado de forma integrada e contínua, incluindo ações técnicas, administrativas, médicas e educativas. Trata-se de um instrumento estratégico para a promoção da saúde no trabalho, sendo parte essencial do gerenciamento de riscos ocupacionais (Morata,2023).

O reconhecimento dos ototóxicos em ambientes ocupacionais constitui uma responsabilidade técnica essencial do programa, devendo estar alinhado à avaliação dos processos de trabalho e aos fatores de risco presentes na organização (Morata *et al.*, 2013; Beaver; Schneider, 2023; Schaal *et al.*, 2017; Cavallari *et al.*, 2021). Segundo Cunha *et al.* (2018), é dever do responsável pelo programa identificar os agentes ototóxicos presentes no ambiente laboral e avaliar a exposição dos trabalhadores, mesmo que de forma qualitativa, considerando sua potencial associação ao ruído na gênese de perdas auditivas.

Organizações como a Fundacentro (2021), Safe Work Australia (2018) e a ACGIH (2024) alertam que substâncias, como solventes, metais pesados, asfixiantes ototóxicos, calor e vibração podem atuar sinergicamente com o ruído, comprometendo as estruturas da audição mesmo em cenários aparentemente controlados, sendo imprescindível a inclusão nos programas preventivos.

O Quadro 1 abaixo, apresenta as principais classes e substâncias ototóxicas reconhecidas na literatura técnica e científica.

Quadro 1 – Principais substâncias ototóxicas

Classe	Substância	Fonte
Solvente	Tolueno, Etilbenzeno, n-Propilbenzeno, Estireno, Metilestireno, Tricloroetileno, Xileno, n-Hexano, Dissulfeto de carbono, Misturas (White Spirit), Butanol	FUNDACENTRO(2021); Safe Work Australia(2018) ; ACGIH (2024)

Classe	Substância	Fonte
Metal	Chumbo, Mercúrio, Estanho orgânico, Arsênio, Cádmiio, Germânio (dióxido) Manganês	FUNDACENTRO(2021); Safe Work Australia(2018)
Medicamento	Estreptomicina, Gentamicina Amicacina, Furosemida, Ácido etacrínico, Salicilatos, Cisplatina, Carboplatina, Bleomicina	FUNDACENTRO(2021)
Outros	Organofosforados, Paraquat Acrilonitrila, Cianeto de hidrogênio, Monóxido de carbono	FUNDACENTRO(2021); Safe Work Australia(2018); ACGIH (2024)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A importância do PCA é reconhecida por organizações nacionais e internacionais que estabelecem critérios rigorosos para exposição ocupacional ao ruído (NIOSH, 1998; AIHA, 2015; ACGIH, 2024; Brasil, 2022a). No Brasil, o programa está articulado com o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) que estabelece avaliação ambiental, treinamentos, exames e controle sobre os Equipamentos de Proteção Individual.

A coordenação do programa deve ser feita por um profissional capacitado, podendo ser fonoaudiólogo, engenheiro de segurança ou médico do trabalho (Cunha *et al.*, 2018). A atuação multiprofissional é indispensável para garantir que os resultados sejam consistentes e embasados cientificamente.

A construção de um PCA requer o cumprimento de etapas metodológicas bem definidas: Diagnóstico do ambiente; avaliação quantitativa da exposição; vigilância audiológica; gestão dos equipamentos de proteção auditiva; capacitação dos trabalhadores; manutenção de registros e avaliação periódica (Fundacentro, 2021).

A eficácia do programa está diretamente associada à sua capacidade de adaptação à realidade do ambiente de trabalho e à integração de tecnologias como bancos de dados, softwares de vigilância e indicadores de desempenho. A participação ativa da liderança e dos trabalhadores e a educação permanente são fatores determinantes para o sucesso das ações preventivas (Morata, 2023; Themann e Masterson, 2019 e Beaver e Schneider, 2023; ZHOU *et al.*, 2024).

Experiências documentadas em ambientes industriais e militares, como a apresentada por Morata *et al.* (2024), evidenciam que intervenções bem conduzidas podem reduzir significativamente a prevalência da perda auditiva. Tais resultados reforçam a relevância da continuidade das ações do envolvimento institucional e da articulação entre setores como saúde ocupacional, engenharia de segurança e gestão de pessoas.

Uma lacuna importante nas abordagens de vigilância ocupacional é a ausência de limites específicos para a exposição cutânea a substâncias ototóxicas, apesar do reconhecimento de seu papel no desenvolvimento de perdas auditivas (Morata, 2023). Essa dimensão já é parcialmente incorporada em sistemas internacionais de notação de risco que indicam o potencial de absorção dérmica com símbolos específicos (ACGIH, 2024).

Segundo a pesquisadora, a absorção pela pele constitui uma via significativa de entrada de agentes ototóxicos no organismo, embora ainda seja pouco contemplada nos programas de conservação auditiva. A exposição pode atingir níveis sistêmicos suficientes para comprometer a integridade das estruturas auditivas, sobretudo quando associados ao ruído.

No Quadro 2, apresentam-se algumas substâncias que a proteção dérmica deve ser compreendida como uma medida essencial de prevenção, visando à redução do risco de perda auditiva induzida por agentes químicos.

Quadro 2 – Principais substâncias ototóxicas com absorção cutânea

Tipo	Nome da Substância	Risco de Absorção Cutânea
Solventes	Butanol	✓ Sim
Solventes	Dissulfeto de carbono (Carbon disulphide)*	✓ Sim
Solventes	Misturas de solventes e combustíveis (White Spirit)	✓ Sim
Solventes	Tolueno	✓ Sim
Solventes	Tricloroetileno	✓ Sim
Metais	Mercúrio	✓ Sim
Metais	Estanho orgânico (Organic tin)*	✓ Sim
Outros	Acrilonitrila (Acrylonitrile)*	✓ Sim
Outros	Cianeto de hidrogênio (Hydrogen cyanide)	✓ Sim
Outros	Organofosforados	✓ Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Diversos países com normativas consolidadas de saúde e segurança no trabalho já estabeleceram guias e ou regulamentações específicas que exigem a implementação de PCA (Quadro 3). Apesar desses avanços, ainda se observa um fato relevante: inexistem diretrizes claras que abordam a como classificar os trabalhadores a exposição combinada, ou que definam limites integrados considerando os efeitos sinérgicos entre ruído e substâncias ototóxicas (Ren *et al*, 2023).

Quadro 3 – Programas de Conservação Auditiva em diferentes países

País	Direcionador	Norma Programa	Ação	Exigências Comuns	Lacunas
Brasil	Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)	NR-07 – Anexo II - PCMSO	80 dB(A)	PCA obrigatório; audiometria periódica; controle de riscos.	A norma 7 do MTE e o Guia da Fundacentro trazem a preocupação, mas não tratam de como chegar no trabalhador mais exposto (Cunha et al., 2018).
Estados Unidos	NIOSH / OSHA	29 CFR 1910.95 / NIOSH Guidelines	85 dB(A)	PCA obrigatório; audiometria anual; controle técnico; EPI.	O padrão OSHA 29 CFR 1910.95 foca apenas em ruído e não define critérios operacionais para identificar trabalhadores mais expostos à coexposição com ototóxicos. Embora OSHA/NIOSH (2018) reconheçam a ototoxicidade e apresentem recomendações, trata-se de orientação não normativa. Assim, inexistente protocolo estruturado de priorização de trabalhadores vulneráveis, o que limita a efetividade preventiva (Morata et al., 2025)
União Europeia	EU-OSHA	Diretiva 2003/10/CE	80 dB(A)	Medidas preventivas, exames, informação, EPI, e treinamento.	Nas Normas Europeias, as exigências e diretrizes regulatórias para avaliação de misturas, restringe-se majoritariamente a misturas químicas, reconhecendo explicitamente que a regulamentação de misturas químico-físico-biológicas, incluindo agentes como ruído e substâncias ototóxicas, permanece um desafio não abordado nas rotinas legais atuais (KIENZLER <i>et al.</i> , 2014, p. 65-66).

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Apesar das diferenças entre os países, os programas compartilham fundamentos comuns, como a exigência de audiometrias periódicas, a disponibilização de Equipamentos de Proteção Individual, a medição dos agressores nos trabalhadores (Morata, 2023).

Entre os elementos recorrentes nos programas, destaca-se a estratégia de medições por grupos de expostos. Essa abordagem é amplamente recomendada por entidades como a AIHA (2015), e frequentemente observada em laudos técnicos. A correta caracterização desses grupos similares de exposição (GSE) contribui significativamente para a validade das conclusões emitidas e confere maior confiabilidade às decisões que deles decorrem. Ressalta-se, contudo, que a formação e

validação desses grupos demanda, no mínimo, um conjunto de amostras representativas que assegure o respaldo estatístico necessário (Mulhausen; Damiano, 2015).

A adoção do conceito proporciona diversos ganhos. Entre eles, a racionalização dos recursos destinados à higiene ocupacional, com a redução do número de amostras necessárias para avaliação do risco. Isso ocorre porque, uma vez validado, o GSE possibilita que dados coletados de alguns trabalhadores sejam considerados representativos para todos os indivíduos do grupo (Mulhausen; Damiano, 2015).

A caracterização estatística tem por objetivo confirmar a similaridade das exposições dentro do grupo, utilizando pressupostos da distribuição log-normal dos dados ambientais. A AIHA recomenda o uso da média geométrica (MG), desvio padrão geométrico (DPG) e percentil 95 (P95) como principais indicadores. O DPG é utilizado para avaliar a variabilidade interna do grupo. Um DPG de 1,22 indica baixa variabilidade. Grupos com DPG elevado podem não ser verdadeiramente similares, e, portanto, devem ser reavaliados (Rappaport; Lyles; Kupper, 1995; Mulhausen; Damiano, 2015).

A fragilidade na entrega dos dados para medicina do trabalho segue sendo um problema crítico nos programas de conservação auditiva. A utilização de equipamentos não calibrados, amostragem pontual e falta de séries históricas compromete a avaliação padronizada da exposição, reduzindo a confiabilidade e dificultando a identificação dos trabalhadores realmente em risco. A baixa qualidade dos dados leva a decisões clínicas baseadas em informações insuficientes (Ren *et al.*, 2023; ZHOU *et al.*, 2024).

Outro problema analisado por Ren *et al.*(2023), são os efeitos da exposição ao ruído e a solventes ototóxicos em concentrações abaixo dos limites de exposição estabelecidos. Sliwinska-Kowalska *et al.*(2001); Barba *et al.*(2005) ; Sliwinska-Kowalska *et al.*(2004) ; Kim *et al.*(2005), evidenciaram que concentrações de substâncias ototóxicas, Tolueno, Xileno, Etilbenzeno e Estireno entre 1-10% do Limite de Exposição Ocupacional da ACGIH (2024), são capazes de acionar os mecanismos de perda auditiva, o que torna-se imprescindível na caracterização integrada das exposições.

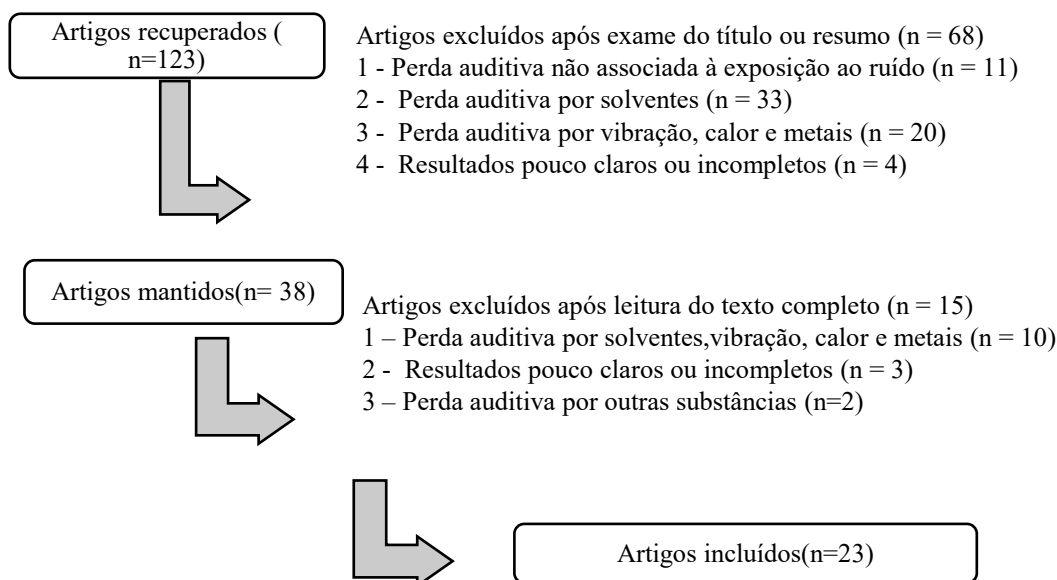
O Safe Work Australia, embora não constitua um órgão regulador, recomenda que na presença de agentes químicos ototóxicos, o limite de exposição ao ruído seja reduzido para 80 dB(A), sob a perspectiva dos solventes ototóxicos, a própria ACGIH (2024) sugere a utilização de 20% do TLV como referência para fins de monitoramento auditivo (Morata, 2023). Tais abordagens representam

um avanço importante no fortalecimento das políticas de conservação auditiva e no aprimoramento das medidas de controle de risco.

3. METODOLOGIA

Para a construção da base teórica específica sobre a coexposição de agentes ambientais no Programa de Conservação Auditiva (PCA), foi adotado o método ProKnow-C como instrumento de intervenção metodológica. O processo seguiu as etapas propostas por Ensslin *et al.* (2010), envolvendo a definição do tema, seleção de palavras-chave, busca em bases de dados indexadas (Web of Science e Scopus), aplicação de filtros bibliométricos e avaliação do alinhamento dos artigos com os objetivos da pesquisa no período de 2010 a 2025. Elas foram acessadas por meio do Portal de Periódicos da CAPES, senha de acesso UFF. A estratégia de busca foi construída com base em descritores-chave em língua inglesa, considerando o predomínio de publicações internacionais sobre o tema. Essa abordagem permitiu a seleção criteriosa de estudos com elevado rigor científico, relevância temática e impacto reconhecido. Como resultado, foram identificadas publicações-chave que demonstram os efeitos sinérgicos da exposição combinada a agentes ototóxicos, mesmo quando presentes em concentrações inferiores aos limites legais estabelecidos de forma isolada. Essas evidências também revelam lacunas na eficácia dos programas de conservação auditiva e os desafios ainda existentes em sua implementação. A construção do portfólio bibliográfico garantiu consistência metodológica, rastreabilidade e solidez teórica, fortalecendo a análise do risco auditivo decorrente da interação entre dois ou mais agentes ambientais. Como limitação do método, admite-se a possibilidade de que estudos potencialmente relevantes não tenham sido identificados devido às restrições impostas pelas bases consultadas, pelos filtros aplicados e pelos critérios de inclusão e exclusão adotados.

Figura 1 – Fluxograma de seleção de artigos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Ao final da triagem metodológica, após a aplicação progressiva dos critérios de exclusão que eliminaram trabalhos com resultados pouco claros ou incompletos, perdas auditivas não associadas à exposição ao ruído, pesquisas baseadas em experimentos com animais e investigações centradas apenas no diagnóstico clínico foi consolidado um portfólio temático composto por 23 artigos alinhados à construção, normatização e aos avanços científicos do Programa de Conservação Auditiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão da literatura revelou que a efetividade dos Programas de Conservação Auditiva (PCA) permanece limitada frente à complexidade das exposições ocupacionais atuais. A maioria dos estudos analisados aponta que a perda auditiva em ambientes industriais decorre da interação entre ruído e agentes ototóxicos, mesmo quando os níveis individuais permanecem dentro dos limites legais.

Pesquisas realizadas por Schaal *et al.* (2017), Choi e Kim (2014) e Lacerda *et al.* (2010) evidenciam maior prevalência de perda auditiva em trabalhadores coexpostos a ruído e substâncias químicas, como solventes ototóxicos, metais e monóxido de carbono (CO). Tais resultados indicam

que a abordagem normativa centrada no ruído mostra-se insuficiente para prevenir perdas auditivas ocupacionais na indústria.

Apesar das evidências de efeitos sinérgicos entre ruído e substâncias ototóxicas, a ausência de diretrizes nacionais específicas para coexposição dificulta a aplicação prática no Brasil. A integração dessas evidências aos programas preventivos exige a adoção de limites mais conservadores, avaliação ambiental integrada e capacitação das equipes de saúde e segurança para o reconhecimento clínico das perdas auditivas de origem multifatorial.

O PCA caminha para ser personalizado por seguimento, construído em conjunto com a liderança e os trabalhadores, priorizando indicadores preventivos de processo e de meio, em vez de depender exclusivamente de desfechos clínicos. A ênfase em vigilância ambiental, uso adequado de EPI, capacitação contínua e engajamento da gestão fortalecem sua efetividade. Essa abordagem possibilita atuar de forma proativa antes do adoecimento, reduzindo custos humanos e institucionais. A ACGIH e o *Safe Work* recomendam a adoção de limites mais conservadores para o ruído na presença de ototóxicos, reforçando a necessidade de integração entre riscos físicos e químicos nos PCA.

5. CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou que os Programas de Conservação Auditiva (PCA), ao manterem foco exclusivo no ruído, mostram-se insuficientes diante dos riscos reais enfrentados por trabalhadores expostos a múltiplos agentes. A literatura indica que a coexposição ao ruído e a substâncias ototóxicas está associada a um risco aumentado de perda auditiva, mesmo quando os níveis individuais de exposição permanecem abaixo dos limites legalmente estabelecidos.

A ausência de regulamentação específica para exposições combinadas e a defasagem dos parâmetros normativos brasileiros constituem entraves à eficácia preventiva. A adoção de estratégias modernas, como a personalização do PCA, treinamentos individualizados, *fit test* auditivo, mapeamento das frequências predominantes do ambiente de trabalho, auditorias regulares e uso de indicadores preventivos de processo, é essencial para monitorar o desempenho e a efetividade do programa.

Diante desse cenário, reforça-se a necessidade de revisão das diretrizes técnicas vigentes, com a incorporação de limites integrados, reconhecimento dos efeitos sinérgicos e fortalecimento das práticas de vigilância ocupacional. Os achados deste estudo também oferecem subsídios práticos para

a tomada de decisão: nas empresas, podem orientar a capacitação específica das equipes de segurança e saúde, a integração das ações do PCA com o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e a implementação de ferramentas que priorizem trabalhadores mais vulneráveis; para os órgãos reguladores, reforçam a urgência de revisão das normas vigentes, incorporando critérios de exposição combinada e indicadores de desempenho preventivo que favoreçam a fiscalização e a vigilância em saúde ocupacional.

A proteção auditiva efetiva requer uma abordagem sistêmica, multidisciplinar e sustentada nas melhores evidências científicas disponíveis, de modo a reduzir lacunas regulatórias e aprimorar a prevenção em contextos de coexposição ocupacional.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). **Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices**. ACGIH Publications, 2024.

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION. (AIHA). **A strategy for assessing and managing occupational exposures**. 4th ed.. AIHA Press, 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Norma Regulamentadora n.º 15: Atividades e operações insalubres**. Brasília, DF, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15>. Acesso em: 15 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Norma Regulamentadora n.º 7: Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO)**. Brasília, DF, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-07>. Acesso em: 15.09.2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Norma Regulamentadora n.º 09: Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos**. Portaria MTP n.º 426, de 7 de outubro de 2021. Brasília, DF, 2022c. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-09>. Acesso em: 15.09.2025.

BEAVER, C.; SCHNEIDER, J. Evaluating the potential impact of ototoxicant exposure on worker health. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 20, n. 11, p. 520–535, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/15459624.2023.2240874>

CAVALLARI, J. M.; SULEIMAN, A. O.; GARZA, J. L.; NAMAZI, S.; DUGAN, A. G.; HENNING, R. A.; PUNNETT, L. Evaluation of the HearWell Pilot Program: A Participatory Total Worker Health® approach to hearing conservation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Basel, v. 18, n. 18, Art. 9529, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18189529>



CAMPO, P.; MORATA, T. C.; HONG, O. Chemical exposure and hearing loss. *Disease-a-Month*, v. 59, n. 4, p. 119–138, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2013.01.003>

CHOI, Y.-H. ; KIM, K. Noise-induced hearing loss in Korean workers: Co-exposure to organic solvents and heavy metals in nationwide industries. *PLoS ONE*, v. 9, n. 5, e97538, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097538>

CUNHA, I. de Â. da; SHIBUYA, E. K.; FERNANDES, R. P.; BERNARDI, A. P. A.; GERGES, S. N. Y.; GERGES, R. N. C. **Guia de diretrizes e parâmetros mínimos para a elaboração e a gestão do Programa de Conservação Auditiva (PCA)**. São Paulo: Fundacentro, 2018.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCIA, J. E. ProKnow-C, Knowledge Development Process – Constructivist: Methodology for structured literature reviews. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 1, p. 125–152, 2010.

FERREIRA, Débora Gonçalves; OLIVEIRA, Gracieli Lima de; MEIRA, André Lage; LACERDA, Adriana. Efeitos auditivos da exposição combinada: interação entre monóxido de carbono, ruído e tabagismo. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 405–411, dez. 2012.

FUNDACENTRO. **Guia técnico sobre estratégia de amostragem: avaliação da exposição ocupacional a agentes químicos**. Coordenação: Silvana do Monte Campos. São Paulo: Ministério da Economia; Secretaria do Trabalho, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/avaliar-exposicao-ocupacional-a-agentes-quimicos>. Acesso em: 04 jun. 2025.

KIENZLER, A.; BERGGREN, E.; BESSEMS, J.; BOPP, S.; VAN DER LINDEN, S.; WORTH, A. Assessment of mixtures: review of regulatory requirements and guidance. **Luxembourg: Publications Office of the European Union**, 2014. 123 p. (EUR – Scientific and Technical Research Series; EUR 26675 EN). Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC90601>. Acesso em: 15 set. 2025.

KIM, J.; KIM, S.; KIM, J. Effects of combined exposure to noise and organic solvents on hearing function. *Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, v. 17, n. 4, p. 317–324, 2005.

KUJAWA, S. G.; LIBERMAN, M. C. Synaptopathy in the noise-exposed and aging cochlea: Primary neural degeneration in acquired sensorineural hearing loss. *Hearing Research*, v. 330, p. 191–199, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2015.02.009>

LACERDA, Adriana; GAROFCZKY GAROFANI, Vanessa; RIBEIRO, Leila; MENDES MARQUES, Jair. Efeitos auditivos em operadores de empilhadeira. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 514–519, dez. 2010. DOI: 10.1590/S1516-80342010000400007

LI, Chiao-Zhu; LI, Chiao-Ching; LIN, Meng-Chi; TSENG, Wei-Shih. Sudden hearing loss following acute carbon monoxide poisoning: A case report and literature review. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*, v. 30, supl. 1, p. 9S–13S, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/1024907920969306>



LIPPE, M. M. F. Prevenção da perda auditiva induzida por ruído (PAIR): Abordagens efetivas na medicina ocupacional. **Journal of Medical and Biosciences Research**, v. 2, n. 1, p. 255–264, 2025. <https://doi.org/10.70164/jmbr.v2i1.457>

MORATA, T. C. Recent developments related to ototoxicity from occupational and environmental exposures. 2023. **Presented at the International Symposium on Environmental and Occupational Health**, Chinese Preventive Medicine Association.

MORATA, Thais C.; GONG, Wei; TIKKA, Cindy; SAMELLI, Alessandra G.; VERBEEK, Jos H. Hearing protection field attenuation estimation systems and associated training for reducing workers' exposure to noise. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 5, Art. CD015066, 2024.

MORATA, T. C.; CARLSON, K.; FUENTE, A.; POLING, G. L.; GARINIS, A.; HULLARD, T.; LEE, J.; POUYATOS, B.; SLIWINSKA-KOWALSKA, M.; DREISBACH, L.; STUEHM, H.; KONRAD-MARTIN, D. Approaches to managing ototoxicity in the workplace. **International Journal of Audiology**, [S.l.], v. 1, p. 1-10, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14992027.2025.2508728>. Acesso em: 15 set. 2025.

MULHAUSEN, J.; DAMIANO, J. **A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures**. 4. ed. Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association – AIHA, 2015.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure** (DHHS (NIOSH) Publication No. 98-126). U.S. Department of Health and Human Services, 1998. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/pdfs/98-126.pdf>. Acesso em : 20 mar. 2025.

NAKHOODA, R.; SARTORIUS, B.; BI, P. The effects of combined exposure of solvents and noise on auditory function: A systematic review and meta-analysis. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, v. 25, n. 1, p. 1–10, 2019. <https://doi.org/10.1080/10773525.2018.1564374>

RAPPAPORT, S. M.; LYLES, R. H.; KUPPER, L. L. An exposure assessment strategy accounting for within- and between-worker sources of variability. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 39, n. 4, p. 469–495, 1995.

REN, J.; XIE, H.; HU, Y.; HONG, Y.; ZOU, H.; GAO, X. Occupational hearing loss associated with the combined exposure of solvents and noise: a systematic review and meta-analysis. **Safety**, v. 9, n. 4, p. 71, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/safety9040071>. Acesso em: 8 out. 2025.

SAFE WORK AUSTRALIA. **Managing noise and preventing hearing loss at work: Code of practice**. 2018. Disponível em : <https://www.safeworkaustralia.gov.au/system/files/documents/1810/model-cop-managing-noise-and-preventing-hearing-loss-at-work.pdf>. Acesso em : 20 mar. 2025

SCHAAL, N. A.; O'BRIEN, T. E.; DEITCHMAN, S.; LAWSON, B. D. Effects of combined exposure to metals, solvents, and noise on permanent threshold shifts. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 60, n. 12, p. 1093–1104, 2017. <https://doi.org/10.1002/ajim.22785>



SHI, Z.; BAO, J.; ZHANG, W.; LI, Y. Occupational hearing loss associated with non-Gaussian noise: A systematic review and meta-analysis. **Ear and Hearing**, v. 42, n. 6, p. 1472–1484, 2021. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001052>

SLIWIŃSKA-KOWALSKA, M. *et al.* Hearing loss among workers exposed to moderate concentrations of solvents. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, Helsinki, v. 27, n. 5, p. 335–342, out. 2001. DOI: 10.5271/sjweh.622. PMID: 11712614.

SLIWINSKA-KOWALSKA, M.; ZAMYSLOWSKA-SZMYTKE, E.; SZYMCZAK, W.; KOTYLO, P.; FISZER, M.; DUDAREWICZ, A. Hearing loss among workers exposed to moderate concentrations of solvents. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, v. 30, n. 4, p. 320–327, 2004. <https://doi.org/10.5271/sjweh.804>

THEMANN, C. L.; MASTERSON, E. A. Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 146, n. 5, p. 3879–3905, 2019. <https://doi.org/10.1121/1.5134465>

ZHOU, Bin; ZHAO, Cheng; YU, Yun; LI, Jing; YANG, Tianyu; et al. Occupational epidemiological characteristics of noise-induced hearing loss and the impact of combined exposure to noise and dust on workers' hearing—a retrospective study. **Frontiers in Public Health**, v. 12, p. 1488065, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1488065>