

Inovação e Transformação no Ecossistema de Saúde Auditiva: Inteligência Artificial e Interoperabilidade

**Ana Paula Lopes de Abreu Ferreira, Emir Redaelli, Luis Felipe Maldaner,
Sandro José Rigo**

Escola Politécnica - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos)

*anaabreu@edu.unisinos.br, ejredaelli@unisinos.br,
fmaldaner@unisinos.br, rigo@unisinos.br*

Abstract. With the advancement of artificial intelligence and the increasing digitalization of health systems, interoperability emerges as a critical factor for integrating different sources of information and improving the effectiveness of audiological services. However, challenges such as data fragmentation, technological barriers, and system heterogeneity still limit the adoption of solutions using AI and standardized databases in the sector. This study presents gaps in the area and proposes the development of a component integrated into a digital hearing health ecosystem, with the aim of automating processes, enabling the interoperability of audiological data, and improving data-based decision-making.

Keywords: Generative Artificial Intelligence; Retrieval-Augmented Generation; Interoperability; Virtual Assistant; Data-Driven Decision-Making; Hearing Centres.

Resumo. Com o avanço da inteligência artificial e a crescente digitalização dos sistemas de saúde, a interoperabilidade emerge como um fator crítico para integrar diferentes fontes de informação e melhorar a eficácia dos serviços audiológicos. No entanto, desafios como fragmentação dos dados, barreiras tecnológicas e heterogeneidade dos sistemas ainda limitam a adoção de soluções com uso de AI e bases padronizadas no setor. Este estudo apresenta lacunas na área e propõem o desenvolvimento de um componente integrado a um ecossistema digital de saúde auditiva, com o objetivo de automatizar processos, viabilizar a interoperabilidade dos dados audiológicos e aprimorar a tomada de decisão baseada em dados.

Palavras-chave: Inteligência Artificial Generativa; Geração aumentada por recuperação; Interoperabilidade; Assistente Virtual; Tomada de Decisão Baseada em Dados; Centros Auditivos.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a prevalência de deficiência auditiva é significativa e varia conforme a faixa etária. Em 2019, cerca de 31 mil crianças entre dois e nove anos foram diagnosticadas com essa condição. O número cresce consideravelmente com o avanço da idade, alcançando cerca de 1,5 milhão de pessoas com 60 anos ou mais, o que representa 4,3% da população nessa faixa etária (IBGE, 2019). Esses dados ressaltam a importância de sistemas interoperáveis, o uso compartilhado de dados para melhorar o acesso, a precisão e a eficiência dos serviços de saúde auditiva, assim como, a importância dos centros

auditivos no Brasil, evidenciando uma demanda crescente por produtos e serviços que promovam o bem-estar e a qualidade de vida de pessoas com perda auditiva.

A transformação digital na saúde auditiva abre novas possibilidades para otimizar gestão, diagnóstico e tratamento por meio da Inteligência Artificial Generativa (*Generative AI*) e da interoperabilidade de dados. Este estudo explora oportunidades e propõe o desenvolvimento de um componente integrado para aprimorar a tomada de decisão baseada em dados e a eficiência operacional nos centros auditivos brasileiros. A proposta inclui a adoção de tecnologias interoperáveis, permitindo compartilhamento estruturado e análise integrada de dados audiológicos, o que pode tornar o fluxo de informações mais transparente e eficaz. Estudos anteriores, como os de Wasmann *et al.* (2021) e Lesica e Zeng (2021), já evidenciam que a integração dessas tecnologias contribui para melhor precisão diagnóstica e maior eficiência dos serviços audiológicos.

Esse estudo combina Geração Aumentada por Recuperação (*Retrieval-Augmented Generation, RAG*) com IA Generativa, estabelecendo um novo conceito de audiologia computacional, no qual seguiremos a fundamentação de Lewis et al. (2020), para RAG que trata de técnicas de recuperação de informações com modelos generativos para aprimorar a qualidade das respostas geradas, reduzindo dependências de memórias paramétricas estáticas e ampliando a precisão pelo acesso a informações externas relevantes. Também podemos considerar que o RAG é operacionalizado por meio de um processo de ‘recuperar’ e ‘depois gerar’, em que as informações relevantes são primeiro recuperadas de uma base de conhecimento e depois usadas para gerar respostas, unindo bases distintas que contêm textos, imagens ou outras fontes de dados.

Um dos principais diferenciais é o desenvolvimento de um Assistente Virtual que, ao integrar dados audiológicos de forma padronizada e interoperável, poderá agilizar diagnósticos, aprimorar tratamentos e facilitar a colaboração multidisciplinar. O impacto esperado dessa solução se estende além do nível operacional, impulsionando a integração do ecossistema de saúde auditiva e promovendo melhoria significativa no atendimento clínico e na qualidade de vida dos pacientes.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção serão descritos trabalhos relacionados com este contexto, compreendendo tanto relatórios técnicos de entidades setoriais ligados com a saúde, como artigos científicos.

Os estudos de Shook e Daugherty (2024) exploram como a IA generativa está remodelando a força de trabalho e os processos organizacionais. O relatório principal apresenta o framework Gen AI GPS, que fomenta mecanismos aceleradores práticos para adoção da IA. O relatório do Institute for Business Value (2024) expande essa discussão ao abordar os desafios enfrentados por CEOs na adoção da IA generativa, com foco na governança e no equilíbrio entre riscos e inovação. De forma complementar, o estudo do MIT Technology Review Insights (2023) explora o papel dos líderes de tecnologia na democratização da IA evidenciando como a integração de modelos generativos pode transformar fluxos de trabalho e otimizar operações.

No campo das aplicações práticas, o guia executivo do Google Cloud (2023) apresenta um framework de 10 etapas para implementar IA generativa, com foco em setores estratégicos e indicadores de desempenho. Esse trabalho é complementado pelo e-book da Databricks (2023), que aprofunda as possibilidades de aplicação da IA em

setores como saúde e varejo, destacando a interoperabilidade de dados e a governança como fatores críticos. A transformação estratégica promovida pela IA é explorada em profundidade por Iansiti e Lakhani (2023) que abordam como empresas digitais podem remover barreiras tradicionais de escala e aprendizado para alcançar maior competitividade. Essa perspectiva é complementada pelo Artificial Intelligence Index Report 2023 (Stanford University, 2023), que fornece uma análise abrangente do impacto da IA em setores como pesquisa, educação e economia, destacando a importância de uma governança ética e de frameworks regulatórios sólidos.

A interseção entre IA generativa e saúde auditiva tem sido cada vez mais explorada na literatura acadêmica. O trabalho de Wasmann *et al.* (2021) introduz o conceito de Audiologia Computacional, destacando o impacto da transformação digital na área da saúde auditiva. O estudo enfatiza como a IA e o aprendizado de máquina podem melhorar a precisão diagnóstica, ampliar o acesso ao tratamento e reduzir o impacto socioeconômico da perda auditiva. Além disso, os autores argumentam que a implementação de sistemas interoperáveis baseados em dados compartilhados pode viabilizar um ecossistema mais eficiente e sustentável para os profissionais da área. Na mesma linha, Lesica *et al.* (2021) discutem o potencial da IA para transformar a pesquisa e o atendimento auditivo. O estudo propõe que algoritmos de aprendizado profundo e modelos biomiméticos do sistema auditivo humano podem melhorar significativamente a acurácia dos diagnósticos, prever trajetórias da perda auditiva e otimizar o uso de próteses auditivas e implantes cocleares.

No contexto da saúde digital, a pesquisa de Mello (2022) propõe um modelo de interoperabilidade semântica para dados não estruturados, utilizando Processamento de Linguagem Natural (NLP) e aprendizado de máquina para integrar dados clínicos a padrões como HL7 FHIR e *openEHR*. Esse estudo evidencia a relevância da IA generativa e de arquiteturas baseadas em *Transformers* na melhoria da qualidade e eficiência no uso de dados clínicos, promovendo uma gestão integrada da informação em saúde. Por fim, a pesquisa de Triantafyllopoulos *et al.* (2023) apresenta o *framework HEAR4Health*, um modelo para integrar a Audição Computacional (*Computer Audition*) à saúde digital. Os autores argumentam que a adoção de sensores inteligentes e algoritmos de IA pode transformar a prática clínica, permitindo diagnósticos mais precisos e intervenções personalizadas na saúde auditiva.

No contexto da saúde auditiva, a audição computacional e a IA generativa emergem como ferramentas promissoras para melhorar a precisão dos diagnósticos e otimizar o tratamento da perda auditiva. Essa complementariedade evidencia a relevância do tema e oferece uma base sólida para futuras pesquisas e implementações práticas.

3. DIAGNÓSTICO E PROPOSTA

Embora esta proposta tenha o foco principal nos pacientes e nos centros auditivos, seus benefícios se estenderão a outros participantes da cadeia de processos, incluindo os fabricantes de aparelhos auditivos, a comunidade, o governo, os fonoaudiólogos e a desenvolvedores de softwares na área da saúde.

Ao analisar o envolvimento dos participantes desde o reconhecimento da necessidade de aparelhos auditivos até a adaptação auditiva do paciente, foi identificada uma lacuna de informações e a ausência de comunicação efetiva entre as áreas e entidades envolvidas. Por exemplo, atualmente não há uma base unificada de informações do

paciente que possa ser compartilhada entre especialistas e médicos para uma avaliação completa das necessidades e patologias do indivíduo. Essa falta de integração pode comprometer o diagnóstico, pois, em alguns casos, uma patologia existente pode interferir em outros diagnósticos.

Outro ponto relevante envolve os fabricantes de aparelhos auditivos, que, atualmente, coletam informações com a permissão prévia do paciente, mas ainda com disponibilização limitada e não padronizada. Os fabricantes coletam os dados com sensores embutidos em aparelhos auditivos, incluindo tempo de uso, ambientes sonoros frequentados, padrões de conversação (direcional ou em grupo), sensores de caminhada e detecção de quedas. Esses dados, quando integrados ao Assistente Virtual (AV), poderiam ser utilizados para personalizar recomendações auditivas, monitorar padrões de uso inadequados e fornecer alertas a profissionais de saúde, viabilizando um sistema proativo de ajuste e acompanhamento.

Além das lacunas identificadas na comunicação entre especialistas, médicos e fabricantes, há implicações importantes no âmbito das políticas públicas. Em algumas iniciativas do governo, como o programa de distribuição de aparelhos auditivos pelo Sistema Único de Saúde (SUS), a integração dessas informações poderia aumentar significativamente a eficácia do sistema. Isso evitaria que pacientes que receberam os aparelhos deixassem de utilizá-los por dificuldades de adaptação, além de possibilitar uma melhor alocação dos recursos disponíveis, otimizando o impacto das políticas públicas no atendimento às necessidades auditivas e outras necessidades da população relacionada a área da saúde.

Portanto, o estudo propõe o desenvolvimento de um Assistente Virtual (AV) para atuar de forma padronizadas, permitindo o uso de informações em tempo real para suporte ao diagnóstico e à adaptação de dispositivos auditivos. A interoperabilidade será viabilizada por meio da adoção de padrões abertos, como por exemplo, *OpenEHR*. Com essa abordagem, com o AV busca-se otimizar o fluxo de informações e tornar o atendimento mais preciso e personalizado, reduzindo o tempo necessário para ajustes e acompanhamento do paciente.

Para operacionalizar a proposta, inicialmente, serão necessários os dados clínicos dos pacientes, portanto, a primeira etapa do projeto se dará pelo desenvolvimento do portal do paciente, assim como suas dependências técnicas e de dados. Seguindo a implementação na seguinte ordem: os módulos de centros auditivos; fonoaudiólogos; fabricantes de aparelhos auditivos e governo. Todos os módulos serão desenvolvidos seguindo as normativas previstas nos órgãos reguladores tais como Sociedade Brasileira de informática em Saúde (SBIS), visando o Nível de Garantia de Segurança 2 (NSG2) em conformidade com o Conselho Federal de Fonoaudiologia (CFFa).

Além disso, o AV combinará Inteligência Artificial Generativa (IA Generativa) e Geração Aumentada por Recuperação (RAG) para responder perguntas de pacientes e profissionais de saúde, ampliando a acessibilidade às informações audiológicas. Esse mecanismo permitirá que o assistente virtual extraia respostas de bases estruturadas e não estruturadas, fornecendo recomendações embasadas em diretrizes médicas e dados clínicos atualizados. Dessa forma, o AV não apenas automatiza processos administrativos e clínicos, mas também melhora a interação e o acesso à informação em todo o ecossistema de saúde auditiva.

Uma pesquisa com base em entrevistas semiestruturadas foi realizada virtualmente com gestores de centros auditivos brasileiros, sendo utilizada a metodologia *survey*, resultando em 36 participantes na etapa confirmatória, na qual foram identificadas barreiras à interoperabilidade, desafios na adoção de IA e necessidades específicas para aprimorar a audiologia computacional. A partir dessa coleta de dados, foi conduzido um estudo de processo, analisando o fluxo de informações, as interações entre os atores do ecossistema auditivo e as lacunas na integração tecnológica. Como resultado, foi elaborado o Quadro 1, que organiza as principais necessidades identificadas e as possíveis soluções para atendê-las. Com base na abordagem do *Design Thinking* (Brown, 2009), um método centrado no usuário para resolver problemas complexos, combinando criatividade, experimentação e análise estruturada, essas necessidades e soluções foram categorizadas como ‘dores’ e ‘remédios’, facilitando a compreensão dos desafios enfrentados e das estratégias para superá-los de maneira centrada nos usuários e demais envolvidos.

Quadro 1 – Principais dores e remédios.

Participantes	Dor	Remédio
Fabricante	Não tem acesso aos dados em tempo real	<i>Data set</i> dos dados de AASI
	Sem acesso aos dados remotos	Normalizar e disponibilizar a base de dados com dados contidos no aplicativo dos AASI.
Centros Auditivos	Desconhecimento do real tamanho do mercado / segmento.	<i>Data set</i> audiológicos.
	Falta de dados para planejamento do negócio.	Compartilhamento de dados colaborativo.
	Dificuldade de gestão	Assistente Virtual
	Falta de confiança nos dados existentes ou em como obteve os dados.	Automatização dos processos RPA (<i>Robotic Process Automation</i>)
	Falta de profissional para adaptação de AASI.	Otimização dos processos que envolve a fonoaudióloga.
Pacientes	Dificuldade em guardar e fazer gestão de documentos físicos.	Plataforma para gestão de informações disponível aos pacientes.
	Insegurança e medo de perder os dados.	Plataforma para gestão de informações disponível aos pacientes.
	Falta de conhecimento / transparência das informações entre médicos e paciente.	Plataforma para gestão de informações disponível aos pacientes.
	Receio de diagnósticos imprecisos	<i>Data set</i> audiológicos
Comunidade	Falta de mapeamento da saúde auditiva	<i>Data set</i> audiológicos.
	Insegurança no planejamento de recursos públicos.	<i>Data set</i> audiológicos.
Governo	Não ter informações de base.	Processo digital – <i>OpenEHR</i>
	Dados não estruturados e descentralização das informações.	<i>Data set</i> audiológicos.
Fonoaudiólogos	Falta de transparência das informações entre médicos e fonoaudiólogos.	Plataforma para gestão de informações disponível aos pacientes.
	Falta de informação dos AASI em tempo real para atender os pacientes remotamente.	<i>Data set</i> audiológicos.

Fonte: Elaborada pela autora

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propõe as bases para o desenvolvimento de um componente inovador integrando sistemas de apoio a centros auditivos com técnicas avançadas de Inteligência

Artificial Generativa (*Generative AI*), Geração Aumentada por Recuperação (RAG) e a adoção de padrões abertos.

O uso de padrões abertos, como o *openEHR*, possibilita a criação de um ecossistema de dados compartilhados, visando informações clínicas sendo acessadas em tempo real e utilizadas para embasar decisões mais precisas e ágeis. A padronização e integração dos dados de saúde auditiva reduzem a redundância de exames, otimizam a comunicação entre especialistas e promovem um atendimento mais ágil e assertivo aos indivíduos com perda auditiva.

A criação de plataformas acessíveis e intuitivas, integradas a assistentes virtuais, contribuirá para um melhor monitoramento da evolução da perda auditiva, permitindo intervenções mais precoces e personalizadas. O desenvolvimento de *datasets* estruturados possibilitará uma visão ampliada das necessidades populacionais, permitindo uma distribuição mais eficiente de recursos e o desenvolvimento de estratégias preventivas baseadas em evidências.

Dessa forma, a integração da inteligência artificial à saúde auditiva não apenas eleva a qualidade do atendimento e impulsiona a inovação no setor, mas também, mitiga barreiras operacionais, consolidando um ecossistema mais eficiente e centrado no paciente.

REFERÊNCIAS

- CFFa – Conselho Federal De Fonoaudiologia. História da fonoaudiologia. 2023a. Disponível em: <http://fonoaudiologia.org.br/historia-da-fonoaudiologia>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- CFFa – Conselho Federal De Fonoaudiologia. Quantitativo de fonoaudiólogos no Brasil por CRF. 2023b. Disponível em: <http://fonoaudiologia.org.br/fonoaudiologos/quantitativo-de-fonoaudiologos-no-brasil-por-conselho-regional/>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- de Mello, B.H., Rigo, S.J., da Costa, C.A. et al. Semantic interoperability in health records standards: a systematic literature review. *Health Technol.* 12, 255–272 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12553-022-00639-w>
- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Pessoas com deficiência auditiva, por sexo e situação do domicílio. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/8217>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- Lesica, N. A.; Mehta, N.; Manjaly, J. G.; Deng, L.; Wilson, B. S.; Zeng, F.-G. Harnessing the power of artificial intelligence to transform hearing healthcare and research. *Nature Machine Intelligence*, v. 3, p. 840–849, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42256-021-00394-z>.
- Triantafyllopoulos, A.; Kathan, A.; Baird, A.; Christ, L.; Gebhard, A.; Gerczuk, M.; Karas, V.; Hübner, T.; Jing, X.; Liu, S.; Mallol-Ragolta, A.; Milling, M.; Ottl, S.; Semertzidou, A.; Rajamani, S. T.; Yan, T.; Yang, Z.; Dineley, J.; Amiriparian, S.; Bartl-Pokorny, K. D.; Batliner, A.; Pokorny, F. B.; Schuller, B. W. HEAR4Health: a blueprint for making computer audition a staple of modern healthcare. *Frontiers in Digital Health*, v. 5, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1196079>.
- Wasemann, J. W. A.; Lanting, C. P.; Huinck, W. J.; Mylanus, E. A. M.; Van Der Laak, J. W. M.; Govaerts, P. J.; Swanepoel, D. W.; Moore, D. R.; Barbour, D. L. Computational Audiology: New Approaches to Advance Hearing Health Care in the Digital Age. *Ear & Hearing*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001041>. Acesso em: 18 jul. 2024.