

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE MEDICINA
Programa de Pós-Graduação em Ciências Fonoaudiológicas

Ana Kelly Barbosa Vieira

**DESENVOLVIMENTO AUDITIVO NA INFÂNCIA: PROTOCOLOS
PADRONIZADOS E ANÁLISE DA ESPECTROSCOPIA FUNCIONAL NO
INFRAVERMELHO PRÓXIMO (fNIRS)**

Belo Horizonte
2025

Ana Kelly Barbosa Vieira

**DESENVOLVIMENTO AUDITIVO NA INFÂNCIA: PROTOCOLOS
PADRONIZADOS E ANÁLISE DA ESPECTROSCOPIA FUNCIONAL NO
INFRAVERMELHO PRÓXIMO (fNIRS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Fonoaudiológicas da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestra.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Macedo de Resende

Coorientadora: Profa. Dra. Suelen Rosa de Oliveira

Belo Horizonte

2025

V658d Vieira, Ana Kelly Barbosa.
Desenvolvimento auditivo na infância [recurso eletrônico]: protocolos padronizados e análise da Espectroscopia Funcional no infravermelho próximo (fNIRS). / Ana Kelly Barbosa Vieira r. - - Belo Horizonte: 2025.
82f.: il.
Formato: PDF.
Requisitos do Sistema: Adobe Digital Editions.

Orientador (a): Luciana Macedo de Resende.
Coorientador (a): Suelen Rosa de Oliveira.
Área de concentração: Ciências Fonoaudiológicas.
Dissertação (mestrado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.

1. Audição. 2. Avaliação em Saúde. 3. Implante Coclear. 4. Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho. 5. Percepção Auditiva. 6. Dissertação Acadêmica. I. Resende, Luciana Macedo de. II. Oliveira, Suelen Rosa de. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. IV. Título.

NLM: WV 268

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
MEDICINA - CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FONOAUDIOLÓGICAS
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Às nove horas do dia três de junho de dois mil e vinte e cinco, na sala 526 da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, realizou-se a defesa de dissertação de Mestrado da aluna **ANA KELLY BARBOSA VIEIRA**, número de registro 2023657983, graduada no curso de FONOLOGIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIAS FONOAUDIOLÓGICAS, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Fonoaudiológicas. A Presidência coube à Profa. Luciana Macedo de Resende. Inicialmente a Presidente após dar conhecimento aos presentes sobre o teor das Normas Regulamentares do trabalho final de Pós-Graduação, fez a apresentação da Comissão Examinadora, assim, constituída pelas Professoras Doutoras: Profa. Luciana Macedo de Resende - Orientadora (UFMG), Profa. Suelen Rosa de Oliveira - Coorientadora (UFMG), Profa. Sirley Alves da Silva Carvalho (UFMG) e Profa. Sheila Andreoli Balen (UFRN).

Em seguida a Presidente autorizou a aluna para iniciar a apresentação de seu trabalho final intitulado **“DESENVOLVIMENTO AUDITIVO NA INFÂNCIA: PROTOCOLOS PADRONIZADOS E ANÁLISE DA ESPECTROSCOPIA FUNCIONAL NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (FNIRS)”**. Seguiu-se à arguição pela comissão Examinadora, com a respectiva defesa da aluna. Logo após a Comissão reuniu-se sem a presença da candidata e do público para julgamento e expedição do resultado da avaliação do trabalho final da aluna e considerou a dissertação aprovada.

A Presidente da Comissão comunicou publicamente o resultado final à aluna. Nada mais havendo a tratar, a Presidente encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, após lida, será assinada eletronicamente por todos os membros da Comissão Examinadora presente na sessão, através do SEI (Sistema Eletrônico de Informações) do Governo Federal.

Belo Horizonte, 03 de junho de 2025.

Assinatura dos membros da banca examinadora:

https://sei.ufmg.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=4623359&infra_sistema=10000100&infra_unidade_atual=110001072&infra_hash=c86bc123... 1/2

04/08/2025, 09:33

SEI/UFMG - 4276719 - Ata de defesa de Dissertação/Tese



Documento assinado eletronicamente por **Sirley Alves da Silva Carvalho, Professora do Magistério Superior**, em 05/06/2025, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Macedo de Resende, Professora do Magistério Superior**, em 05/06/2025, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Suelen Rosa de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 13/06/2025, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sheila Andreoli Balen, Usuária Externa**, em 25/06/2025, às 11:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4276719** e o código CRC **C0DF74E0**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à UFMG, que me permitiu ter acesso ao conhecimento e à formação que deram a mim uma função social, um lugar no mundo, e tornou possível minha ascensão intelectual e de classe.

À minha avó, Mainha, que sempre me incentivou a estudar e acreditou que eu chegaria longe, mesmo em tempos difíceis.

À Beatriz, minha dupla na vida, que sempre foi ouvidos durante essa jornada e me encorajou a finalizar esta dissertação apesar de todas as contingências.

Ao Gustavo, com quem compartilho meus dias, que sempre esteve ao meu lado pacientemente e me trouxe conforto nos muitos momentos de incerteza.

À minha gata, Sereia, que me acompanhou fielmente nas infinitas horas e noites de escrita.

Às minhas amigas e amigos, que foram suporte nesses dois longos anos, e que souberam, até mais do que eu, do quanto eu era capaz.

À minha psicóloga, Helena, que trouxe sensatez nos períodos turbulentos e me aconselhou cuidadosamente em todo esse tempo.

À minha orientadora, Luciana, por ter dividido comigo seus saberes, me guiado neste percurso e ter confiado que eu faria um bom trabalho.

À Suelen, minha coorientadora, que foi companhia nas etapas mais árduas da pesquisa e pela atenção dada desde que esta dissertação ainda era um projeto.

À Rebecca, bolsista de iniciação científica da equipe fNIRS, pela parceria desde que ingressei no mestrado e por ter vivido comigo as angústias acadêmicas.

À Marina, querida amiga e fonoaudióloga do HC-UFMG, que esteve presente em diferentes fases do mestrado e me assistiu em todas elas.

À professora Débora e ao professor Rickson, que fazem parte do grupo de estudos fNIRS, que colaboraram na análise e interpretação dos dados da pesquisa.

À banca examinadora, pela disponibilidade em avaliar este trabalho e pelas contribuições para seu aprimoramento.

Às crianças e aos seus pais que participaram da pesquisa, que gentilmente dispuseram do seu tempo para cooperar com o avanço científico.

Ao CTMM-UFMG, pela infraestrutura necessária à realização da pesquisa.

À FAPEMIG, por possibilitar que eu me dedicasse a este trabalho por meio do apoio financeiro concedido.

RESUMO

Introdução: O desenvolvimento adequado da fala e da linguagem na infância depende da capacidade da criança em perceber e processar estímulos sonoros. Assim, a avaliação do desenvolvimento auditivo é essencial e deve considerar as características de cada criança e determinadas especificidades, incluindo o uso do implante coclear (IC). Técnicas como a Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) têm ganhado espaço por permitirem a análise da ativação cortical em resposta a estímulos sonoros, oferecendo dados valiosos sobre a maturação auditiva. **Objetivos:** Caracterizar os métodos de avaliação do desenvolvimento auditivo em crianças a partir dos protocolos padronizados e das respostas corticais da Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS); buscando identificar quais são os métodos de avaliação da percepção auditiva comumente usados em crianças pequenas com IC e desenvolver e testar um protocolo baseado em Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) para avaliar a resposta auditiva cortical em crianças menores de cinco anos. **Métodos:** O estudo consistiu em duas partes: (i) uma revisão de escopo desenvolvida de acordo com as recomendações do PRISMA-ScR e registrada na plataforma OSF, em que as buscas bibliográficas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE via PubMed, LILACS via BVS, Web of Science, SciELO, Scopus, CINAHL via EBSCOHost; e (ii) um estudo descritivo e transversal realizado com 19 crianças normo-ouvintes com idade entre 12 e 54 meses, em que na coleta dos dados foi realizada a avaliação audiológica, a aplicação do *LittleEARs® Auditory Questionnaire* e o registro da resposta auditiva cortical por meio da fNIRS, que foi analisada por meio do MATLAB e HOMER2, focando nas concentrações de oxihemoglobina (HbO) e desoxihemoglobina (HbR). **Resultados:** Foram elaborados dois artigos independentes, intitulados: "Métodos para avaliação do desenvolvimento auditivo de crianças com implante coclear: revisão de escopo" e "Respostas corticais em crianças para diferentes estímulos auditivos: análise da Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS)". No primeiro (i), foram encontrados 2.098 estudos, e após avaliação de elegibilidade foram incluídos 58 estudos. Apesar da variabilidade em relação à escolha da bateria e ficando a critério dos profissionais sua seleção, as escalas *Meaningful Auditory Integration Scale/Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale* (MAIS/IT-MAIS) – mais citada, *Categories of*

Auditory Performance (CAP), *Speech Intelligibility Rating Scale* (SIR), *Meaningful Use of Speech Scale* (MUSS) e o questionário *LittleEARs® Auditory Questionnaire* (LEAQ) destacam-se como métodos consolidados na literatura. Os testes comportamentais *Early Speech Perception* (ESP), *Listening in Progress* (LiP) e *Glendonald Auditory Screening Procedure* (GASP) foram os mais utilizados. Quanto aos exames objetivos, a audiometria em campo livre permanece como o padrão-ouro, enquanto exames como o Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC) e o *Mismatch negative* (MMN) têm ganhado espaço. A técnica Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) surge como uma alternativa viável, oferecendo uma abordagem complementar. No segundo (ii), foi elaborado um protocolo de estímulos auditivos (tom puro, *International Speech Test Signal* - ISTS e leitura de história infantil) para registro da fNIRS que mostrou-se viável, dado que foi possível captar as respostas da hemodinâmica cerebral a partir da sensibilidade aos estímulos auditivos, e houve ativação neural diferenciada para esses sinais. O tom puro apresentou ativação cortical mais difusa, desencadeando alteração da oxigenação nas regiões temporal, parietal, occipital e frontal, e o ISTS e a leitura de história apresentaram ativação bilateral e de regiões temporais, que são padrões esperados em resposta à fala. Apesar da variabilidade nos perfis de ativação de regiões corticais em resposta aos diferentes estímulos auditivos entre as crianças normo-ouvintes na HbO e na HbR, tais achados concentrou-se nas regiões temporais medial e posterior, indicando resultado a nível de grupo. **Conclusão:** A literatura científica destaca a importância dos instrumentos padronizados, tanto objetivos quanto comportamentais, para avaliação do desenvolvimento auditivo na infância e a inclusão da fNIRS nesse processo representa um avanço na compreensão da funcionalidade cerebral na recepção e interpretação dos estímulos sonoros. No entanto, é fundamental que os parâmetros de avaliação nas crianças normo-ouvintes sejam bem estabelecidos, para futuramente serem aplicados às crianças com perda auditiva.

Descritores: desenvolvimento auditivo; avaliação; implante coclear; espectroscopia funcional no infravermelho próximo; percepção auditiva

ABSTRACT

Introduction: Proper development of speech and language in childhood depends on the child's ability to perceive and process auditory stimuli. Therefore, the assessment of auditory development is essential and must consider each child's characteristics and specific factors, including the use of a cochlear implant (CI). Techniques such as Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) have gained relevance for enabling the analysis of cortical activation in response to auditory stimuli, offering valuable insights into auditory maturation. **Objectives:** To characterize auditory development assessment methods in children based on standardized protocols and cortical responses measured by fNIRS; to identify commonly used auditory perception evaluation methods in young children with CIs; and to develop and test a protocol based on fNIRS to assess cortical auditory responses in children under five years of age. **Methods:** The study consisted of two parts: (i) a scoping review conducted according to PRISMA-ScR guidelines and registered on the OSF platform, with literature searches performed in the following databases: MEDLINE via PubMed, LILACS via BVS, Web of Science, SciELO, Scopus, and CINAHL via EBSCOHost; and (ii) a descriptive cross-sectional study involving 19 normal-hearing children aged between 12 and 54 months. Data collection included audiological assessment, application of the LittleEARs® Auditory Questionnaire, and registration of cortical auditory responses using fNIRS. Data were analyzed using MATLAB and HOMER2, focusing on oxyhemoglobin (HbO) and deoxyhemoglobin (HbR) concentrations. **Results:** Two independent articles were developed: *"Methods for Assessing Auditory Development in Children with Cochlear Implants: A Scoping Review"* and *"Cortical Responses in Children to Different Auditory Stimuli: An Analysis Using Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)."* In the first (i), 2,098 studies were identified, and 58 were included after eligibility screening. Despite variability in the choice of assessment batteries—often selected at the discretion of professionals—the following tools stood out as well-established in the literature: the Meaningful Auditory Integration Scale/Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (MAIS/IT-MAIS), Categories of Auditory Performance (CAP), Speech Intelligibility Rating Scale (SIR), Meaningful Use of Speech Scale (MUSS), and LittleEARs® Auditory Questionnaire (LEAQ). Behavioral tests such as the Early Speech Perception (ESP), Listening in Progress (LiP), and Glendonald Auditory Screening

Procedure (GASP) were among the most used. Regarding objective tests, free-field audiometry remains the gold standard, while tests such as the Cortical Auditory Evoked Potential (CAEP) and Mismatch Negative (MMN) are gaining prominence. fNIRS emerges as a viable and complementary approach. In the second article (ii), an auditory stimulus protocol (pure tone, International Speech Test Signal – ISTS, and children's story reading) was developed for fNIRS data collection. It proved feasible, as it captured cerebral hemodynamic responses to auditory stimuli, showing differentiated neural activation patterns for each type of signal. The pure tone elicited more diffuse cortical activation, with changes in oxygenation observed in the temporal, parietal, occipital, and frontal regions. Both the ISTS and story reading showed bilateral activation in the temporal regions, a typical pattern in response to speech. Although there was variability in cortical region activation patterns among normal-hearing children in both HbO and HbR responses, group-level results concentrated in the medial and posterior temporal regions. **Conclusion:** Scientific literature highlights the importance of standardized tools – both objective and behavioral – for assessing auditory development in early childhood. The inclusion of fNIRS in this process represents progress in understanding brain functionality in response to auditory stimuli. However, it is crucial to establish clear assessment parameters in normal-hearing children before applying them to children with hearing loss.

Keywords: auditory development; assessment; cochlear implant; functional near-infrared spectroscopy; auditory perception

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1. Fluxograma de busca dos estudos.....	25
--	----

ARTIGO 2

Figura 1. Posicionamento dos optodos para fNIRS.....	52
Figura 2. Criança com a touca posicionada para registro da fNIRS.....	53
Figura 3. Mapa dos canais e seus agrupamentos em ROIs.....	55
Figura 4. Protocolo inicial de estimulação auditiva.....	56
Figura 5. Protocolo de estimulação auditiva aperfeiçoado.....	57
Figura 6. Análise hemodinâmica por canais ativados nas ROIs.....	58

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1. Caracterização dos estudos incluídos.....	26
Tabela 2. Agrupamento dos estudos por similaridade.....	31

ARTIGO 2

Tabela 1. ROIs e seus respectivos canais.....	54
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASI	Aparelho de Amplificação Sonora Individual
BERA	<i>Brainstem Evoked Response Audiometry</i>
BVS	Biblioteca Virtual em Saúde
CAAE	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CAEP	<i>Cortical Auditory Evoked Potential</i>
CAP	<i>Integration Scale Categories of Auditory Performance</i>
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CINAHL	<i>Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature</i>
CTMM	Centro de Tecnologia em Medicina Molecular
dB	Decibel
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
ECochG	<i>Electrocochleography</i> /Eletrococleografia
EOAT	Emissões Otoacústicas Transientes
ESP	<i>Early Speech Perception</i>
FFR	<i>Frequency Following Response</i> /Resposta de Frequência Seguinte
fMRI	<i>Functional Magnetic Resonance Imaging</i>
fNIRS	<i>Functional Near-Infrared Spectroscopy</i> /Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo

GASP	<i>Glendonald Auditory Screening Procedure</i>
HbO	Oxihemoglobina
HbR	Desoxihemoglobina
Hz	Hertz
IC	Implante Coclear
ISTS	<i>International Speech Test Signal</i>
IT-MAIS	<i>Infant-Toddler Meaningful Auditory</i>
k	mil
LEAQ	<i>LittleEARs® Auditory Questionnaire</i>
LILACS	Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde
LiP	<i>Listening in Progress</i>
LLAEP	<i>Long-Latency Auditory Evoked Potentials</i>
MAIS	<i>Meaningful Auditory Integration Scale</i>
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
MEDLINE	<i>Medical Literature Analysis and Retrieval System Online</i>
MMN	<i>Mismatch Negative/Negativity</i>
MUSS	<i>Meaningful Use of Speech Scale</i>
MeSH	<i>Medical Subject Headings</i>
NA	Nível de Audição

NPS	Nível de Pressão Sonora
OSF	<i>Open Science Framework</i>
PCC	População, Conceito e Contexto
PEAC	Potencial Evocado Auditivo Cortical
PEATE	Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico
PEATE-Fala	Potencial Auditivo de Tronco Encefálico com Estímulo de Fala
PEALL	Potenciais Evocados Auditivos de Longa Latência
PRISMA-ScR	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and the Meta-Analyses extension for Scoping Reviews</i>
PubMed	<i>Public Medical Literature</i>
RMF	Ressonância Magnética Funcional
ROI	<i>Region of Interest</i> /Região de Interesse
S-ABR	<i>Speech Evoked Auditory Brainstem Response</i>
S/R	Sinal/Ruído
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SIR	<i>Speech Intelligibility Rating Scale</i>
TAN	Triagem Auditiva Neonatal
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo geral.....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. MÉTODOS.....	19
4. RESULTADOS.....	20
4.1. Artigo 1.....	20
4.2. Artigo 2.....	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
6. REFERÊNCIAS.....	66
7. ANEXOS.....	69
I. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	69
II. Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG.....	72

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento adequado da fala e da linguagem na infância depende da capacidade da criança em perceber e processar os estímulos sonoros¹. Nesse sentido, a integridade do sistema auditivo, tanto periférico quanto central, é fundamental para promover a maturação e a plasticidade funcional do córtex auditivo^{2,3}. Desse modo, a investigação, desde o nascimento, de possíveis alterações nas estruturas relacionadas à audição torna-se imprescindível⁴, a fim de prevenir prejuízos na aquisição das habilidades auditivas.

O desenvolvimento auditivo é avaliado de diferentes modos com base na faixa etária e nas possibilidades de resposta de cada criança, muitas vezes influenciadas por condições individuais específicas. No entanto, essa tarefa pode ser particularmente desafiadora⁵, especialmente em função de características típicas do desenvolvimento infantil, como o tempo de atenção reduzido, dificuldades na compreensão das instruções e limitações na modulação comportamental, fatores que impactam diretamente na obtenção de respostas consistentes durante os testes auditivos⁶. Assim, dispor de instrumentos que sejam apropriados para cada idade⁷ e para as singularidades que advêm de uma heterogeneidade de contextos é muito valioso para a boa prática clínica.

Ademais, quando as crianças a serem avaliadas compõem uma população com características muito específicas, como ocorre com as que realizaram o implante coclear (IC), é preciso considerar outros aspectos, como a idade auditiva, o modo de comunicação, o tempo de uso do dispositivo e técnicas compatíveis com o IC^{8,9,10}.

Existem recomendações de métodos para avaliação auditiva em população pediátrica por comitês competentes a fim de assegurar excelência neste processo^{10,11}. Em vista disso, questionários, testes, e exames comportamentais e objetivos são indicados para analisar a recepção dos estímulos sonoros em múltiplas partes do sistema auditivo e o processamento deste sinal pelo cérebro¹¹.

Os protocolos de avaliação auditiva aplicados a crianças pequenas, menores de cinco anos, podem divergir em relação a quais serão usados de forma definida, a depender do profissional que acompanha o desenvolvimento auditivo da criança, mas há consenso sobre a combinação e correlação entre eles para assegurar a robustez das respostas e um diagnóstico preciso¹².

Os questionários geralmente são respondidos pelos pais e cuidadores e são a maneira mais eficaz de entender os comportamentos auditivos da criança nos ambientes de vida diária. Carregam forte evidência científica e são muito relevantes para indicar se os marcos esperados para cada idade têm sido alcançados¹².

Os testes, que abrangem a forma comportamental da avaliação, nos informam sobre as habilidades auditivas adquiridas pela criança e se elas se apresentam de modo hierárquico com base na complexidade de cada uma¹³. Assim, é possível acompanhar as mudanças do desempenho auditivo que acontecem por etapas no decorrer do tempo.

Os exames comportamentais e objetivos, assim como novas técnicas de monitoramento funcional, são ferramentas úteis na mensuração da percepção auditiva ao determinar o nível mínimo de resposta e trazer referências sobre a integridade da via auditiva³, o processamento dos sons a nível cortical e sua relação com a cognição, principalmente quando associados aos questionários e testes.

Novas técnicas para avaliação do desenvolvimento auditivo de crianças pequenas têm ganhado espaço, como a Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS)^{2,6,7,14}. Essa tecnologia permite identificar a ativação cortical frente a estímulos sonoros, por meio da mensuração das variações na oxigenação sanguínea em áreas cerebrais específicas, fornecendo dados valiosos sobre a maturação auditiva^{2,15,16,17}. A fNIRS apresenta como diferencial a possibilidade de avaliação em ambientes mais confortáveis para a criança, que pode permanecer acomodada confortavelmente no colo dos pais, utilizando-se uma touca com optodos posicionada sobre o couro cabeludo para captação dos sinais^{2,18,19}. Ela é menos sensível à movimentação, quando comparada a outras técnicas, e também é compatível com dispositivos auditivos, principalmente com o IC, que possui componentes ferromagnéticos.

Compreender o desenvolvimento auditivo por meio dos padrões de ativação cortical em crianças normo-ouvintes possibilita a criação de parâmetros de normalidade para avaliar a criança com perda auditiva. Por sua vez, em relação às que realizam a implantação coclear, essa abordagem permitirá analisar a percepção de diferentes estímulos auditivos, inclusive a fala, por meio do dispositivo^{20,21}, baseado na ativação de regiões corticais relacionadas à linguagem^{21,22}. Do mesmo modo, torna viável a identificação de quais crianças não estão sendo beneficiadas

como o previsto com o IC^{20,23,24}, orientando quanto à atuação objetiva neste percurso.

A intervenção apropriada às crianças com IC viabiliza o processo terapêutico de reabilitação auditiva, que se inicia na adaptação do dispositivo, percorre a aquisição hierárquica das habilidades auditivas, e finaliza na adequação do desenvolvimento auditivo e de linguagem à faixa etária²⁵. Esse percurso terapêutico pode proporcionar melhora na qualidade de vida ao capacitar a criança a ouvir de maneira alternativa, com o uso dos dispositivos auxiliares de audição, para interagir com o mundo a partir dos estímulos sonoros recebidos. Ao considerar a variabilidade de resultados após a implantação coclear reportada na literatura e pelo acesso ao IC não assegurar, por si só, um desenvolvimento auditivo típico¹⁰, se faz ainda mais relevante a atenção que deve ser dada a este processo²⁵.

Sendo assim, neste trabalho buscou-se identificar quais questionários são mais utilizados para indicar o progresso na aquisição das habilidades auditivas de crianças pequenas com IC a partir da observação dos pais e cuidadores, bem como quais exames comportamentais e objetivos são possíveis e indicados para realizar nesta população, e por fim quais novas tecnologias ou ferramentas têm sido desenvolvidas para mensurar o desempenho auditivo com o IC contribuindo significativamente para avaliar e acompanhar a efetividade dos resultados da reabilitação auditiva.

Igualmente, neste trabalho, foi proposto um protocolo de estimulação auditiva cuidadosamente elaborado com o objetivo de analisar os padrões de ativação cortical por meio da técnica fNIRS, visando o monitoramento do desenvolvimento auditivo na primeira infância. Nessa etapa inicial, o protocolo foi testado em crianças normo-ouvintes com o intuito de apreender a organização das estruturas envolvidas no processamento sensorial auditivo^{24,26}. A intenção é que futuramente seja aplicado em crianças com perda auditiva, especialmente com IC, possibilitando acompanhar e interpretar a reorganização esperada no processo de reabilitação auditiva.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- i. Caracterizar os métodos de avaliação do desenvolvimento auditivo em crianças a partir dos protocolos padronizados e das respostas corticais da Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS).

2.2. Objetivos específicos

- i. Determinar quais protocolos para avaliação do desenvolvimento auditivo de crianças com IC são comumente usados;
- ii. Desenvolver e testar um protocolo baseado em Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) para avaliar a resposta auditiva cortical em crianças menores de cinco anos;
- iii. Analisar as respostas corticais fNIRS em crianças normo-ouvintes para diferentes estímulos auditivos;
- iv. Comparar as respostas entre os diferentes estímulos apresentados no registro da fNIRS para compreender os padrões de ativação cortical para cada um deles;
- v. Estabelecer os padrões de ativação cortical da fNIRS para crianças normo-ouvintes a fim de criar parâmetros de respostas para avaliar crianças com IC.

3. MÉTODOS

Este estudo se dividiu em duas partes, sendo a primeira uma revisão de escopo conduzida de acordo com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and the Meta-Analyses extension for Scoping Reviews* (PRISMA-ScR) e registrada na plataforma *Open Science Framework* (OSF) sob o DOI 10.17605/OSF.IO/N79UX; e a segunda um estudo descritivo e transversal, desenvolvido no Ambulatório de Audiologia do Hospital São Geraldo e no Centro de Tecnologia em Medicina Molecular da Faculdade de Medicina da UFMG (CTMM), aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFMG sob parecer nº 2.980.405 (CAAE 97831218.7.0000.5149).

Os métodos de cada parte do estudo estão descritos nos dois artigos resultantes de forma detalhada.

4. RESULTADOS

4.1. Artigo 1

Métodos para avaliação do desenvolvimento auditivo de crianças com implante coclear: revisão de escopo

RESUMO

Objetivos: Identificar quais são os métodos de avaliação da percepção auditiva comumente usados em crianças pequenas com implante coclear. **Métodos:** As buscas bibliográficas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE via PubMed, LILACS via BVS, Web of Science, SciELO, Scopus, CINAHL via EBSCOHost. Foram aplicados limites de idioma (português, inglês e espanhol), mas não houve limite temporal. Os descritores pesquisados no *Medical Subject Headings* (MeSH) e usados para a busca foram: “*children*”, “*cochlear implant*”, “*auditory perception*” e “*assessment*”. **Resultados:** Foram encontrados 2.098 estudos, e após avaliação de elegibilidade baseada na estratégia População, Conceito e Contexto (PCC) foram incluídos 58 estudos. Os métodos de avaliação mais usados foram, respectivamente: *Meaningful Auditory Integration Scale* (MAIS), *Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale* (IT-MAIS), *Categories of Auditory Performance* (CAP), *Speech Intelligibility Rating Scale* (SIR), *Meaningful Use of Speech Scale* (MUSS) e *LittleEARS® Auditory Questionnaire* (LEAQ); *Early Speech Perception* (ESP), *Listening in Progress* (LiP) e *Glendonald Auditory Screening Procedure* (GASP); Audiometria em campo livre, Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC), *Mismatch negative* (MMN), Potencial Auditivo de Tronco Encefálico com Estímulo de Fala (PEATE-Fala), Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) e Eletrococleografia (ECochG). **Conclusão:** Apesar da variabilidade em relação à escolha da bateria e ficando a critério dos profissionais sua seleção, as escalas MAIS/IT-MAIS (mais citado), CAP, SIR, MUSS e o questionário LEAQ destacam-se como métodos consolidados na literatura. Os testes comportamentais ESP, LiP e GASP foram os mais utilizados. Quanto aos exames objetivos, a audiometria em campo livre permanece como o padrão-ouro, enquanto exames como o PEAC e o MMN têm ganhado espaço. A técnica fNIRS surge como uma alternativa viável, oferecendo uma abordagem complementar.

INTRODUÇÃO

Promover a audibilidade em crianças com perda neurossensorial é fator precursor ao desenvolvimento de fala e linguagem. Nos primeiros anos de vida, a recepção das informações auditivas possibilitadas pelo uso de dispositivos tecnológicos¹, como o Aparelho de Amplificação Sonora Individual (AASI) e/ou o Implante Coclear (IC), é fundamental. Esses estímulos favorecem a formação de conexões no córtex auditivo e sua organização para aquisição das habilidades intrinsecamente relacionadas².

Sabe-se que nos casos que seguem para a implantação coclear, o ideal é que seja realizado o mais cedo possível após o diagnóstico³, preferencialmente até os três anos e meio de idade, período de maior plasticidade do sistema auditivo central⁴. Para obter maiores benefícios ao que concerne ao desenvolvimento da linguagem e para que a maturação cortical ocorra adequadamente, a estimulação auditiva deve ser sucessiva à ativação do IC, marcando a importância da terapia fonoaudiológica como intermediadora nesse processo^{5,6}.

Em consequente à implantação coclear, se faz necessário o acompanhamento do desenvolvimento das habilidades auditivas para avaliar os ganhos nessa nova modalidade de escuta. Porém, monitorar tal evolução é algo desafiador³, visto que além da criança estar se habituando ao dispositivo e aprendendo a ouvir por meio dele, o tempo de atenção reduzido e a dificuldade em compreender as instruções podem ser obstáculos recorrentes⁷, logo os instrumentos de avaliação auditiva aplicados devem ser apropriados e considerar o tempo de uso do IC.

Para a medição da percepção auditiva são selecionados questionários validados, escalas e exames comportamentais ou objetivos para compor a bateria de avaliação, que pode variar em acordo com as linhas de reabilitação adotadas, mas sempre prezando por metodologias respaldadas pela literatura. Independente do método de avaliação escolhido, é importante considerar a especificidade de cada criança, visto que há muitas variáveis a serem cogitadas, a depender da adesão à fonoterapia, do envolvimento familiar, da idade na cirurgia, entre outras^{8,9}.

Devido às diferenças observadas nos protocolos selecionados para acompanhamento de crianças após a implantação coclear, esta é uma temática discutida em estudos frutos de pesquisa e fóruns de boas práticas. O foco desses estudos tem sido aumentar a coerência dos procedimentos de avaliação, otimizar

sua aplicabilidade nos domínios comportamentais e objetivos, e obter indicadores de bom desempenho mais apropriados¹⁰, a fim de elevar os padrões de qualidade para a reabilitação de crianças que recebem ICs^{10,11}.

Desse modo, este estudo pretende investigar quais são os métodos de avaliação da percepção auditiva comumente usados em crianças pequenas com IC a fim de entender: i) quais questionários são aplicáveis para indicar o progresso na aquisição das habilidades auditivas a partir da observação dos pais e cuidadores; ii) quais exames comportamentais e objetivos são possíveis de realizar nessa população; e iii) quais novas tecnologias ou ferramentas têm sido desenvolvidas para mensurar o desempenho auditivo com o IC.

ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Esta revisão de escopo foi conduzida de acordo com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and the Meta-Analyses extension for Scoping Reviews* (PRISMA-ScR) e registrada na plataforma *Open Science Framework* (OSF) sob o registro DOI 10.17605/OSF.IO/N79UX.

Trata-se de um estudo que objetivou responder à pergunta: “Quais os métodos de avaliação do desenvolvimento auditivo usados no acompanhamento de crianças pequenas com IC?”.

As buscas bibliográficas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE via PubMed, LILACS via BVS, Web of Science, SciELO, Scopus, CINAHL via EBSCOHost. Foram aplicados limites de idioma (português, inglês e espanhol), mas não houve limite temporal.

Os descritores pesquisados no *Medical Subject Headings* (MeSH) e usados para a busca de artigos foram: “*children*”, “*cochlear implant*”, “*auditory perception*” e “*assessment*”, com os operadores booleanos AND e OR. A estratégia de busca completa resultou em: “(*auditory perception*) AND (*cochlear implant*) AND (*children*) AND (*assessment*) AND (la:("en" OR "pt" OR "es"))”.

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Para o processo de seleção foram aplicados os critérios definidos pela estratégia População, Conceito e Contexto (PCC): (P): crianças menores de cinco

anos usuárias de IC; (C): métodos e protocolos de avaliação da percepção auditiva; e (C): acompanhamento do desenvolvimento das habilidades auditivas.

COLETA DE DADOS

Duas autoras examinaram de maneira minuciosa e independente os títulos e resumos dos artigos encontrados pela busca. Os trabalhos que não atendiam aos objetivos desta revisão foram excluídos.

Na etapa seguinte, os artigos previamente selecionados foram avaliados na íntegra com base nos critérios de elegibilidade para inclusão no estudo. Após a análise crítica das duas autoras, em caso de divergência, foi consultada uma terceira autora para decisão final. Os artigos excluídos foram registrados, assim como os motivos da exclusão.

Foram incluídos os artigos que envolvessem crianças de até cinco anos de idade com perda auditiva de grau severo a profundo, usuárias de IC unilateral ou bilateral, que estavam sendo acompanhadas em relação ao desenvolvimento auditivo por algum método ou protocolo.

Como critério de exclusão, foram desconsiderados os estudos que não detalharam os métodos de avaliação auditiva.

ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram extraídos para uma tabela padronizada no Microsoft Excel®, na qual constavam as seguintes informações: título, autor principal, ano de publicação, país de publicação, desenho do estudo, características dos participantes (tamanho da amostra e idade), métodos de avaliação auditiva utilizados e desfecho de interesse.

Após a extração das informações relevantes de cada estudo, procedeu-se a análise descritiva dos dados por meio do agrupamento e categorização das informações em temas pertinentes para a compreensão do objeto de estudo.

RESULTADOS

Nas bases de dados pesquisadas foram encontrados 2.098 artigos, sendo que 257 foram identificados como duplicados e excluídos na primeira triagem. Após a retirada dos duplicados, 1.841 artigos passaram pela análise de títulos e resumos, sendo que 1.714 foram excluídos. Assim, foram selecionados 127 artigos para leitura do texto completo e 69 foram excluídos por não atenderem aos critérios de seleção relacionados à estratégia PCC, restando 58 artigos para inclusão. O fluxograma desse processo está exposto na Figura 1.

A caracterização dos estudos incluídos pode ser consultada na Tabela 1. Verificou-se que a maior parte dos estudos foram realizados nos Estados Unidos, China, Brasil e Alemanha, com maior volume de publicação entre os anos de 2010 a 2022, e maior prevalência de estudos descritivos e longitudinais.

Na Tabela 2, os resultados foram agrupados por similaridade em relação ao tipo de instrumento (escalas/questionários, testes de observação e exames auditivos), em que se expõem os respectivos desfechos.

Figura 1: Fluxograma de busca dos estudos

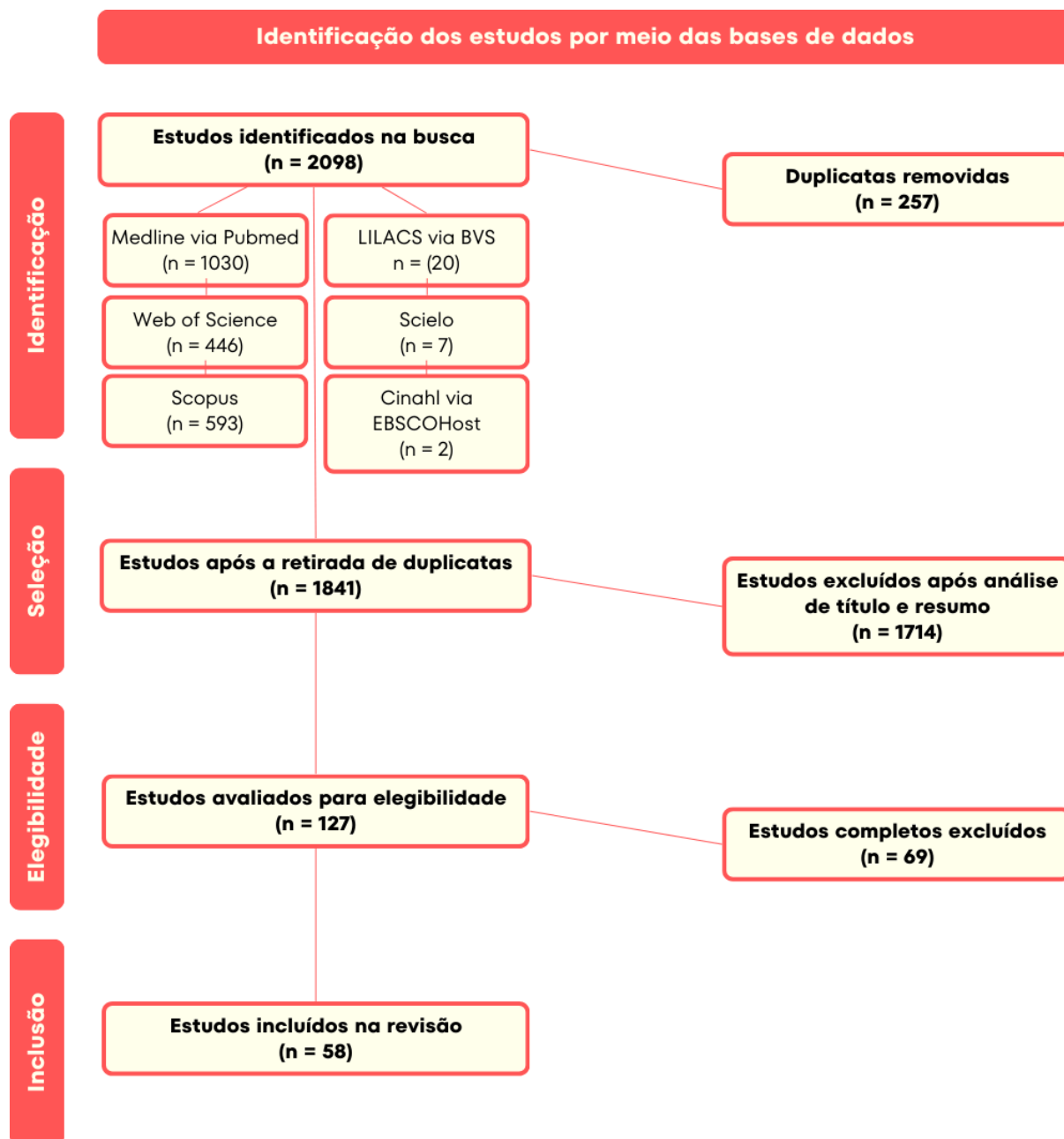


Tabela 1: Caracterização dos estudos incluídos

Estudos	Autores	País	Delineamento do estudo	Número de crianças avaliadas	Idade	Método de avaliação da percepção auditiva
A1	Park et al. (2023)	Estados Unidos	Prospectivo	18	< 5 anos e 11 meses	Audiometria convencional ou condicionada; CNC word lists; Bamford-Kowal-Bench Speech-in-Noise test; Sound Source Localization
A2	Wang et al. (2023)	China	(Descritivo)	19	4-5 anos	Cortical auditory evoked potential (CAEP)/Mismatch negativity (MMN); LittlEARs® Auditory Questionnaire (LEAQ); Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating Scale (SIR); Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS); Meaningful Use of Speech Scale (MUSS)
A3	Bustos-Rubilar et al. (2022)	Chile	(Descritivo)	----	< 5 anos	Categories of Auditory Performance II (CAP-II); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A4	Estima et al. (2022)	Brasil	Observacional, descritivo e transversal	15	< 4 anos e 11 meses	IT-MAIS; Teste de Avaliação da Capacidade Auditiva Mínima (TACAM); MUSS; Escala de Avaliação de Envolvimento Familiar (IFR)
A5	Ueda et al. (2022)	Brasil	Longitudinal retrospectivo	59	< 5 anos	IT-MAIS; Escala de avaliação do envolvimento familiar (Moeller)
A6	Xiong et al. (2022)	China	(Descritivo)	43	< 5 anos	Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC-P1); Category of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A7	Akaplan et al. (2021)	Turquia	(Analítico)	13	< 5 anos	IT-MAIS; Visual reinforcement infant speech discrimination test (VRISD)
A8	Chweya et al. (2021)	Estados Unidos	Retrospectivo	118	< 5 anos	LittlEARS Auditory Questionnaire (LEAQ); IT-MAIS; LENA Developmental Snapshot; Receptive Expressive Emergent Language Scales (REEL-3); Preschool Language Scales Fourth and Fifth Editions (PLS-4 and PLS-5); Oral and Written Language Scales (OWLS and OWLS II); North-western University-Children's Perception of Speech (NU-CHIPS); Word Intelligibility by Picture

						Identification (WIPI); Glendonald Auditory Screening Procedure-Word (GASP-W); Multisyllabic Lexical Neighborhood Test (MLNT; Lexical Neighborhood Test (LNT), consonant-nucleus-consonant (CNC); Hearing In Noise Test for Children (HINT-C); AZBio-C (BabyBio); Bamford-Kowal-Bench Speech in Noise (BKB-SIN)
A9	Guo et al. (2020)	China	(Analítico)	544	< 5 anos	Category of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A10	Li et al. (2020)	China	Longitudinal	24	< 4 anos	IT-MAIS; Simplified Short Form of the Mandarin Communicative Development Inventory (SSF-MCDI) - Words and Gestures (W&G) e Words and Sentences (W&S)
A11	Melo et al. (2020)	Brasil	Longitudinal retrospectivo	30	< 3 anos	IT-MAIS; Production Infant Scale Evaluation (PRISE)
A12	Aziz et al. (2019)	Egito	Coorte	90	< 5 anos e 11 meses	Arabic assessment chart of auditory skills: Detection, Identification, Short Term Auditory Memory, Supra-segmental Discrimination, Segmental Discrimination and Linguistic Auditory Processing
A13	Bortfeld et al. (2019)	Estados Unidos	Revisão	----	----	Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS)
A14	Lyu et al. (2019)	China	(Longitudinal e descritivo)	278	< 5 anos	Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A15	Datta et al. (2018)	Reino Unido	Coorte	30	< 3 anos	Nottingham Auditory Milestones (NAMES)
A16	Lu et al. (2018)	China	(Descritivo)	132	< 5 anos	IT-MAIS; MAIS; Early Speech Perception (ESP); MacArthur-Bates Communicative Development Inventory (PCDI)
A17	Ciscare et al. (2017)	Brasil	Retrospectivo	78	< 5 anos e 11 meses	Audiometria em campo livre (250Hz-6KHz); MUSS; IT-MAIS
A18	Li et al (2017)	China	Transversal retrospectivo	143	< 5 anos	Audiometria em campo livre (500Hz, 1kHz, 2kHz e 4kHz); IT-MAIS; Mandarin Early Speech Perception (MESp); Mandarin Pediatric Speech Intelligibility (MPSI)
A19	Obrycka et al. (2017)	Polônia	Prospectivo	122	< 5 anos	LittlEARS Auditory Questionnaire (LEAQ)
A20	Silva et al. (2017)	Brasil	Longitudinal	15	< 5 anos 6 meses	Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC-P1); Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale

						(IT-MAIS/MAIS); Meaningful Use of Speech Scales (MUSS); Glendonald Auditory Screening Procedure Protocol (GASP)
A21	Alvarenga et al. (2015)	Brasil	Descritivo	10	< 5 anos	Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC-P1); IT-MAIS
A22	Gabr et al. (2015)	Egito	(Analítico)	20	< 5 anos e 11 meses	Audiometria em campo livre (500Hz-4KHz); Speech Recognition Threshold (SRT); Speech Detection Threshold (SDT); BERA em campo livre; Speech Evoked CAEPs (S-CAEP); Speech Evoked ABR (S-ABR)
A23	Mahshie et al. (2015)	Estados Unidos	(Observacional)	15	< 5 anos e 11 meses	Set of six speech feature contrasts (/u/-/a/; /u/-/i/; /b/-/d/; /j/-/s/; /d/-/t/; /s/-/t/)
A24	Stuermer et al. (2015)	Alemanha	(Analítico)	18	< 5 anos	LittleEARS Auditory Questionnaire (LEAQ); ECochG
A25	Fang et al. (2014)	Taiwan	(Longitudinal)	84	< 5 anos	Category of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR); Three Speech Perception Tests (Easy sentence, Difficult sentence, Phonemically Balanced Word)
A26	Silva et al. (2014)	Brasil	Caso-controle	5	< 4 anos	Potencial Evocado Auditivo de Longa Latência (PEALL)
A27	Uhler et al. (2014)	Estados Unidos	Descritivo	117 audiologistas	----	IT-MAIS; LittleEARS Auditory Questionnaire (LEAQ); Early Speech Perception Test–Low Verbal (ESP-LV); Northwestern University of Children's Perception of Speech (Elliot & Katz, 1980); Mr. Potato Head task (Robbins, 1993)
A28	Elawady et al. (2013)	Egito	(Transversal)	30	< 5 anos	MAIS; IT-MAIS; Children's Home Inventory for Listening Difficulties (CHILD); Parent's Evaluation of Aural/Oral Performance of Children (PEACH); Auditory Behavior in Everyday Life (ABEL)
A29	Leigh et al. (2013)	Austrália	Retrospectivo	120	< 5 anos	Rossetti Infant Toddler Language Scale (RI-TLS); Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT); Diagnostic Evaluation of Articulation and Phonology (DEAP); Consonant-Nucleus-Consonant (CNC)
A30	Martines et al. (2013)	Itália	Descritivo	28	< 5 anos	Audiometria em campo livre; IT-MAIS; MUSS; Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility

						Rating (SIR)
A31	Park et al. (2013)	Coreia	Revisão de caso retrospectivo	14	< 5 anos	Category of Auditory Performance (CAP); Korean version of Ling's model (K-Ling)
A32	Esser-Leyding et al. (2012)	Alemanha	Longitudinal	765	< 5 anos	Listening Progress Profile (LiP); Monosyllabic-Trochee-Polysyllabic-Word Test (MTP); Monosyllable Closed-Set Test; Tyler Holstad Closed-Set Sentence Test; Monosyllable Open-Set Test; Glendonald Auditory Screening Procedure (GASP); MAIS; MUSS
A33	May-Mederake et al. (2012)	Alemanha	Retrospectivo	22	< 5 anos	TROG-D; AWST-R ("Aktiver Wortschatztest" or active vocabulary test); SETK (Sprachentwicklungstest für Kinder)
A34	Thabet et al. (2012)	Egito	(Analítico)	31	4-5 anos	Audiometria em campo livre; Early Speech Perception test (ESP); Cortical auditory evoked potential (CAEP)
A35	Zhou et al. (2012)	China	Longitudinal	35	< 5 anos	Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A36	Moon et al. (2011)	Coreia	Longitudinal	60	< 5 anos 11 meses	Korean version of Ling's stages (K-Ling); Categories of Auditory Performance (CAP); Sequenced Language Scale for Infants (SELSI)
A37	Sparreboom et al. (2011)	Holanda	(Analítico)	29	< 5 anos	Audiometria com Reforço Visual (VRA); Teste de localização do som; Dutch ATT in quiet; Dutch ATT in noise
A38	Zheng et al. (2011)	China	(Analítico)	39	< 5 anos	IT-MAIS; Mandarin Early Speech Perception (MESP); Mandarin Pediatric Speech Intelligibility (MPSI)
A39	Al-Muhaimeed et al. (2010)	Arábia Saudita	Longitudinal	21	< 5 anos	Listening progress Profile (LiP)
A40	De Raeve et al. (2010)	Bélgica	Retrospectivo longitudinal	52	< 5 anos	Listening Progress profile (LiP); Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A41	Schramm et al. (2010)	Alemanha	Longitudinal	5	< 3 anos	LittleEARS Auditory Questionnaire (LEAQ); Elternfragebogen für Risikokinder 1-2 (ELFRA); Fragebogen zur kindlichen Sprachentwicklung (FRAKIS)
A42	Sevy et al. (2010)	Estados Unidos	Coorte	9	5 anos	Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS)
A43	Phillips et al. (2009)	Reino Unido/Turquia	Longitudinal	118	< 5 anos	Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)

A44	Kubo et al. (2008)	Japão	(Analítico)	68	< 5 anos	Listening in Progress (LiP); Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS); Meaningful Use of Speech Scale (MUSS)
A45	Meinzen-Derr et al. (2007)	Estados Unidos	Descritivo	37	< 5 anos	Auditory Skills Checklist (ASC); IT-MAIS
A46	Wolfe et al. (2007)	Estados Unidos	Retrospectivo	12	< 5 anos	Multisyllabic Lexical Neighborhood Test; Early Speech Perception Test (in quiet and in noise)
A47	Eisenberg et al. (2006)	Estados Unidos	Longitudinal	42	< 5 anos	Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS); Meaningful Auditory Integration Scale (MAIS); Early Speech Perception Test (ESP); Pediatric Speech Intelligibility Test (PSI); Multisyllabic Lexical Neighborhood Test (MLNT); Lexical Neighborhood Test (LNT)
A48	Stacey et al. (2006)	Reino Unido	Transversal	----	< 5 anos	Categories of Auditory Performance (CAP)
A49	Manrique et al. (2005)	Espanha	(Analítico)	58	< 5 anos	Audiometria tonal em campo livre; Vowel identification test; ESP and recognition of disyllabic words; MAIS; MUSS
A50	Nikolopoulos et al. (2005)	Reino Unido	Descritivo	2	< 5 anos	Listening in Progress Profile (LiP); Categories of Auditory Performance (CAP); Tait Video Analysis; Stories-Narratives Assessment Procedure; Profile of Actual Linguistic Skills; Speech Intelligibility Rating (SIR); Profile of Actual Speech Skills; Pragmatics Profile of Everyday Communication Skills; Preschool Language Scale
A51	Manrique et al. (2004)	Espanha	Coorte	130	< 5 anos 11 meses	Audiometría Tonal Liminar; test de Identificación de Vocales; Series de Palabras Cotidianas; test de Bisílabas; test de Frases adaptadas a niños; Peabody; escala general para la valoración de la capacidad expresiva del lenguaje oral de Reynell
A52	Nikolopoulos et al. (2004)	Grécia	Prospectivo e longitudinal	51	< 5 anos	Connected Discourse Tracking (CDT); Category of Auditory Performance (CAP)
A53	Ramirez Inscoc et al. (2004)	Grécia	(Analítico)	16	< 5 anos	Iowa Closed Sentence Test; Speech Intelligibility Rating (SIR)

A54	Svirsky et al. (2004)	Estados Unidos	(Analítico)	75	< 5 anos	Reynell Developmental Language Scales (RDLS-III); MacArthur Communicative Development Inventories (MCDI)
A55	Ciprut et al. (2003)	Turquia	Transversal	24	5 anos	Categories of Auditory Performance (CAP); Speech Intelligibility Rating (SIR)
A56	Sainz et al. (2003)	Espanha e mais países	(Descritivo)	70	< 5 anos	Listening Progress Profile (LiP); Monosyllabic-Trochee-Polysyllabic-Word Test (MTP)
A57	Waltzman et al. (1997)	Estados Unidos	(Descritivo)	37	< 5 anos	Glendonald Auditory Screening Procedure (GASP); PBK Word List; Multisyllabic Lexical Neighborhood Test (MLNT); Lexical Neighborhood Test (LNT)
A58	Uziel et al. (1996)	França	(Longitudinal)	37	< 5 anos	Phoneme detection (detection of the presence or absence of sound); Closed-set word identification from a list of 12 words; Closed-set sentence identification; Open-set speech recognition

Tabela 2: Agrupamento dos estudos por similaridade

Tipo de instrumento	Método de avaliação	Estudos	Resultados principais
Escala/Questionários	<i>Meaningful Auditory Integration Scale (MAIS) / Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS)</i>	A2, A4, A5, A7, A8, A10, A1, A16, A17, A18, A20, A21, A27, A28, A30, A32, A38, A44, A45, A47, A49 (n=21)	O MAIS/IT-MAIS é útil para identificar as habilidade linguísticas iniciais após a implantação coclear (A1,A4, A11, A17), exibindo uma trajetória de desenvolvimento similar a crianças normo-ouvintes (A16, A38), havendo forte relação entre o aumento do escore obtido e o tempo de uso do IC (A2, A10, A21, A30, A32, A44, A47, A49), assim como às habilidades de percepção de fala (A7, A20). O MAIS/IT-MAIS é o questionário parental mais comumente usado em centros de IC (A27, A45).
	<i>Categories of Auditory Performance (CAP)</i>	A2, A3, A6, A9, A14, A25, A30, A31, A35, A36, A40, A43, A48, A50, A52, A55	Há correlação positiva entre o escore obtido no CAP e o tempo de uso do IC (A2, A9, A14, A30, A31, A35, A36, A43, A50, A55), com associação considerável com a idade de implantação coclear (A9, A25, A40, A52, A55), e boa correspondência com exames objetivos (A6). Maiores resultados na escala podem estar associados ao uso de AASI anteriormente ao IC e ao

		(n=16)	suporte familiar forte (A55).
	<i>Speech Intelligibility Rating Scale (SIR)</i>	A2, A3, A6, A9, A14, A25, A30, A35, A40, A43, A50, A53, A55 (n=13)	Melhores escores no SIR mostram relação significativa com o tempo de uso do IC (A2, A9, A14, A30, A35, A43, A50, A53, A55), assim como com a idade de implantação coclear (A25, A40, A55). Há boa correspondência com exames objetivos (A6), bem como ao uso de AASI anteriormente ao IC e ao suporte familiar forte (A55).
	<i>Meaningful Use of Speech Scale (MUSS)</i>	A2, A4, A17, A20, A30, A32, A44, A49 (n=8)	Houve constatação de correlação entre melhores resultados no MUSS e tempo de uso do IC (A2, A17, A20, A30, A32, A44, A49) e com famílias mais participativas no processo terapêutico (A4). Verificou-se associação entre os resultados das categorias de audição e linguagem, em que se influenciam proporcionalmente (A4). Boa correspondência de resultados com exames objetivos (A54).
	<i>LittleEARS® Auditory Questionnaire (LEAQ)</i>	A2, A8, A19, A24, A27, A41 (n=6)	Medidas confiáveis para estabelecer o nível do desenvolvimento auditivo de crianças com IC, com correlação entre melhores escores e idade do implante coclear (A8, A19, A41), tempo de uso do implante coclear (A2, A8) e tempo de uso do AASI antes do implante (A19). É um dos questionários mais comumente aplicado aos pais de crianças com IC (A27).
Testes de observação	<i>Early Speech Perception (ESP)</i>	A16, A18, A27, A34, A38, A47, A49 (n=7)	Capaz de explorar longitudinalmente o reconhecimento precoce de fala (A16, A47), assim como de pares tonais (A18) e padrões silábicos (A49). Boa correlação de resultados com outros questionários e testes (A34, A38). ESP é o teste mais comumente aplicado em crianças de 2 a 3 anos (A27).
	<i>Listening in Progress (LiP)</i>	A32, A39, A40, A44, A50, A56 (n=6)	Útil para acompanhar as mudanças na performance auditiva de crianças pequenas após a implantação coclear (A39). Tem correlação positiva com menor idade de implantação (A40) e maior tempo de uso do IC (A32, A44, A50, A56).
	<i>Glendonald Auditory Screening Procedure (GASP)</i>	A8, A20, A32, A57 (n=4)	Usado para acompanhamento da aquisição das habilidades de escuta (A20) e percepção de fala após o IC (A8, A57), e útil por se estruturar apenas em formato de perguntas (A32). Demonstra

			boa correlação com resultados de outros testes e exames (A20).
Exames auditivos e outras técnicas	Audiometria em campo livre	A1, A17, A18, A22, A30, A34, A37, A49, A51 (n=9)	Padrão-ouro para medição da percepção auditiva e acompanhamento de seus ganhos após a ativação do IC (A1, A18, A51). Há relação entre tempo de uso do IC e melhora dos limiares auditivos (A17, A30, A49).
	Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC)/ <i>Cortical Auditory Evoked Potential</i> (CAEP)	A2, A6, A20, A21, A22, A26, A34 (n=7)	PEAC demonstra a ativação cortical imediata após a programação do dispositivo a depender da idade de implantação e idade da criança (A22), visto que há correlação entre a latência e amplitude do componente P1 e o tempo de uso do implante coclear (A20, A21, A26). A latência de P1 também pode ser considerada um biomarcador não invasivo para avaliar objetivamente os resultados da função auditiva e de fala (A6), assim como o progresso da reabilitação auditiva em crianças surdas com IC (A2, A34).
	<i>Mismatch negative/negativity</i> (MMN)	A2 (n=1)	P1 e MMN podem ser usados como método objetivo para avaliar a eficácia da reabilitação auditiva e de fala em crianças com ICs (A2).
	Potencial Auditivo de Tronco Encefálico com Estímulo de Fala (PEATE-fala)/ <i>Speech-Evoked Auditory Brainstem Response</i> (S-ABR)	A22 (n=1)	PEATE-fala mostrou papel importante do tronco cerebral no processamento sonoro complexo que contribui para processamento a nível cortical (A22).
	<i>Functional Near-Infrared Spectroscopy</i> (fNIRS)	A13, A42 (n=2)	Ideal para avaliar a ativação cerebral evocada por som em usuários de ICs (A13), por detectar respostas corticais significativas aos estímulos de fala em crianças (A42).
	Eletrococleografia/ <i>Electrocochleography</i> (ECochG)	A24 (n=1)	A ECochG quando realizada no pré-operatório tem valor prognóstico para o desenvolvimento do comportamento auditivo após o IC (A24).

DISCUSSÃO

O uso de determinados questionários direcionados aos pais para acompanhamento do desenvolvimento auditivo de crianças pequenas com IC é bem consolidado, se repetindo como escolha entre profissionais que acompanham essa população, como ocorre com os seguintes: *Meaningful Auditory Integration Scale* (MAIS), *Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale* (IT-MAIS), *Categories of Auditory Performance* (CAP), *Speech Intelligibility Rating Scale* (SIR), *Meaningful Use of Speech Scale* (MUSS) e *LittleEARs® Auditory Questionnaire* (LEAQ).

A *Meaningful Auditory Integration Scale* (MAIS) e sua versão para crianças menores de quatro anos de idade *Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale* (IT-MAIS), ambas idealizadas por Robbins, foi o questionário mais citado entre os artigos encontrados, aparecendo em 21 dos 58 artigos selecionados. Trata-se de uma escala com boa validade e confiabilidade que documenta o progresso das habilidades auditivas da criança desde a implantação até quatro anos de uso do IC³. Ela se caracteriza por 10 questões fechadas com cinco possibilidades de resposta (0= nunca; 1= raramente; 2= ocasionalmente; 3= frequentemente; 4= sempre) que se divide em três domínios (comportamento de vocalização, atenção aos sons e atribuição de significado a partir do som) em que os pais informam sobre os comportamentos auditivos das crianças nas situações cotidianas¹². O escore máximo é de 40 pontos e o total deles leva ao encaixe em seis diferentes categorias auditivas, que variam de “não detecta a fala” até “reconhece palavras em conjunto aberto”. O MAIS/IT-MAIS é útil para identificar as habilidades linguísticas iniciais após a implantação coclear^{3,6,8,13}, sendo possível equiparar a trajetória de desenvolvimento a de crianças normo-ouvintes^{14,15}, relacionando fortemente o aumento do escore obtido ao tempo de uso do IC^{2,16,17,18,19,20,21,22}, assim como às habilidades de percepção de fala^{12,23}. Como o questionário se refere à observação dos pais em relação ao comportamento espontâneo de escuta da criança, não é uma medida objetiva, então é indicado que sua aplicação deva ser paralela a outros instrumentos²⁰. Em síntese, o MAIS/IT-MAIS é o questionário parental mais comumente usado em protocolos para crianças com IC^{24,25}.

A escala *Categories of Auditory Performance* (CAP), descrita por Archbold, Lutman e Marshall em 1995, foi a segunda mais citada nos artigos pesquisados,

aparecendo em 16 deles. Ela possui oito categorias dispostas hierarquicamente, desde “não reconhece sons do ambiente” a “usa o telefone com pessoas conhecidas”, que dizem sobre as habilidades das crianças com IC em responder aos estímulos sonoros comuns ao dia a dia¹⁶. Essa escala estabelece correlação positiva entre o escore obtido e o tempo de uso do IC^{16,18,26,27,28,29,30,31,32,33}, e também com a idade de implantação coclear com associação significativa^{26,33,34,35,36}, além de ter boa correspondência com os exames objetivos³⁷. Para mais, maiores resultados na escala podem estar associados ao uso de AASI anteriormente ao IC e ao suporte familiar mais forte³³. Em complemento, foi citado uma vez o CAP II, muito semelhante ao CAP adicionado de mais duas categorias, que se destina a crianças e adultos que fazem uso do IC há muitos anos³⁸.

A *Speech Intelligibility Rating Scale* (SIR), criada por O'Donoghue, Nikolopoulos, Archbold e Tait em 1999, é usada para indicar o quão bem a fala espontânea da criança com IC é compreendida em contextos reais, elencando cinco níveis: de “completamente ininteligível” a “completamente inteligível”^{26,39}. Melhores escores no SIR mostram relação significativa com o tempo de uso do IC^{16,18,26,28,29,31,32,37,39}, assim como com a idade de implantação coclear^{33,35,37}. Há boa correspondência com os resultados de exames objetivos³⁶, bem como ao uso de AASI anteriormente ao IC e ao suporte familiar forte³⁷. Essa escala foi mencionada em 13 artigos.

A chamada *Meaningful Use of Speech Scale* (MUSS), proposta por Robbins e Osberger em 1992, avalia o uso da linguagem oral no dia a dia de crianças com IC, e foi citada em 8 estudos. Ela consiste em 10 perguntas que se agrupam nas seguintes áreas: controle volitivo da fala, uso apenas da fala e a capacidade da criança de modificar sua fala para ser compreendida pelo ouvinte²²; tendo cinco possibilidades de resposta, de “nunca demonstra tal comportamento” a “sempre demonstra tal comportamento”, com escore máximo de 40 pontos. O total de pontos feitos classifica a criança em uma das cinco categorias, sendo elas: 1- Criança não fala e pode apresentar vocalizações indiferenciadas; 2- Criança fala apenas palavras isoladas; 3- Criança constrói frases de 2 ou 3 elementos; 4- Criança constrói frases de 4 ou 5 palavras e inicia uso de conectivos; 5- Criança constrói frases de mais de 5 palavras, usa elementos conectivos, conjuga verbos, é fluente na linguagem oral⁸. Houve constatação de correlação entre melhores escores no MUSS com o tempo de uso do IC^{6,12,16,18,19,20,22} e com famílias mais participativas no

processo terapêutico⁸. Verificou-se associação entre os resultados das categorias de audição e linguagem, em que se influenciam proporcionalmente⁸. A boa correspondência de resultados da escala com exames objetivos também foi apontada¹². Relevante pontuar a lentidão para atingir alto escore nas habilidades de produção de fala avaliadas pelo MUSS²⁰.

O *LittleEARs® Auditory Questionnaire* (LEAQ) foi elaborado por uma equipe de audiologistas pesquisadores de uma empresa de IC, a Med-El, para acompanhamento do desenvolvimento auditivo de crianças com idade auditiva de até dois anos, abrangendo os aspectos receptivo, semântico e competências linguísticas. Ele é composto por 35 questões com “sim” ou “não” para resposta, em que o total de “sim” é o escore final que será comparado ao valor mínimo ou esperado para a criança normo-ouvinte⁴⁰. Esse questionário tem medidas altamente consistentes e confiáveis para estabelecer o nível do desenvolvimento auditivo de crianças com IC, com correlação entre melhores escores e idade da implantação coclear^{7,40,41}, tempo de uso do IC^{16,42} e tempo de uso do AASI antes do IC⁴⁰. Ainda, é um dos questionários mais comumente aplicados aos pais de crianças com IC⁴⁰. Ele foi referido em 6 artigos dentre os incluídos nesta revisão.

Quanto aos testes das habilidades auditivas em crianças pequenas, alguns estudos foram coincidentes em suas escolhas em relação ao *Early Speech Perception* (ESP), *Listening in Progress* (LiP) e *Glendonald Auditory Screening Procedure* (GASP).

O *Early Speech Perception* (ESP), citado em 7 artigos, se divide em quatro categorias hierárquicas em relação a aquisição das habilidades auditivas, sendo detecção (1), percepção de padrões (2), identificação de algumas palavras (3) e identificação consistente de palavras (4). Desse modo, ele é aplicado em crianças a partir de dois anos de idade capazes de escolher entre duas alternativas, pois é necessário criar a correspondência entre o que se ouve e a imagem apresentada ao apontá-la⁴³. O ESP é capaz de explorar longitudinalmente o reconhecimento precoce de fala^{14,21}, assim como de pares tonais⁴⁴ e padrões silábicos¹⁹. Ele é o teste mais comumente aplicado em crianças de 2 a 3 anos²⁴ e tem boa correlação de resultados com outros questionários e testes^{15,45}. São 12 itens que devem ser reconhecidos em conjunto fechado por cada orelha separadamente²¹.

O *Listening in Progress* (LiP), formulado por Archbold em 1994, fornece um perfil do desenvolvimento auditivo ao abranger os comportamentos da criança maior

de um ano de idade em resposta a diferentes sons e a frequência em que isso ocorre, podendo ser marcado como “nunca”, “às vezes” e “sempre” (0, 1 e 2 pontos, respectivamente)⁴⁶. Assim, a criança é exposta a um estímulo sonoro em específico, como som de uma bateria ou de uma vogal, e sua reação de detecção ou discriminação é observada⁴⁷. É uma ferramenta sensível para acompanhar as mudanças na performance auditiva de crianças pequenas após a implantação coclear⁴⁶. Tem correlação positiva com menor idade de implantação³⁵ e maior tempo de uso do IC^{20,22,29,47}. Ele é estruturado em 21 itens e o escore máximo é 42. O uso do LiP foi relatado por 6 artigos.

Já o *Glendonald Auditory Screening Procedure* (GASP) se estrutura em seis etapas: detecção dos sons de Ling (/a/, /i/, /u/, /sh/, /s/ e /m/), discriminação de uma voz feminina ou masculina, discriminação de vogais, discriminação de extensão vocálica, reconhecimento de palavras em conjunto fechado e compreensão de sentenças simples. Para avançar entre as etapas é preciso que a criança tenha um desempenho de 50% ou mais, e a classificação das habilidades de detectar (etapa 1), discriminar (etapas 2, 3 e 4), reconhecer (etapa 5) e compreender (etapa 6) é dada a partir da conclusão de cada teste¹². Usualmente aplicado para acompanhamento da aquisição das habilidades de escuta¹³ e percepção de fala após o IC^{41,48}, e vantajoso por se estruturar apenas em formato de perguntas²². O GASP demonstra boa correlação com resultados de outros testes e exames¹², e foi apontado por 4 estudos.

Acerca dos exames auditivos e outras técnicas, tivemos expostos em consonância a Audiometria em campo livre, o Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC)/*Cortical Auditory Evoked Potential* (CAEP), o *Mismatch negative/negativity* (MMN), Potencial Auditivo de Tronco Encefálico com Estímulo de Fala (PEATE-Fala)/*Speech Evoked Auditory Brainstem Response* (S-ABR), a Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo/*Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS) e a Eletrococleografia/*Electrocochleography* (ECochG).

O exame consenso em 9 estudos incluídos nesta revisão é a audiometria em campo livre^{6,49}, podendo ser condicionada¹⁸ ou com reforço visual⁴⁵, a depender da idade e responsividade da criança, para pesquisa da sensibilidade auditiva (nível mínimo de resposta)⁴⁹. Geralmente são usados tom puro^{18,19} e/ou *warble*⁵⁰ nas frequências de 500Hz, 1kHz, 2kHz e 4kHz^{18,19,44,50,51}, mas alguns estudos descreveram variações entre as frequências de 250Hz a 8kHz^{6,45}. A audiometria é o

padrão-ouro para medição da percepção auditiva e acompanhamento de seus ganhos após a ativação do IC^{49,51}. Há relação entre tempo de uso do IC e melhora dos limiares auditivos^{6,18,19}.

O Potencial Evocado Auditivo Cortical (PEAC)/*Cortical Auditory Evoked Potential* (CAEP) ou Potenciais Evocados Auditivos de Longa Latência (PEALL)/*Long-Latency Auditory Evoked Potentials* (LLAEP), que são respostas eletrofisiológicas de estruturas do sistema auditivo, evidenciam o componente P1, um biomarcador da maturação dessas mesmas estruturas, em que a latência do seu aparecimento indica o grau de desenvolvimento da via auditiva e os limites de sua plasticidade². Assim, a onda positiva gerada pela atividade do circuito tálamo-cortical na presença de sons (P1) se tornou uma medida objetiva para acompanhamento de crianças que realizam a implantação coclear, permitindo seu monitoramento desde a ativação do IC até após anos de estimulação auditiva², como foi retratado em 7 artigos identificados pela busca. Ela também pode estar presente na ativação cortical imediata após a programação do dispositivo a depender da idade de implantação e idade da criança⁵⁰. Os valores de latência do P1 são habitualmente maiores em crianças com IC do que em crianças normo-ouvintes¹⁶, mas sua redução ao longo do tempo com uso frequente do IC¹² está associada à melhora dos comportamentos comunicativos, da percepção de fala, e das habilidades de fala e linguagem^{2,5}, indicando maior funcionalidade da atividade sináptica no sistema auditivo central^{36,45}. O componente P1 também é proficiente para avaliar o progresso da reabilitação auditiva em crianças surdas com IC^{16,45}. Na maior parte dos estudos que tiveram o componente P1 como método de análise da percepção auditiva, foi feito uso combinado dessa medida objetiva a questionários comportamentais.

Salienta-se que o *Mismatch negative/negativity* (MMN), também biomarcador pertencente ao PAEC/CAEP, é uma evidência objetiva do processamento da informação auditiva a nível cortical em relação a sua latência e amplitude, propiciando dados significativos sobre a discriminação auditiva. Logo, como reportado em 1 artigo, o MMN pode ser usado como método objetivo para avaliar a performance auditiva em crianças pequenas com IC, bem como a eficácia da reabilitação auditiva e de fala, principalmente quando associado a P1¹². Entretanto, apesar de enfatizar a possibilidade de realização do exame em crianças por não exigir atenção seletiva, ressaltou como limitação do estudo o tamanho da amostra¹².

À semelhança do Potencial Evocado Auditivo Cortical, que pode empregar estímulos de fala para aquisição do registro, o Potencial Auditivo de Tronco Encefálico com Estímulo de Fala (PEATE-Fala)/*Speech Evoked Auditory Brainstem Response* (S-ABR) adotou sílabas de fala (/da/) a 70 dB NA em campo livre para estudar a hipótese de ele ser um preditor do processamento de fala no nível cortical⁵⁰, como relatado em 1 estudo. Os componentes analisados no Peate-Fala/S-ABR podem ser divididos em uma resposta de início (complexo V-A) e a resposta de frequência seguinte/*Frequency Following Response* (FFR), sendo que a primeira surge como resposta ao início do som e o FFR reflete a frequência fundamental do estímulo⁵⁰. A presença das respostas esperadas, apesar das latências atrasadas nas crianças com IC avaliadas, que pode estar relacionada à dificuldade de percepção de consoantes e vogais, indica algum tipo de processamento de fala no tronco cerebral, do qual a ativação do IC pode implicar melhorias nas conexões neurais e sua sincronia⁵⁰. Portanto, essa é uma ferramenta clínica que mostra papel importante do tronco cerebral no processamento sonoro complexo que contribui para processamento a nível cortical, podendo ser implementada como teste de rotina no acompanhamento pós IC⁵⁰.

Uma técnica inovadora que foi empregada em 2 estudos para acompanhamento de crianças com IC foi a Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo/*Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS), que infere sobre o desenvolvimento auditivo a partir da concentração de oxigenação sanguínea em áreas cerebrais específicas em resposta a um estímulo sonoro. Essa ferramenta é uma alternativa para suplementar a avaliação comportamental de forma objetiva. Ela fornece informações sobre a percepção auditiva diretamente relacionada ao córtex auditivo, e permite acompanhar, ao longo do tempo, a plasticidade cortical após a implantação coclear⁵². A fNIRS identifica as regiões corticais ativadas ao mapear as variações na oxigenação e desoxigenação sanguínea. Esse processo ocorre pela absorção da luz próxima ao infravermelho, emitida por optodos, em resposta à demanda sonora⁵³. A fNIRS é uma opção atrativa considerando sua compatibilidade com os componentes eletromagnéticos do IC, e a viabilidade de uso na população pediátrica. Diferentemente da Ressonância Magnética Funcional (RMF)/*Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), a fNIRS é mais tolerante à movimentação, e mais confortável à criança, podendo ser realizada no colo dos pais^{52,53}. Ademais, a fNIRS é capaz de detectar

respostas corticais significativas aos estímulos de fala em crianças, sendo uma técnica promissora para uso tanto na fase prévia à implantação coclear quanto no acompanhamento pós-implante⁵³.

Por fim, a Eletrococleografia/*Electrocochleography* (ECochG) pré-operatória é uma das ferramentas mais sensíveis para o acompanhamento da função residual da cóclea e do nervo auditivo⁴². O procedimento é realizado sob anestesia geral, e envolve a inserção de uma agulha na cavidade transtimpânica até tocar a parede do promontório, próximo à janela redonda da cóclea. A partir de estímulos sonoros (como cliques alternados e/ou *tone burst*), são evocadas respostas auditivas, incluindo o potencial de ação composto/*compound action potential* e o potencial somatório/*summation potential*⁴². Assim, identificar a presença desses componentes no registro da ECochG no pré-operatório está em correspondência ao valor prognóstico para o desenvolvimento do comportamento auditivo após o IC⁴². Entretanto, há de considerar os fatores pouco favoráveis para o registro da ECochG por necessitar de condições específicas para sua obtenção.

De acordo com o exposto, nota-se que apesar de haver um padrão de práticas clínicas adotadas existe uma variabilidade na escolha dos instrumentos para avaliação da percepção auditiva em crianças pequenas com IC. As escalas e questionários direcionados aos pais, como o MAIS/IT-MAIS, CAP, SIR, MUSS e LEAQ, destacam-se como métodos consolidados na literatura, reforçando sua importância no monitoramento do desenvolvimento auditivo a partir do relato do cotidiano. O MAIS/IT-MAIS foi o instrumento mais frequentemente citado, indicando sua forte aceitação e aplicabilidade clínica, principalmente por identificar o progresso auditivo inicial e por sua correlação com o tempo de uso do IC e com as habilidades de percepção de fala.

Do mesmo modo, os testes comportamentais como ESP, LiP e GASP foram os mais utilizados, principalmente pela capacidade de avaliar habilidades auditivas específicas, como detecção, discriminação e reconhecimento de fala. A correlação desses testes com o tempo de uso do IC e com variáveis como a idade de implantação e o envolvimento familiar reforça sua relevância clínica para mensurar progressos auditivos.

Em relação aos exames objetivos, a audiometria em campo livre permanece como o padrão-ouro, enquanto exames como o PEAC e o MMN têm demonstrado grande potencial como biomarcadores da maturação e plasticidade do sistema

auditivo central. Sua aplicação associada a exames comportamentais mostra-se promissora, especialmente para validar os dados observacionais dos pais e traçar uma análise detalhada do desenvolvimento auditivo da criança. A técnica fNIRS, compatível com o IC e também apropriada a crianças pequenas, surge como uma alternativa viável, oferecendo uma abordagem complementar para avaliar a atividade cortical em resposta aos estímulos auditivos.

No entanto, apesar do consenso em torno de alguns instrumentos, esta revisão evidencia pouca uniformidade nos protocolos utilizados, ficando a critério dos profissionais envolvidos a escolha da bateria de avaliação. Essa realidade pode dificultar a comparação de resultados entre estudos e impactar a padronização das práticas clínicas.

Em síntese, os achados corroboram com a importância de integrar instrumentos objetivos e comportamentais na avaliação da percepção auditiva, considerando a idade da criança, o tempo de uso do IC, a idade de implantação e o contexto familiar, a fim de alcançar um acompanhamento mais abrangente e individualizado.

No que tange às limitações desta revisão, o número exato de crianças até os cinco anos avaliadas não foi descrito em todos os estudos, dificultando a determinação precisa do tamanho da amostra. Além disso, nem todos os estudos apresentaram resultados em relação aos questionários, testes, exames e protocolos empregados na avaliação da percepção auditiva de crianças com IC. Em muitos casos, os instrumentos foram mencionados, mas sem uma associação direta a nenhum desfecho em específico.

Os questionários, testes, exames e protocolos que foram citados de modo menos frequente nos artigos incluídos nesta revisão estão descritos na Tabela 1.

CONCLUSÃO

Observou-se que as escalas e questionários direcionados aos pais, como o MAIS/IT-MAIS, CAP, SIR, MUSS e LEAQ destacam-se como métodos consolidados na literatura, sendo o MAIS/IT-MAIS o instrumento mais frequentemente citado. Entre os testes comportamentais, o ESP, LiP e GASP foram os mais utilizados na prática clínica. No que se refere aos exames objetivos, a audiometria em campo livre permanece como o padrão-ouro, enquanto exames como o PEAC e o MMN

têm ganhado espaço no cenário atual. Nesse contexto, a técnica fNIRS surge como uma alternativa viável e promissora, oferecendo uma abordagem complementar.

Existe uma variabilidade em relação à escolha dos métodos de avaliação da percepção auditiva em crianças pequenas com IC, ficando a critério dos profissionais que acompanham o desenvolvimento auditivo da criança após a implantação coclear a seleção de uma bateria ajustada a cada faixa etária.

O uso combinado de questionários, testes e exames auditivos comportamentais e objetivos é uma prática fundamentada, desde que considere suas propriedades normativas e de validade, para monitorar as respostas aos estímulos sonoros no processo de reabilitação auditiva a curto, médio e longo prazo. É essencial a escolha de instrumentos que tenham boa correlação entre si e abarquem as habilidades auditivas de modo complementar. Essa abordagem permite analisar o progresso na aquisição de tais habilidades de modo comportamental e objetivo, associando os resultados e possibilitando previsões sobre as intervenções, tanto para o mapeamento do IC quanto para a terapia fonoaudiológica dessas crianças.

REFERÊNCIAS

1. Leigh J, Dettman S, Dowell R, Briggs R. Communication development in children who receive a cochlear implant by 12 months of age. *Otology & Neurotology*. 2013;34(3).
2. Alvarenga KF, Vicente LC, Lopes RCF, Ventura LMP, Bevilacqua MC, Moret ALM. Development of P1 cortical auditory evoked potential in children presented with sensorineural hearing loss following cochlear implantation: a longitudinal study. *CoDAS*. 2013;25(6):521-6.
3. Ueda CHY, Magalhães ATM, Sadowski T, Tsuji RK, Goffi-Gomez MVS. Desenvolvimento de habilidades auditivas de crianças no primeiro ano após o implante coclear unilateral e bilateral. *Audiol Commun Res*. 2022;27:e2491.
4. Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ. A sensitive period for the development of the central auditory system in children with cochlear implants: implications for age of implantation. *Ear & Hearing*. 2002;22:532-539.
5. Silva LAF, Couto MIV, Tsujic RK, Bento RF, Matas CG, Carvalho ACM. Estudo da maturação das vias auditivas pós-implante coclear por meio dos

- potenciais evocados auditivos de longa latência. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2014;80(2):131-137.
6. Ciscare GKS et al. Auditory speech perception development in relation to patient's age with cochlear implant. *International Archives of Otorhinolaryngology*. 2017;21(3).
 7. Schramm B, Bohnert A, Keilmann A. Auditory, speech and language development in young children with cochlear implants compared with children with normal hearing. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2010;74:812–819.
 8. Estima NF, Miguel JHS, Azevedo MF, Gil D. Categorias auditivas e de linguagem em crianças usuárias de Implante Coclear. *Distúrb Comun, São Paulo*, 2022;34(3): e55560.
 9. Mashie J, Core C, Larsen MD. Auditory perception and production of speech feature contrasts by pediatric implant users. *Ear & Hearing*. 2015;36(6):653-663.
 10. De Raeve L et al. Quality standard for rehabilitation of young deaf children receiving cochlear implants. *Medicina*. 2023;59:1354.
 11. Demers D, Bergeron F. Effectiveness of rehabilitation approaches proposed to children with severe-to-profound prelinguistic deafness on the development of auditory, speech, and language skills: a systematic review. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2019;62:11:4196-4230.
 12. Silva LAF, Couto MIV, Magliaro FCL, Tsuji RK, Bento RF, de Carvalho ACM, et al. Cortical maturation in children with cochlear implants: Correlation between electrophysiological and behavioral measurement. *PLoS ONE*. 2017;12(2):e0171177.
 13. Melo TM et al. Development of auditory and language skills in children using cochlear implants with two signal processing strategies. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2020;86(6):720-726.
 14. Lu X, Qin Z. Auditory and language development in Mandarin-speaking children after cochlear implantation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2018;107:183-189.
 15. Zheng Y et al. Early prelingual auditory development and speech perception at 1-year follow-up in Mandarin-speaking children after cochlear implantation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2011;75:1418-1426.

16. Wang X et al. Correlation between cortical auditory evoked potential and auditory speech performance in children with cochlear implants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 2023;172:111687.
17. Li G et al. Trajectory of auditory and language development in the early stages of pre-lingual children post cochlear implantation: A longitudinal follow up study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2020;128:109720.
18. Martines F et al. Speech perception outcomes after cochlear implantation in prelingually deaf infants: the Western Sicily experience. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2013;77:707-713.
19. Manrique M et al. Speech perception with the ACE and the SPEAK speech coding strategies for children implanted with the NucleusW cochlear implant. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2005;69:1667-1674.
20. Kubo T et al. Auditory perception and speech production skills of children with cochlear implant assessed by means of questionnaire batteries. *ORL*. 2008;70:22-228.
21. Eisenberg L et al. Speech recognition at 1-year follow-up in the childhood development after cochlear implantation study: Methods and preliminary findings. *Audiol Neurotol*. 2006;11:259–268.
22. Esser-Leyding B, Anderson I. EARS (Evaluation of Auditory Responses to Speech): an internationally validated assessment tool for children provided with cochlear implants. *ORL*. 2012;74:42–51.
23. Akkaplan S, Batuk MO, Sennaroglu G. Auditory perception skills in children receiving simultaneous bilateral cochlear implants: early speech-discrimination results. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2021;278:4689-4696.
24. Uhlera K, Gifford RH. Current trends in pediatric cochlear implant candidate selection and postoperative follow-Up. *American Journal of Audiology*. 2014;23:309-325.
25. Meinzen-Derr J et al. Auditory skills checklist: clinical tool for monitoring functional auditory skill development in young children with cochlear implants. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*. 2007;116(11):812-818.

26. Guo Q et al. The development of auditory performance and speech perception in CI children after long-period follow up. *Am J Otolaryngol*. 2020;41:102466.
27. Park GY et al. Auditory and speech performance in deaf children with deaf parents after cochlear implant.
28. Lyu J, Kong Y, Xu TQ, Dong RJ, Qi BE, Wang S, Li YX, Liu HH, Chen XQ. Long-term follow-up of auditory performance and speech perception and effects of age on cochlear implantation in children with pre-lingual deafness. *Chin Med J*. 2019.
29. Nikolopoulos TP, Archbold SM, Gregory S. Young deaf children with hearing aids or cochlear implants: early assessment package for monitoring progress. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2005;69:175-186.
30. Moon J et al. A new measurement tool for speech development based on Ling's stages of speech acquisition in pediatric cochlear implant recipients. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2011;75:495-499.
31. Phillips L et al. Comparing auditory perception and speech production outcomes: Non-language specific assessment of auditory perception and speech production in children with cochlear implants. *Cochlear Implants Int*. 2009;10(2):92–102.
32. Ciprut A et al. Auditory performance and speech intelligibility results in children with cochlear implants. *Marmara Medical Journal*. 2003;16(1):20-26.
33. Fang H-Y et al. Auditory performance and speech intelligibility of Mandarin-speaking children implanted before age 5. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2014;78:799-803.
34. Nikolopoulos TP, Gibbinb KP, Dyar D. Predicting speech perception outcomes following cochlear implantation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2004;68:137-141.
35. De Raeve L. A longitudinal study on auditory perception and speech intelligibility in deaf children implanted younger than 18 months in comparison to those implanted at later ages. *Otol Neurotol*. 2010;31(8):1261-7.
36. Xiong S , Jiang L, Wang Y, Pan T, Ma F. The Role of the P1 Latency in Auditory and Speech Performance Evaluation in Cochlear Implanted Children. *Hindawi Neural Plasticity*. 2022;6894794.

37. Zhou H, Chen Z, Shi H, Wu Y, Yin S. Comparisons of auditory performance and speech intelligibility in children with cochlear implants placed using different approaches. *Otology & Neurotology*. 2011;33:26-29.
38. Bustos-Rubilar M, Kyle F, Tapia-Mora D, Hormazábal-Reed X, Mahon M. Chilean Spanish transcultural adaptation of CAP-II and SIR scales in an online format for parents of children with hearing aids or cochlear implants.
39. Inscoe JMR, Nikolopoulos TP. Cochlear Implantation in Children Deafened by Cytomegalovirus: Speech Perception and Speech Intelligibility Outcomes. *Otology & Neurotology*. 2004;25:479-482.
40. Obrycka A et al. Validation of the LittleEARS Auditory Questionnaire in cochlear implanted infants and toddlers. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2017;93:107e116.
41. Chweya CM et al. Language and audiological outcomes among infants implanted before 9 and 12 months of age versus older children: a continuum of benefit associated with cochlear implantation at successively younger ages. *Otol Neurotol*. 2021;42:686-693.
42. Stuermer KJ, Beutner D, Streicher B, Foerst A, Felsch M, Lang-Roth R, Walger M. The correlation between ECoChG parameters and early auditory behavior after cochlear implantation in children. *International Journal of Audiology*. 2016; Early Online: 1–7.
43. Wolfe J et al. 1-year postactivation results for sequentially implanted bilateral cochlear implant users. *Otology & Neurotology*. 2007;28:589-596.
44. Li G, Soli SD, Zheng Y. Tone perception in Mandarin-speaking children with cochlear implants. *International Journal of Audiology*. 2017;56:sup2, S49-S59.
45. Thabet MT, Said NM. Cortical auditory evoked potential (P1): A potential objective indicator for auditory rehabilitation outcome. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2012;76:1712-1718.
46. Al-Muhaimeed H. Assessment of auditory performance in young children with cochlear implants. 2010;11:sup1, 240-243.
47. Sainz M et al. Assessment of Auditory Skills in 140 Cochlear Implant Children Using the EARS Protocol. *ORL*. 2003;65:91-96.
48. Waltzman SB et al. Open-set speech perception in congenitally deaf children using cochlear implants. *Am J Otol*. 1997;18(3):342-9.

49. Park LR, Dillon MT, Buss E, Brown KD. Two-year outcomes of cochlear implant use for children with unilateral hearing loss: benefits and comparison to children with normal hearing. *Ear & Hearing*. 2023;44:955-968.
50. Gabr TA, Hassaan MR. Speech processing in children with cochlear implant. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2015;79:2028-2034.
51. Manrique M et al. Hearing and speech in children under 2 years of age with a cochlear implant.
52. Bortfeld H. Functional near-infrared spectroscopy as a tool for assessing speech and spoken language processing in pediatric and adult cochlear implant users. *Developmental Psychobiology*. 2019;61:430-443.
53. Sevy ABG, Bortfeld H, Huppert TJ, Beauchamp MS, Tonini RE, Oghalai JS. Neuroimaging with near-infrared spectroscopy demonstrates speech-evoked activity in the auditory cortex of deaf children following cochlear implantation. *Hearing Research*. 2010;270:39e47.

4.2. Artigo 2

Respostas corticais em crianças para diferentes estímulos auditivos: análise da Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS)

RESUMO

Objetivos: Desenvolver e testar um protocolo baseado em Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) para avaliar a resposta auditiva cortical em crianças menores de cinco anos. **Métodos:** Estudo descritivo e transversal realizado com 19 crianças normo-ouvintes com idade entre 12 e 54 meses. Os procedimentos para a coleta de dados incluem a avaliação audiológica, a aplicação do *LittleEARS® Auditory Questionnaire* e o registro da resposta auditiva cortical por meio da fNIRS. Os dados da fNIRS foram processados no MATLAB em conjunto com as funções do software HOMER2. A análise da resposta hemodinâmica foi feita por meio das medições das concentrações de oxihemoglobina (HbO) e desoxihemoglobina (HbR) na presença dos diferentes tipos de estímulo para cada um dos canais e em seguida por regiões de interesse. **Resultados:** Foi elaborado um protocolo de estímulos auditivos (tom puro, *International Speech Test Signal* - ISTS e leitura de história infantil) para registro da fNIRS que foi posteriormente aperfeiçoado para aumentar a caracterização, a consistência e a confiabilidade das respostas. Tal protocolo mostrou-se viável, dado que foi possível captar as respostas da hemodinâmica cerebral a partir da sensibilidade aos estímulos auditivos, e houve ativação neural diferenciada para esses sinais. O tom puro apresentou ativação cortical mais difusa, desencadeando alteração da oxigenação nas regiões temporal, parietal, occipital e frontal, porém inesperadamente lateralizada ao hemisfério esquerdo. O ISTS e a leitura de história apresentaram ativação bilateral e de regiões temporais, que são padrões esperados em resposta à fala. **Conclusão:** Apesar da variabilidade nos perfis de ativação de regiões corticais em resposta aos diferentes estímulos auditivos entre as crianças normo-ouvintes na HbO e na HbR, tais achados concentram-se nas regiões temporais medial e posterior, indicando resultado a nível de grupo, e viabilizando tal expectativa de desfecho também nas crianças com perda auditiva. Desse modo, a fNIRS se revela como uma técnica muito promissora para avaliação cortical do desenvolvimento auditivo em crianças.

1. INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento da linguagem e da fala, a audição é precursora. Portanto, a investigação desde os primeiros dias de vida de possíveis alterações que possam acometer a integridade do sistema auditivo periférico e central é crucial¹, para que, se necessário, a intervenção seja precoce².

O período considerado de maior plasticidade do sistema auditivo central é de três anos e meio de idade³, pois até os quatro anos após o nascimento há uma massiva reorganização do córtex cerebral a partir dos estímulos sonoros recebidos e das sinapses criadas³. Logo, o acompanhamento do desenvolvimento auditivo nesse período se torna muito importante.

O ideal é que o diagnóstico da perda auditiva em crianças e a adaptação de dispositivos, como o Aparelho de Amplificação Sonora Individual (AASI) ou o Implante Coclear (IC), sejam realizados o quanto antes, para aproveitar o espaço de tempo sensível em que o cérebro estará mais receptivo aos estímulos sonoros ao interagir com o ambiente e a aprender a escutar⁴.

Desse modo, a avaliação da audição na primeira infância deve ser pensada a partir de métodos que tenham algumas especificidades⁴. Essa tarefa pode ser desafiadora dado que o tempo de atenção reduzido e a dificuldade de compreender e seguir instruções é característico dessa faixa etária⁵, que são obstáculos a serem contornados a fim de obter informações confiáveis sobre a percepção auditiva e seu desenvolvimento.

A Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo/*Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS) é proposta como uma técnica alternativa, tendo seu uso referenciado mundialmente na população pediátrica^{1,5}. A fNIRS se diferencia de métodos invasivos e é compatível com dispositivos auditivos, principalmente com o IC que possui componentes ferromagnéticos. Ela também é silenciosa, portátil e menos sensível à movimentação, o que viabiliza ser confortável à criança por poder avaliá-la acordada e acomodada no colo dos pais^{1,6,7}.

A fNIRS se caracteriza por avaliar a ativação funcional no cérebro por meio de fontes de luz visível na faixa do espectro eletromagnético próximo ao infravermelho ao identificar componentes moleculares fotossensíveis do tecido biológico, em que parte dessa luz é absorvida pelo tecido em foco, e a mudança da oxigenação sanguínea, a níveis de fluxo e volume, em resposta a um estímulo, será

lida como ativação neuronal, possibilitando o monitoramento das concentrações de oxihemoglobina (HbO) e desoxihemoglobina (HbR)^{1,8,9,10}. Os elementos que compõem a fNIRS são fonte de laser, detector, tela de monitor e conversor óptico, sendo as fontes e os detectores posicionados na cabeça, gerando uma trajetória da luz entre a fonte e o detector⁷.

O objetivo deste estudo foi desenvolver e testar um protocolo baseado em Espectroscopia Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS) para avaliar a resposta auditiva cortical em crianças menores de cinco anos. Especificamente, buscou-se verificar a viabilidade do protocolo, analisar os padrões de ativação cortical em resposta a diferentes tipos de estímulos auditivos e explorar potenciais aplicações na avaliação do desenvolvimento auditivo nesta faixa etária, a fim de compreender a organização das estruturas envolvidas no processamento auditivo¹¹ e criar bases para interpretar a reorganização esperada no processo de reabilitação auditiva.

2. METODOLOGIA

2.1. Tipo e local do estudo

Trata-se de estudo descritivo e transversal, desenvolvido no Ambulatório de Audiologia do Hospital São Geraldo e no Centro de Tecnologia em Medicina Molecular da Faculdade de Medicina da UFMG (CTMM).

2.2. Participantes

Foram recrutadas 31 crianças entre 1 e 5 anos de idade para participar deste estudo. Deste total, quatro crianças não atenderam aos critérios de exclusão devido a alterações condutivas na audição indicadas pelos resultados dos exames, sendo encaminhadas para avaliação otorrinolaringológica, e oito crianças não toleraram a permanência da touca para coleta de dados por meio da fNIRS. As crianças foram convidadas por chamada pública em postagens nas redes sociais e compartilhamento em grupos e comunidades direcionadas a mães e pais.

Participaram da amostra final do estudo 19 crianças normo-ouvintes com idades entre 12 e 54 meses ($\bar{x}$ =38,4/dp=12,3), sendo 13 do sexo masculino e 6 do sexo feminino.

Os critérios de inclusão foram: apresentar audição dentro dos padrões de normalidade para a faixa etária, não ter queixas relacionadas à audição, resultado normal na Triagem Auditiva Neonatal (TAN) e a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Já os critérios de exclusão foram os seguintes indicadores de risco para perda auditiva: infecções crônicas do ouvido médio, perfuração do tímpano causada por infecção ou lesão, anomalias craniofaciais, síndromes e distúrbios neurológicos.

2.3. Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

2.3.1. Avaliação audiológica

Todas as crianças incluídas foram avaliadas auditivamente de acordo com os métodos apropriados para a idade, sendo i e ii para crianças de 0 a 3 anos, e i, ii e iii para crianças maiores de 3 anos, conforme sua disposição e colaboração:

- i. Emissões Otoacústicas Transientes (EOAT) com click não linear aproximadamente a 80 dB, realizada com o equipamento *Titan* da *Interacoustics*, como padrão de normalidade da relação S/R > 6 dB em pelo menos quatro frequências testadas;
- ii. Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico (PEATE) com estímulo *CE-chirp*, realizado com o equipamento *Eclipse* da *Interacoustics*, considerando como critério de normalidade a presença da onda V a 35 dB NA e sua replicabilidade;
- iii. Audiometria Tonal e/ou Condicionada com tom puro ou tom modulado *warble*, realizada com equipamento AD629 da *Interacoustics*, considerando como critério de normalidade limiares auditivos em 500Hz, 1kHz, 2kHz e 4kHz menores que 20 dB NA.

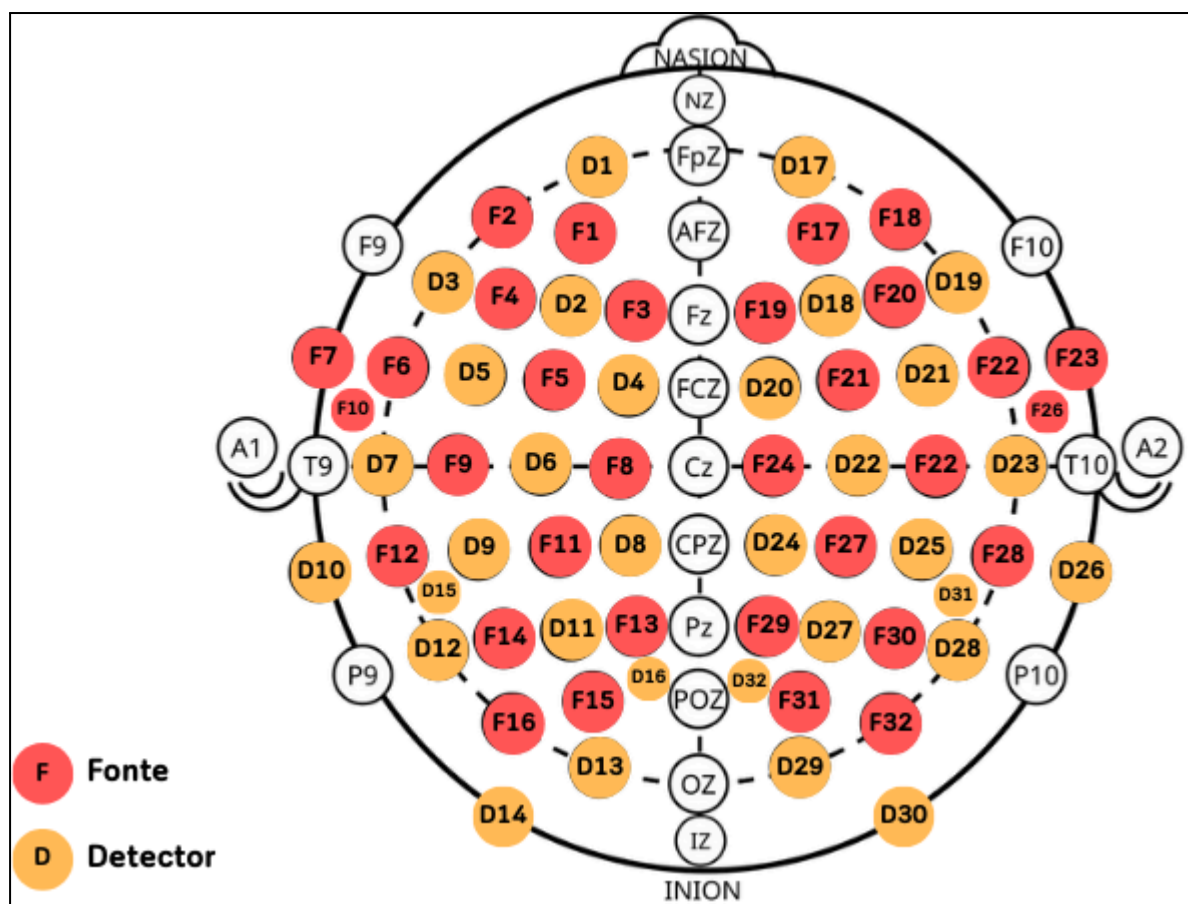
Em seguida, o questionário *LittleEARs® Auditory Questionnaire* (LEAQ)¹² foi aplicado aos pais. Esse instrumento informa sobre os aspectos receptivo, semântico e competências linguísticas do desenvolvimento auditivo. Ele é composto por 35 questões com opção de resposta “sim” ou “não”, em que o total de “sim” é a pontuação final que será comparada ao valor mínimo ou esperado para a criança

normo-ouvinte em determinada faixa etária. Todas as crianças apresentaram idade auditiva equivalente à sua idade cronológica.

2.3.2. Registro da resposta auditiva cortical por meio da fNIRS

Os registros da fNIRS foram coletados por meio do equipamento *NIRScout Tandem 1616* (*NIRx Medical Technologies, Glen Head*). Foi utilizada uma touca disposta de uma combinação de trinta e duas fontes e trinta e dois detectores que formam 92 canais alinhados sobre a cabeça, cobrindo bilateralmente as regiões frontal, parietal, temporal e occipital. As fontes, detectores e canais foram distribuídos de forma simétrica entre os dois hemisférios. O posicionamento dos optodos seguiu a orientação do Sistema Internacional 10-20 de eletroencefalografia, com distância entre eles de 2 a 3 cm (Figura 1).

Figura 1: Posicionamento dos optodos para fNIRS



Para a aquisição, o perímetro cefálico da criança era medido e a posição Cz era marcada para melhor disposição da touca. A criança era, então, acomodada no colo do responsável ou sentava-se sozinha na cadeira diante de uma tela que exibia um desenho sem som como distrator (Figura 2). A calibração para verificar a qualidade do sinal era realizada e o registro era iniciado quando a classificação da qualidade era boa-excelente.

O protocolo utilizou três tipos de estímulos auditivos (tom puro, ISTS e leitura de história infantil), que foram selecionados de acordo com revisão bibliográfica e apresentados por meio de um alto falante em campo livre, na distância de 50 centímetros do ouvinte, a 60 dB NPS, de forma intercalada com tempos de descanso, conforme literatura atual sobre fNIRS¹. Em um primeiro momento foi feito um teste piloto desse protocolo e a partir de uma pré-análise ele foi modificado para compor a coleta e análise das respostas.

Figura 2: Criança com a touca posicionada para registro da fNIRS



(Fonte: Arquivo dos autores. Foto autorizada pelos responsáveis.)

Durante o registro, as notações sobre início e término de cada estímulo eram feitas, assim como a marcação em *triggers* específicos para cada tipo de estímulo. As movimentações e ações da criança que poderiam interferir na captação do sinal eram também anotadas indicando o tempo exato em segundos em que ocorreram.

3. ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados obtidos da fNIRS foi processada no MATLAB (*MATrix LABoratory*) em conjunto com as funções do *software* HOMER2. Foram aplicados filtros para remover artefatos de movimento e frequências indesejadas no sinal a fim de melhorar a qualidade dos dados.

Os dados foram segmentados e alinhados ao cronograma de estímulos sonoros. O período de silêncio anterior ao estímulo foi considerado como linha de base para criar o comparativo com a resposta durante a apresentação do estímulo auditivo.

A análise da resposta hemodinâmica foi feita por meio das medições das concentrações de HbO e HbR na presença dos diferentes tipos de estímulo para cada um dos canais e em seguida por regiões de interesse (*regions of interest* - ROIs).

A medida composta de ativação cerebral, baseada na observação da dinâmica de variação nas concentrações de HbO e HbR, fornece informações sobre a atividade neuronal em uma ROI em resposta ao estímulo sonoro. O aumento na concentração de HbO indica maior fluxo sanguíneo e oxigenação cerebral, associados à ativação neuronal. Por outro lado, a diminuição na concentração de HbR durante a ativação indica maior demanda metabólica na região ativada.

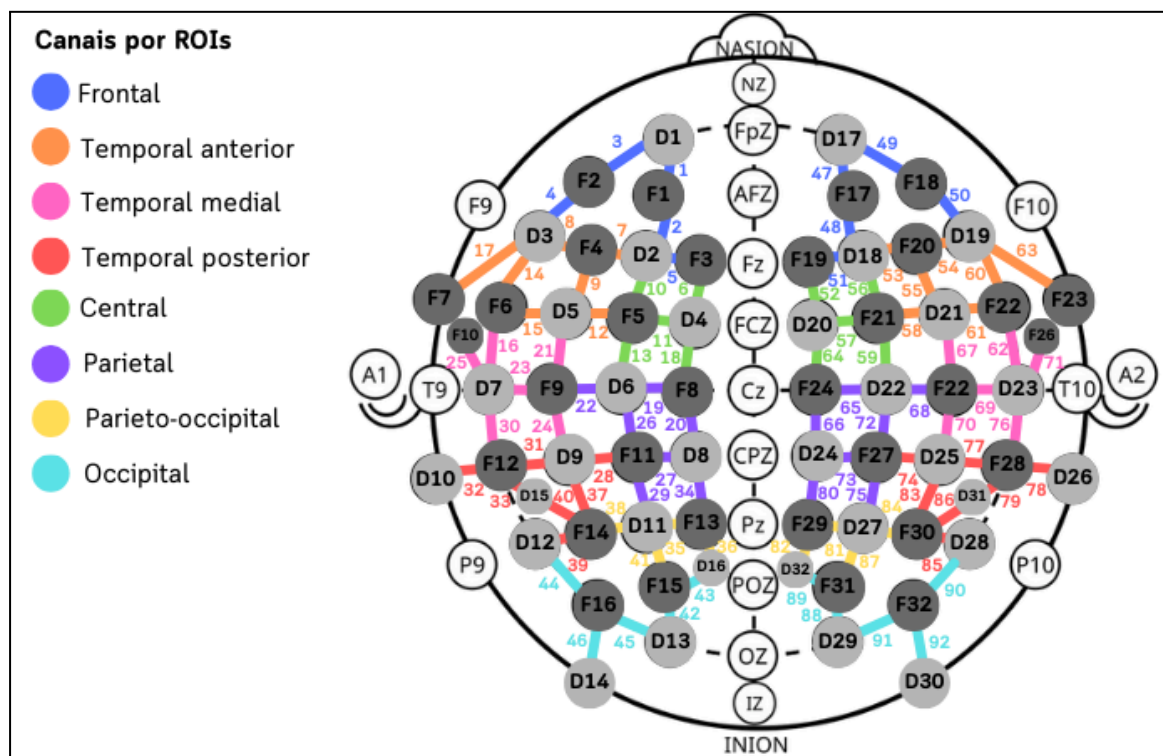
Os agrupamentos por ROIs são apresentados na Tabela 1 e a representação gráfica do mapa dos canais está exposta na Figura 3.

Tabela 1: ROIs e seus respectivos canais

Região de interesse (ROI)	Hemisfério	Canais selecionados
Frontal	Direito	47, 48, 49, 50, 51
	Esquerdo	1, 2, 3, 4, 5

Temporal anterior	Direito	53, 54, 55, 58, 60, 61, 63
	Esquerdo	7, 8, 9, 12, 14, 15, 17
Temporal medial	Direito	62, 67, 69, 70, 71, 76
	Esquerdo	16, 21, 23, 24, 25, 30
Temporal posterior	Direito	74, 77, 78, 79, 83, 85, 86
	Esquerdo	28, 31, 32, 33, 37, 39, 40
Central	Direito	52, 56, 57, 59, 64
	Esquerdo	6, 10, 11, 13, 18
Parietal	Direito	65, 66, 68, 72, 73, 75, 80
	Esquerdo	19, 20, 22, 26, 27, 29, 34
Parieto-occipital	Direito	81, 82, 84, 87
	Esquerdo	35, 36, 38, 41
Occipital	Direito	88, 89, 90, 91, 92
	Esquerdo	42, 43, 44, 45, 46

Figura 3: Mapa dos canais e seus agrupamentos em ROIs



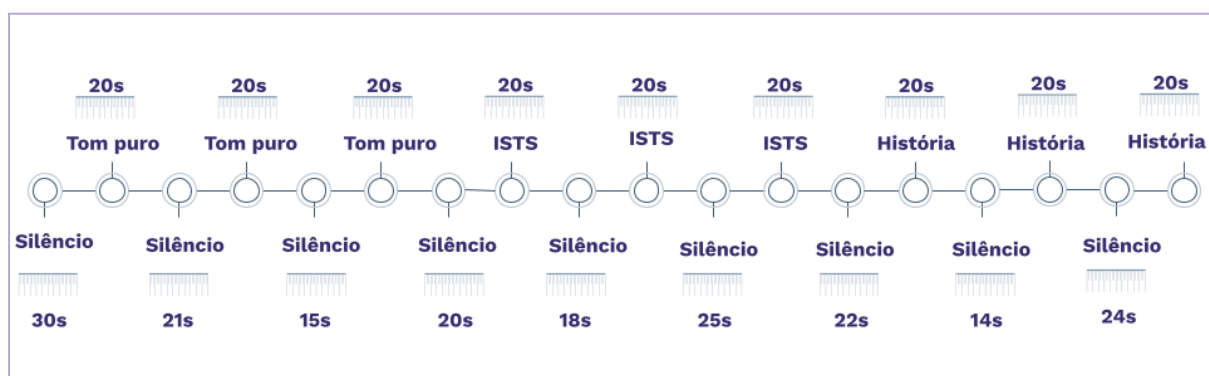
3.1. Aspectos éticos

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFMG, sob parecer nº 2.980.405 (CAAE 97831218.7.0000.5149). Todos os responsáveis pelos participantes da pesquisa assinaram o TCLE e o Termo de autorização de uso de imagem e som para fins acadêmicos.

4. RESULTADOS

O protocolo para registro da fNIRS inicialmente criado com duração de 5 minutos e 48 segundos era dividido em blocos de estimulação com duração de 20 segundos cada, com três apresentações de cada estímulo, intercalados com períodos de silêncio de tempo variável. O primeiro estímulo era o tom puro na frequência de 1kHz; seguido de estímulo para mapeamento de fala denominado *International Speech Test Signal* (ISTS)¹³, gravado a partir da leitura de vinte e um falantes nativos de seis idiomas diferentes (inglês, árabe, chinês, francês, alemão e espanhol); e, por último, gravação da leitura de um trecho da história do Menino Maluquinho do Ziraldo por uma voz feminina (150Hz-250Hz). Todos os estímulos foram apresentados com padrão de intensidade de 60 dB NPS, que é considerado próximo à fala habitual¹⁴. Antes de iniciar a estimulação pelo protocolo, era esperado 30 segundos de silêncio para estabelecer a linha de base (Figura 4).

Figura 4: Protocolo inicial de estimulação auditiva



Para aumentar a caracterização, a consistência e a confiabilidade das respostas, e ter menor chance de habituação aos estímulos sonoros, após ser

testado, o protocolo foi aperfeiçoado com as seguintes modificações: o tempo de estimulação do bloco de tom puro foi reduzido para 5 segundos e do ISTS para 15 segundos; os blocos de silêncio foram ainda mais aleatorizados em relação a duração com variações de 7 a 18 segundos, com média de duração de 12,3 segundos; aumentou o número de repetições de cada estímulo para 10 apresentações e, conseqüentemente, a duração do protocolo como um todo, passando a ter 12 minutos e 48 segundos; e a apresentação dos estímulos também foi aleatorizada. Os blocos de leitura de história com duração de 20 segundos foram mantidos assim como o bloco de silêncio inicial de 30 segundos para estabelecer a linha de base (Figura 5).

Figura 5: Protocolo de estimulação auditiva aperfeiçoado



A análise dos resultados foi dividida em duas etapas, sendo a primeira feita por canais individualmente, em que houve variabilidade das respostas das crianças aos diferentes estímulos ao considerar as concentrações de HbO e HbR, e a diferença entre elas foi muito grande, não sendo possível encontrar resultados de grupo. Assim, agrupar os canais em ROIs foi a alternativa encontrada para identificar respostas mais robustas.

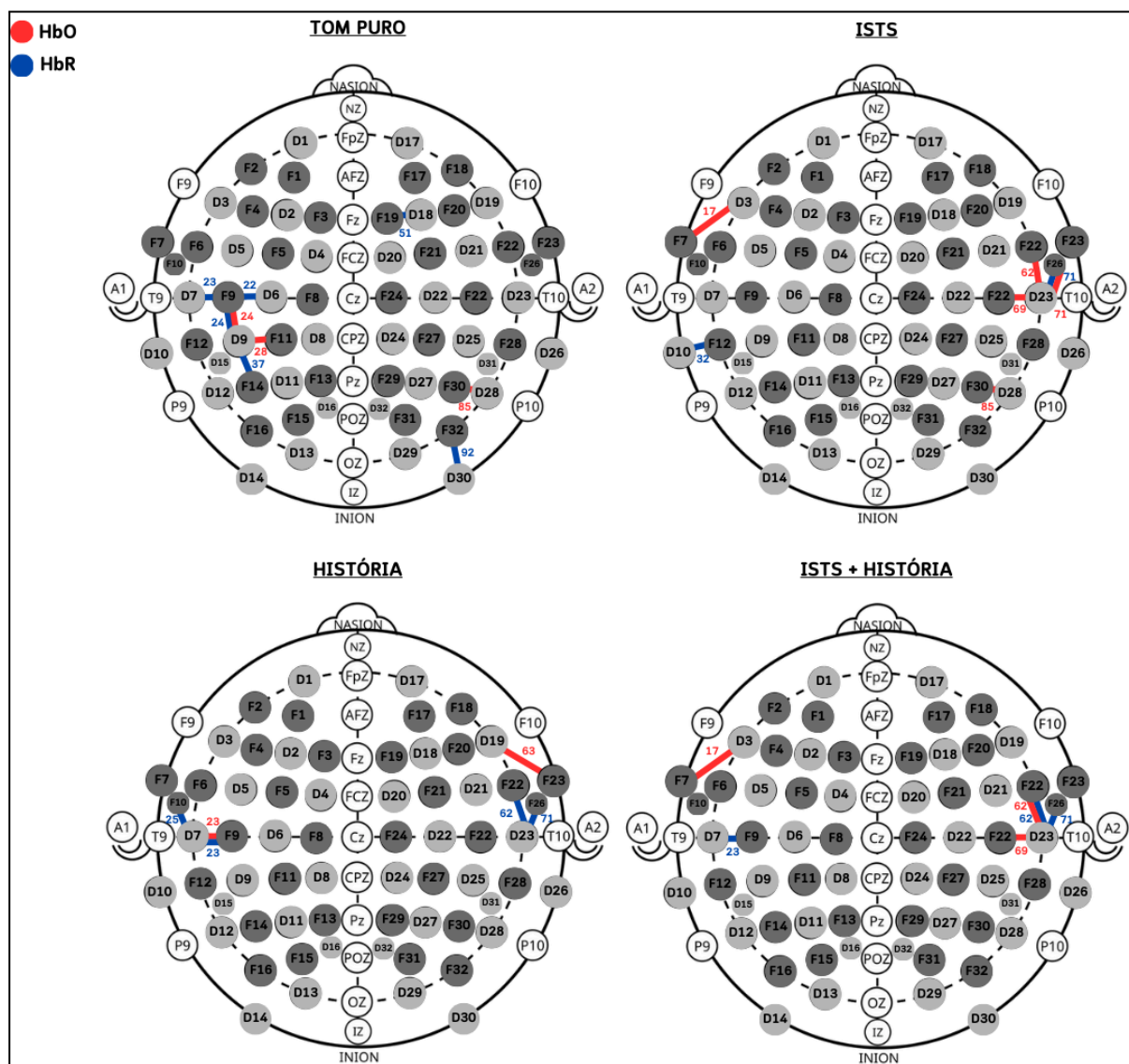
Nesta segunda etapa da análise, por ROIs, as crianças normo-ouvintes apresentaram maior ativação, ao observar os padrões de resposta de HbO, nas regiões temporais medial e posterior do hemisfério esquerdo, e posterior do hemisfério direito, ao estímulo tom puro. Ao observar HbR, houve maior ativação das regiões temporais medial e posterior, e parietal do hemisfério esquerdo, e também frontal e occipital do hemisfério direito.

Em resposta ao estímulo ISTS foram ativadas as regiões temporais medial e posterior no hemisfério esquerdo, e temporal anterior no hemisfério direito, ao

observar HbO. As regiões temporal posterior no hemisfério esquerdo e temporal medial no hemisfério direito foram ativadas ao observar HbR.

Por fim, na leitura de história houve ativação das regiões temporal medial no hemisfério esquerdo e temporal anterior no hemisfério direito, ao observar HbO. Ao observar HbR, as regiões temporal medial no hemisfério esquerdo e temporal medial no hemisfério direito foram ativadas na presença do estímulo.

Figura 6: Análise hemodinâmica por canais ativados nas ROIs



Ao examinar as respostas aos estímulos linguísticos, que são ISTS e leitura de história, ocorreu ativação das regiões temporal anterior no hemisfério esquerdo e temporal medial no hemisfério direito ao observar HbO, e temporal medial no hemisfério esquerdo e temporal medial no hemisfério direito ao observar HbR.

A Figura 6 ilustra graficamente os canais ativados ao considerar as concentrações de HbO e HbR para fins de resultado em resposta a cada tipo de estímulo.

5. DISCUSSÃO

Apesar da variabilidade nos perfis de ativação de regiões corticais em resposta aos diferentes estímulos auditivos entre as crianças normo-ouvintes na HbO e na HbR, tais achados concentram-se nas regiões temporais anterior, medial e posterior.

Como esperado, nota-se que o tom puro apresenta ativação cortical mais difusa por ser um estímulo auditivo simples, sem significado linguístico, visto que desencadeia a alteração da oxigenação nas regiões temporal, parietal, occipital e frontal, gerando atividade e propiciando informações sobre o desenvolvimento neural funcional¹. Entretanto, a resposta hemodinâmica lateralizada ao hemisfério esquerdo foi uma descoberta surpreendente, pois encontra-se em outros estudos aumento da HbO e da HbR em regiões auditivas temporais bilaterais, muitas vezes extrapolando para as regiões parietal, occipital e pré-frontal¹.

No entanto, o ISTS e a leitura de história, que estão relacionados à linguagem como grande área, apresentam ativação bilateral e de regiões temporais, que são padrões esperados quando há variação da estrutura temporal¹⁵, como na fala, que contém elementos fonéticos, de entonação e prosódia^{1,16}. Pressupõe-se que os contrastes fonéticos ativam a região temporal do hemisfério esquerdo, enquanto os contrastes prosódicos ativam a região temporal do hemisfério direito, que é importante no processamento sensorial de sinais emocionais da fala, parte essencial na aquisição da linguagem¹. A atividade neural na presença de estímulos prosódicos são altamente correlacionados ao bom desempenho comunicativo de crianças, indicando sensibilidade neural para a percepção da variação de propriedades acústicas da fala¹⁶.

Em muitos estudos, optar pelo sistema de multicanais, em que há maior números de canais acoplados à touca, é a escolha mais comum, em virtude de cobrir mais extensamente as zonas cerebrais de estudo, porém há o aumento do peso e tamanho da touca, o que dificulta no posicionamento devido dos optodos à cabeça, e pode gerar mais artefatos de movimentos excessivos⁷. A heterogeneidade

do perímetro cefálico entre as crianças pela diferença de idade também pode influenciar no posicionamento dos optodos, uma vez que eles podem não estar dispostos exatamente no mesmo ponto. Por isso, agrupar em ROIs, diminuindo o número de canais e focando nas áreas que se espera ativação com base nos estímulos usados é uma possibilidade interessante, assim como foi feito nesta pesquisa.

O registro da fNIRS na etapa de coleta de dados foi realizado com o protocolo inicial ou sua versão aperfeiçoada. É relevante mencionar que este fato não afeta a análise dos dados, pois os dados são segmentados em blocos correspondentes a cada estímulo e examinados como um recorte de determinado estímulo no tempo, assegurando a consistência dos resultados, independentemente da versão do protocolo adotada. O protocolo aperfeiçoado contou com um aumento do tempo de gravação com maior número de blocos de estímulos, o que promoveu uma maior segurança na coleta das respostas.

Este é um estudo piloto, em que foi elaborado e testado um protocolo específico de estímulos sonoros distintos, que visa compreender a ativação de regiões corticais relacionadas à fala e a linguagem para estabelecer parâmetros de normalidade para que futuramente a fNIRS seja uma técnica útil também no monitoramento do desenvolvimento auditivo de crianças com perda auditiva, principalmente as que realizam a implantação coclear¹⁵. Tal protocolo mostrou-se viável, dado que foi possível captar as respostas da hemodinâmica cerebral a partir da sensibilidade aos estímulos auditivos, incluindo a fala, havendo ativação neural diferenciada para esses sinais, à medida que a variação temporal provocou o aumento da atividade hemodinâmica que advém de modulações acústicas rápidas, principalmente para a percepção de fonemas¹.

Ao considerar que algumas crianças são mais beneficiadas do que outras com o uso do IC e que existe grande variabilidade em como elas percebem a fala e estímulos auditivos de outra natureza com o dispositivo^{17,18}, analisar a experiência antes e a partir da implantação coclear em questão de reorganização cortical durante o período sensível de desenvolvimento^{19,20}, permite alcançar informações sobre quais as razões da disparidade dos resultados, além de tentar prever prognósticos e traçar um plano de reabilitação mais preciso⁶.

Assim, se as regiões corticais relacionadas à linguagem estão sendo ativadas como esperado^{18,21}, de acordo com as referências baseadas nos resultados das

crianças normo-ouvintes, é possível prever as chances que a criança com IC têm de desenvolver a fala e a linguagem, propriamente, pois constatar a dominância das áreas temporais do hemisfério esquerdo é um precursor neural no que concerne também à aquisição da linguagem¹. Do mesmo modo, é importante identificar precocemente quais delas estão sendo pouco beneficiadas com o IC com o propósito de interceder objetivamente nessa trajetória para que não haja prejuízos também psicossociais em processos que envolvam habilidades que dependem da capacidade de ouvir^{11,17,22}.

Por fim, acompanhar o desenvolvimento auditivo na infância por meio da ativação de determinadas regiões corticais em resposta à recepção e o processamento de sons que carregam distintos significados é um grande avanço técnico para conhecimento das funções cerebrais^{7,23}. A fNIRS demonstra ser relevante para medir respostas corticais nas ROIs relacionadas à percepção auditiva como um retrato de grupo, mas há de ressaltar a variabilidade dos resultados entre as crianças participantes e também a pouca resolução espacial desta ferramenta, o que é reportado pela literatura¹⁵.

Há muitas perguntas a serem respondidas para entender as diferentes formas de ativação diante de um mesmo estímulo, mas a concentração das respostas nas regiões intrinsecamente associadas à fala e à linguagem é também correspondente às evidências da literatura que investigaram a relação das habilidades auditivas e o neurodesenvolvimento^{15,22}, e nos orienta para pesquisas futuras.

6. CONCLUSÃO

Em síntese, o protocolo criado mostrou-se viável, dado que foi possível captar as respostas da hemodinâmica cerebral a partir da sensibilidade aos estímulos auditivos, incluindo a fala, havendo ativação neural diferenciada para esses sinais. A ativação cortical em resposta aos diferentes estímulos auditivos se concentrou nas regiões temporais anterior, medial e posterior, ainda que diante da variabilidade entre as crianças, indicando um resultado homogêneo de grupo, e viabilizando tal expectativa de desfecho também nas crianças com perda auditiva.

A proposta de protocolo de estímulos auditivos elaborada, aprimorada e testada por este estudo é um progresso para a pesquisa com fNIRS. No entanto,

para que haja mais robustez em relação aos resultados, é necessário que o protocolo seja aplicado em uma amostra maior, de modo a assegurar reprodutibilidade e confiabilidade, para que nos aponte conclusões mais definidoras. É possível, ainda, adaptar o protocolo para testar o desenvolvimento auditivo apenas com a leitura de história, que é o estímulo que envolve mais elementos linguísticos e que teve respostas hemodinâmicas mais expressivas.

Diante disso, a fNIRS se destaca como uma técnica muito promissora para a avaliação cortical do desenvolvimento auditivo em crianças, particularmente por ser um método objetivo e conciliável com as especificidades da infância para medição da percepção auditiva.

REFERÊNCIAS

1. Fontes AA, Miranda DM, Resende LM. Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho e processamento sensorial auditivo em lactentes. *Rev. CEFAC*. 2016;18(4):965-973.
2. Sharma A, Dorman MF, Kral A. The influence of a sensitive period on central auditory development in children with unilateral and bilateral cochlear implants. *Hearing Research*. 2005;203:134-143.
3. Wieringen A, Wouters J. What can we expect of normally-developing children implanted at a young age with respect to their auditory, linguistic and cognitive skills?. *Hearing Research*. 2015;322:171-179.
4. Kral A, Sharma A. Developmental neuroplasticity after cochlear implantation. *Trends in Neurosciences*. feb 2012;35(2):111-122.
5. Schramm B, Bohnert A, Keilmann A. Auditory, speech and language development in young children with cochlear implants compared with children with normal hearing. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2010;74:812–819.
6. Lawler CA, Wiggins IM, Dewey RS, Hartley DEH. The use of functional near-infrared spectroscopy for measuring cortical reorganisation in cochlear implant users: a possible predictor of variable speech outcomes?. *Cochlear Implants International*. 2015;16(S1):31-32.

7. Oliveira SR et al. Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho como ferramenta auxiliar no estudo do desenvolvimento infantil. *Rev Paul Pediatr.* 2015;33(2):230-240.
8. Lawrence RJ et al. Evaluating cortical responses to speech in children: A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Hearing Research* 401 (2021) 108155.
9. Sevy ABG et al. Neuroimaging with near-infrared spectroscopy demonstrates speech-evoked activity in the auditory cortex of deaf children following cochlear implantation. *Hear Res.* 2010;1;270(1-2):39-47.
10. Wang Y, Liu L, Zhang Y, Wei C, Xin T, He Q, Hou X, Liu Y. The neural processing of vocal emotion after hearing reconstruction in prelingual deaf children: a functional near-infrared spectroscopy brain imaging study. *Front. Neurosci.* 2021;15:705741.
11. Saliba J, Bortfeld H, Levitin DJ, Oghalai JS. Functional near-infrared spectroscopy for neuroimaging in cochlear implant recipients. *Hearing Research.* 2016;338:64-75.
12. Leandro FSM, Costa EC, Mendes BCA, Novaes BCAC. LittleEars® – Questionário auditivo: adaptação semântica e cultural da versão em Português Brasileiro em pais de crianças com deficiência auditiva. *Audiol Commun Res.* 2016;21:1-12.
13. Holube I, Fredelake S, Vlaming M, Kollmeier B. Development and analysis of an international speech test signal (ISTS). *Int J Audiol.* 2010;49(12):891-903.
14. Koishi HU et al. Variação da intensidade vocal: estudo da vibração das pregas vocais em seres humanos com videoquimografia. *Rev. Bras. Otorrinolaringol.* 2003;69:4.
15. Harrison SC, Lawrence R, Hoare DJ, Wiggins IM, Hartley DEH. Use of Functional Near-Infrared Spectroscopy to predict and measure cochlear implant outcomes: a scoping review. *Brain Sci.* 2021;11:1439.
16. Chen Y, Luo Q, Liang M, Gao L, Yang J, Feng R, Liu J, Qiu G, Li Y, Zheng Y and Lu S. Children's neural sensitivity to prosodic features of natural speech and its significance to speech development in cochlear implanted children. *Front. Neurosci.* 2022;16:892894.
17. Pollonini L, Olds C, Abaya H, Bortfeld H, Beauchamp MS, Oghalai JS. Auditory cortex activation to natural speech and simulated cochlea implant

- speech measured with functional near-infrared spectroscopy. *Hearing Research*. 2014;309:84-93.
18. Zhou X, Feng M, Hu, Y, Zhang C, Zhang Q, Luo X, Yuan W. The Effects of Cortical Reorganization and Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Deaf People and Cochlear Implant Users. *Brain Sci*. 2022;12: 1150.
 19. Sharma A, Nash AA, Dorman M. Cortical development, plasticity and re-organization in children with cochlear implants. *Journal of Communication Disorders*. 2009;42:272-279.
 20. Martínez-Beneyto P, Moranto A, Pitarch MI, Latorre E, Platero A, Marcob J. Pediatric cochlear implantation in the critical period of the auditory pathway, our experience. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2009;60(5):311-317.
 21. Defenderfer J et al. Frontotemporal activation differs between perception of simulated cochlear implant speech and speech in background noise: An image-based fNIRS study. *NeuroImage*. 2021;240:118385
 22. McKay CM, Shah A, Seghouane AK, Zhou X, Cross W, Litovsky R. Connectivity in language areas of the brain in cochlear implant users as revealed by fNIRS. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2014;894:327-335.
 23. Zhou X-Q, Zhang Q-L, Xi X, Leng M-R, Liu H, Liu S, Zhang T, Yuan W. Cortical responses correlate with speech performance in pre-lingually deaf cochlear implant children. *Front. Neurosci*. 2023;17:1126813.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste trabalho evidencia-se a importância dos instrumentos padronizados recomendados pela literatura científica pertencentes a diferentes domínios, objetivos e comportamentais, para avaliação do desenvolvimento auditivo na infância. Eles são os recursos que nos permitem compreender a evolução da percepção auditiva e a organização das estruturas envolvidas no seu processamento, principalmente durante o período sensível, no acompanhamento da aquisição das habilidades auditivas e de linguagem, e entender o momento de intervir nesta trajetória quando for preciso.

Incorporar novas técnicas, como a fNIRS, para também avaliar o desenvolvimento auditivo na infância a nível cortical é um avanço no conhecimento da funcionalidade cerebral diante de estímulos sonoros. No entanto, é fundamental que os parâmetros de avaliação nas crianças normo-ouvintes sejam bem estabelecidos, ao testar o protocolo de estímulos auditivos em uma amostra maior, com comparação intra e intersujeitos, a fim de assegurar consistência aos resultados em termos de grupo, para futuramente serem aplicados e analisados em paralelo às crianças com perda auditiva.

Dar seguimento às coletas que integram essa pesquisa, nas crianças normo-ouvintes e posteriormente com perda auditiva, para obter dados que irão enriquecer não apenas este trabalho, mas o projeto maior que ele faz parte, permitirá aprofundar as discussões iniciadas aqui e otimizar as melhores práticas da fNIRS no que tange ao acompanhamento do desenvolvimento auditivo na infância.

REFERÊNCIAS

1. Alvarenga KF, Vicente LC, Lopes RCF, Ventura LMP, Bevilacqua MC, Moret ALM. Development of P1 cortical auditory evoked potential in children presented with sensorineural hearing loss following cochlear implantation: a longitudinal study. *CoDAS*. 2013;25(6):521-6.
2. Fontes AA, Miranda DM, Resende LM. Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho e processamento sensorial auditivo em lactentes. *Rev. CEFAC*. 2016;18(4):965-973.
3. Hilú MRPB, Zeigelboim BS. O conhecimento, a valorização da triagem auditiva neonatal e a intervenção precoce da perda auditiva. *Rev CEFAC*. 2007;9(4):563-570.
4. Sharma A, Dorman MF, Kral A. The influence of a sensitive period on central auditory development in children with unilateral and bilateral cochlear implants. *Hearing Research*. 2005;203:134-143.
5. Ueda CHY, Magalhães ATM, Sadowski T, Tsuji RK, Goffi-Gomez MVS. Desenvolvimento de habilidades auditivas de crianças no primeiro ano após o implante coclear unilateral e bilateral. *Audiol Commun Res*. 2022;27:e2491.
6. Schramm B, Bohnert A, Keilmann A. Auditory, speech and language development in young children with cochlear implants compared with children with normal hearing. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2010;74:812–819.
7. Kral A, Sharma A. Developmental neuroplasticity after cochlear implantation. *Trends in Neurosciences*. feb 2012;35(2):111-122.
8. Estima NF, Miguel JHS, Azevedo MF, Gil D. Categorias auditivas e de linguagem em crianças usuárias de Implante Coclear. *Distúrb Comun, São Paulo*, 2022;34(3): e55560.
9. Mashie J, Core C, Larsen MD. Auditory perception and production of speech feature contrasts by pediatric implant users. *Ear & Hearing*. 2015;36(6):653-663.
10. De Raeve L et al. Quality standard for rehabilitation of young deaf children receiving cochlear implants. *Medicina*. 2023;59:1354.
11. Demers D, Bergeron F. Effectiveness of rehabilitation approaches proposed to children with severe-to-profound prelinguistic deafness on the development of

- auditory, speech, and language skills: a systematic review. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2019;62:11:4196-4230.
12. Zhou H, Chen Z, Shi H, Wu Y, Yin S. Comparisons of auditory performance and speech intelligibility in children with cochlear implants placed using different approaches. *Otology & Neurotology*. 2011;33:26-29.
 13. Silva B et al. Glendonald Auditory Screening Procedure (GASP): marcadores clínicos de desenvolvimento das habilidades de reconhecimento e compreensão auditiva em crianças usuárias de implante coclear. *CoDAS*. 2019;31(4):e20180142.
 14. Bertachini ALL, Januário JC et al. Hearing brain evaluated using near-infrared spectroscopy in congenital toxoplasmosis. *Scientific Reports*. 2021;11:10135.
 15. Lawrence RJ et al. Evaluating cortical responses to speech in children: A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Hearing Research* 401 (2021) 108155.
 16. Sevy ABG et al. Neuroimaging with near-infrared spectroscopy demonstrates speech-evoked activity in the auditory cortex of deaf children following cochlear implantation. *Hear Res*. 2010;1;270(1-2):39-47.
 17. Wang Y, Liu L, Zhang Y, Wei C, Xin T, He Q, Hou X, Liu Y. The neural processing of vocal emotion after hearing reconstruction in prelingual deaf children: a functional near-infrared spectroscopy brain imaging study. *Front. Neurosci*. 2021;15:705741.
 18. Lawler CA, Wiggins IM, Dewey RS, Hartley DEH. The use of functional near-infrared spectroscopy for measuring cortical reorganisation in cochlear implant users: a possible predictor of variable speech outcomes?. *Cochlear Implants International*. 2015;16(S1):31-32.
 19. Oliveira SR et al. Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho como ferramenta auxiliar no estudo do desenvolvimento infantil. *Rev Paul Pediatr*. 2015;33(2):230-240.
 20. Pollonini L, Olds C, Abaya H, Bortfeld H, Beauchamp MS, Oghalai JS. Auditory cortex activation to natural speech and simulated cochlea implant speech measured with functional near-infrared spectroscopy. *Hearing Research*. 2014;309:84-93.
 21. Zhou X, Feng M, Hu, Y, Zhang C, Zhang Q, Luo X, Yuan W. The Effects of Cortical Reorganization and Applications of Functional Near-Infrared

- Spectroscopy in Deaf People and Cochlear Implant Users. *Brain Sci.* 2022;12:1150.
22. Defenderfer J et al. Frontotemporal activation differs between perception of simulated cochlear implant speech and speech in background noise: An image-based fNIRS study. *NeuroImage.* 2021;240:118385
 23. Miguel JHS, Novaes BCAC. Reabilitação auditiva na criança: adesão ao tratamento e ao uso do aparelho de amplificação sonora individual. *ACR.* 2013;18(3):171-8.
 24. Saliba J, Bortfeld H, Levitin DJ, Oghalai JS. Functional near-infrared spectroscopy for neuroimaging in cochlear implant recipients. *Hearing Research.* 2016;338:64-75.
 25. McKay CM, Shah A, Seghouane AK, Zhou X, Cross W, Litovsky R. Connectivity in language areas of the brain in cochlear implant users as revealed by fNIRS. *Advances in Experimental Medicine and Biology.* 2014;894:327-335.
 26. Boothroyd A. Auditory development of the hearing child. *Scand Audiol.* 1997;26:9-16.

ANEXOS

Anexo I. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Pais ou Responsáveis

Nº Registro CEP: CAAE 97831218.7.0000.5149

Título do Projeto: Aplicação da espectroscopia de luz próxima ao infravermelho para avaliação cortical do desenvolvimento auditivo e de linguagem em crianças surdas usuárias de dispositivo de amplificação sonora individual

Pesquisador Coordenador: Luciana Macedo de Resende

CONVITE

Seu/sua filho/filha está sendo convidado(a) a participar de um projeto de pesquisa que estamos realizando para aumentar o conhecimento sobre o desenvolvimento auditivo e ativação cortical. Seu/sua filho/filha foi escolhido/a para participar da pesquisa e, neste caso, os testes para avaliar a audição do/a seu/sua filho/filha servirão para entendermos melhor a atividade funcional do cérebro relacionada à audição.

PROPOSTA DE PESQUISA

O objetivo principal da pesquisa é avaliar a audição, a linguagem e as respostas cerebrais das crianças com audição normal, usuárias de amplificação sonora individual (aparelho auditivo) e implante coclear. Para isso será aplicado um questionário e seu/sua filho/filha passará por avaliação audiológica, além de avaliação complementar por meio da espectroscopia de luz próxima ao infravermelho para avaliação cortical. Este exame é um método alternativo de neuroimagem que avalia a ativação do cérebro diante de algum estímulo utilizando uma luz visível na faixa do espectro eletromagnético próxima ao infravermelho. Os resultados desses testes contribuirão para aumentar o conhecimento sobre o desenvolvimento auditivo e linguístico das crianças que nasceram com perda auditiva e obtiveram reabilitação audiológica.

SEUS DIREITOS

A participação do/a seu/sua filho/filha neste estudo é completamente voluntária. A recusa em participar deste estudo não irá resultar em nenhuma penalidade ou perda de benefícios. Para se retirar imediatamente do estudo você poderá entrar em contato com as pesquisadoras Ana Kelly Barbosa Vieira (31983071254 / e-mail:anakbvieira@gmail.com) e/ou Luciana Macedo de Resende (31999087792 / e-mail:lmacedo.luciana@gmail.com).

PROCEDIMENTOS

A inclusão do/a seu/sua filho/filha nesta pesquisa envolverá a realização de testes para avaliar a audição.

- 1) Aplicação de questionários com os pais e/ou responsáveis a respeito da história clínica e histórico auditivo do participante. O questionário terá duração média de cinco a 10 minutos.
- 2) Meatoscopia: inspeção visual, o procedimento consiste na colocação de um espéculo de plástico encaixado a um otoscópio com lâmpada de led. Este espéculo é posicionado na entrada da orelha externa para visualizar o meato acústico externo e a membrana timpânica. Esse procedimento é importante para que se descarte a presença de alguma obstrução no meato acústico externo que impeça a realização dos demais exames e tem duração de cerca de dois minutos.

3) Emissões Otoacústicas: Trata-se de um exame não invasivo, rápido e indolor que é utilizado para avaliar parte do sistema auditivo. Em sua execução será utilizado um pequeno fone com uma oliva de borracha esterilizada inserida no meato acústico externo da criança onde os estímulos serão apresentados e suas respectivas respostas captadas. Tal procedimento não exige nenhum tipo de resposta por parte da criança e esta poderá estar dormindo. A duração deste procedimento é de aproximadamente cinco minutos.

4) Potencial Auditivo de Tronco Encefálico: esse procedimento tem como objetivo avaliar a integridade do sistema auditivo. Para a sua realização, após a limpeza da pele da criança com produto específico, serão colocados os eletrodos que captam as respostas na testa e na parte de trás das orelhas. Além disso, será utilizado um fone de inserção com olivas esterilizadas que serão colocados no meato acústico externo para a apresentação dos estímulos sonoros. Não é necessário nenhum tipo de resposta por parte do participante, que poderá estar dormindo. A duração deste procedimento é de aproximadamente 20 minutos.

5) Espectroscopia óptica de difusão (NIRS) consiste na colocação de uma “touca” cheia de fios na cabeça do bebê, através desses fios são captadas as respostas do cérebro após o estímulo de som. O exame tem duração média de 20 minutos.

RISCOS

Os riscos durante a avaliação são mínimos.

1) Aplicação do questionário aos pais: neste momento os pais e/ou responsáveis poderão sentir-se cansados e/ou constrangidos ao responder as perguntas, no entanto, os pesquisadores procurarão deixá-los à vontade e deixarão claro que eles poderão se negar a responder as questões caso não se sintam confortáveis ou que poderão interromper o procedimento e dar continuidade em um outro momento, se assim preferirem.

2) Meatoscopia: os riscos consistem em desconforto na inserção do espéculo. Para diminuir quaisquer desconfortos, todo o cuidado será tomado na introdução do espéculo para que esse não seja inserido em profundidade desnecessária e para que não toque as paredes do meato, de forma a não incomodar o participante.

3) Emissões Otoacústicas: O risco desse exame envolve desconforto físico pela inserção da oliva. Por essa razão, caso a criança demonstre algum desconforto o teste será interrompido.

4) Potencial Auditivo de Tronco Encefálico: O risco nesse teste pode ser de desconforto físico causado pela colocação dos eletrodos e fone. Por essa razão, caso a criança demonstre algum desconforto o teste será interrompido.

5) Espectroscopia óptica de difusão NIRS: Os testes poderão ser interrompidos se em algum momento você ou do/a seu/sua filho/filha sentir necessidade. O desconforto físico pode ser causado pela touca com eletrodos que é colocada na cabeça da criança. Para evitar este desconforto, será medido o perímetro cefálico da criança e selecionadas as toucas de acordo com o tamanho apropriado. O exame é rápido e indolor, no entanto se houver qualquer queixa por parte da criança ou de seus responsáveis, o procedimento será interrompido.

BENEFÍCIOS

Seu/sua filho/filha realizará uma bateria de exames minuciosos que avaliam a integridade e funcionamento das estruturas responsáveis pela audição e processamento do som que influenciam no desenvolvimento da linguagem. Caso sejam encontradas alterações nos resultados dos exames, serão oferecidas orientações e encaminhamentos para os tratamentos necessários.

CUSTOS

Não haverá nenhum custo adicional pela participação do seu filho(a) neste estudo. Os exames realizados fazem parte do atendimento das crianças e são cobertos pelo Sistema Único de Saúde.

CONFIDENCIALIDADE

As anotações sobre os resultados dos exames serão mantidas em segredo de acordo com a legislação atual. Em todas as anotações, seu/sua filho/filha não será identificado/a e seu nome será conhecido apenas pelos pesquisadores. O nome da criança não será utilizado em nenhum relatório ou publicação neste estudo.

QUESTÕES

Sinta-se à vontade para fazer qualquer pergunta sobre este estudo ou sobre os direitos do/a seu/sua filho/filha como participante do estudo. Se outras dúvidas surgirem mais tarde, quanto à ética do estudo e pesquisadores envolvidos no estudo, elas poderão ser dirimidas junto à pesquisadora responsável Luciana Macedo de Resende (31-34099117 / e-mail: lucianamr@medicina.ufmg.br) e ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. O CEP UFMG está localizado na Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901 Unidade Administrativa II - 2º Andar - Sala 2005, telefone (31)3409-4592, e-mail coep@prpq.ufmg.br.

Eu, Luciana Macedo de Resende, comprometo-me a cumprir todas as exigências e responsabilidades a mim conferidas neste termo.

Uma cópia de igual teor do presente termo será enviado para o seu e-mail constando o telefone e e-mail da pesquisadora responsável.

Para seu/sua filho/filha ser incorporado/a a este estudo, você (pai/mãe ou responsável legal pela criança) deverá assinar o Termo de Consentimento. Você tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase do estudo, independente do motivo.

A proposta e procedimentos deste projeto de pesquisa, assim como o desconforto previsível, riscos e benefícios que podem ocorrer com meu filho/minha filha, foram explicados para mim. Eu tive a oportunidade de esclarecer minhas dúvidas com a pesquisadora responsável pelo estudo. Todas as minhas perguntas foram respondidas.

Você concorda com a participação do seu filho/sua filha como voluntário/a no projeto de pesquisa acima descrito?

() SIM () NÃO

Você autoriza o uso da imagem e relato do caso clínico do seu filho/filha, em caráter gratuito, para fins acadêmicos, científicos e institucionais?

() SIM () NÃO

Nome completo:

Documento de identidade (RG):

Responsável legal por:

Telefone:

E-mail:

Data de hoje: __/__/____

Assinaturas:

Anexo II. Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Aplicação da espectroscopia de luz próxima ao infravermelho para avaliação cortical do desenvolvimento auditivo e de linguagem em crianças usuárias de dispositivo de amplificação sonora individual e implante coclear

Pesquisador: Luciana Macedo de Resende

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 97831218.7.0000.5149

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.340.222

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um estudo longitudinal para avaliar o desenvolvimento auditivo e de linguagem das crianças surdas usuárias de dispositivos de amplificação sonora individual, comparado com o desenvolvimento auditivo e de linguagem em crianças ouvintes, usuárias de implante coclear, e usuárias de AASI em diferentes momentos.

Segundo os pesquisadores, a abordagem é quantitativa e longitudinal, com o objetivo de comparar a dinâmica das áreas cerebrais em resposta à percepção auditiva e de fala, em crianças ouvintes e com perda auditiva usuárias de implante coclear e aparelhos de amplificação sonora individual que iniciaram reabilitação audiológica em diferentes momentos.

O protocolo do estudo consiste na avaliação da atividade hemodinâmica cortical em resposta a estimulação auditiva com sons verbais e não verbais utilizando a técnica de espectroscopia de luz próxima ao infravermelho; questionário sobre história pregressa, e avaliação auditiva completa, por meio da meatoscopia, Audiometria Tonal e Vocal, Audiometria em Campo Livre, Imitânciometria, mensuração in situ (REIG), avaliação da percepção de fala que incluirá a pesquisa dos sons do Ling, percepção da voz, IT MAIS, MAIS, LittleEars, e avaliação da produção de fala com o protocolo MUSS das Emissões Otoacústicas Transientes (EOAT) e Potencial Evocado Auditivo de

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

Tronco Encefálico (PEATE). Espera-se observar a diferença no desenvolvimento auditivo de crianças ouvintes e surdas, além do benefício da intervenção precoce através do uso de dispositivos de amplificação sonora como o implante coclear e a fonoterapia.

De acordo com os pesquisadores os participantes serão crianças em acompanhamento no Serviço de Atenção à Saúde Auditiva do Hospital das Clínicas da UFMG (SASA-HC/UFMG). Um grupo controle será formado com crianças que apresentarem audição normal. Cinco grupos serão formados. Um grupo será composto por crianças ouvintes e os critérios de inclusão serão: assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido e apresentar audição dentro dos padrões de normalidade. Os demais grupos serão formados por: crianças usuárias de aparelhos de amplificação sonora individual (AASI) precocemente; crianças usuárias de AASI tardiamente; crianças usuárias de AASI e implante coclear (IC); crianças usuárias apenas de IC. Também será realizada avaliação das crianças antes da implantação e após a implantação, para comparação de resultados. Para estes quatro grupos, os critérios de inclusão na pesquisa serão: ter perda auditiva permanente, diagnosticada até o segundo ano de vida, ser usuário de algum dispositivo de amplificação sonora (AASI ou IC) e completar a bateria de avaliação proposta. Os critérios de exclusão do estudo serão: presença de alteração condutiva da audição, prematuridade, síndromes, não completar a bateria de avaliação proposta.

As crianças com perda auditiva até doze anos de idade, atendidas no Serviço de Atenção à Saúde Auditiva do Hospital das Clínicas da UFMG (SASA-HC/UFMG) serão convidadas a participar do estudo. Será aplicado um questionário aos responsáveis com perguntas relacionadas à história pregressa e informações perinatais e pós-natais, época do diagnóstico da perda auditiva, resultado do diagnóstico, e dados após o diagnóstico: tempo de uso e adaptação dos dispositivos de amplificação, tipo de amplificação, se a criança é usuária de implante coclear, se sim qual idade da criança na cirurgia, qual tipo de comunicação usada pela criança, e se esta faz fonoterapia. As variáveis a serem pesquisadas incluem: idade atual, idade da criança no diagnóstico, sexo, tipo de comunicação usada (oral, gestual, libras, leitura orofacial), tempo de uso da amplificação e tipo de amplificação (AASI, IC ou bimodal), etiologia da perda auditiva, se a criança fez a triagem auditiva neonatal e os resultados encontrados, e se a criança está em fonoterapia para a reabilitação auditiva e de linguagem (se sim, o tempo, frequência e abordagem).

Após a aplicação do questionário, os participantes passarão por uma avaliação audiológica

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

completa. Os procedimentos incluem: (1) Meatoscopia, para verificar a integridade da orelha externa e descartar quaisquer obstruções ou condições que impeçam a realização dos exames auditivos; (2) Audiometria Condicionada e Audiometria em campo livre, para verificar os limiares de audibilidade com e sem o uso da amplificação e ganho funcional da prótese (3) Medidas de Imitânciometria acústica (curva timpanométrica e pesquisa dos reflexos acústicos) para avaliar a integridade do sistema tímpano ossicular e do arco reflexo estapediano; (4) Mensurações in situ, para verificar o desempenho do dispositivo de amplificação (REIG – ganho de inserção) e testes de mapeamento e percepção de fala (este último item apenas para usuários de AASI); (5) Avaliação da percepção de fala que incluirá a pesquisa dos sons do Ling, percepção da voz, IT MAIS (“Infant Toddler Meaningful Auditory Integration Scale”) para crianças até quatro anos e MAIS (“Meaningful Auditory Integration Scale”) para crianças a partir de cinco anos, LittleEars. Estas escalas pesquisam comportamentos auditivos espontâneos da criança em situações de vida diária, através de exemplos em três diferentes áreas do desenvolvimento de habilidades auditivas. Estas três áreas incluem mudanças na vocalização associadas com o uso do dispositivo, alerta para sons ambientais e atribuição de significado ao som; (6) Avaliação da produção de fala com o protocolo MUSS (“Meaningful Use of Speech Scale”), elaborado por Robins e Osberger (1990). No Brasil esta escala foi adaptada por Nascimento (1997) com o objetivo de caracterizar a produção de fala em crianças com perda de audição.

Após essa etapa, será feito o registro da espectroscopia (NIRS). Para avaliação cortical com estímulo auditivo através da ferramenta de avaliação da NIRS, será feita uma combinação de 30 fontes e 28 detectores que formaram 84 canais dispostos sobre o escalpo, cobrindo bilateralmente as regiões frontal, parietal, temporal e occipital, seguindo a orientação do Sistema Internacional 10-20 de EEG. Serão utilizados sons vocais e sons não vocais distintos, entre eles reconhecimento do nome, voz da mãe, voz do pesquisador, ruído branco, sons do ambiente, seguindo o padrão de intensidade de 60dB. Com o uso do NIRS consegue-se o acesso à oxigenação cerebral em especial das áreas de substância cinzenta com profundidade média de 3-4 cm. O NIRS permite demonstrar o aspecto funcional de ativação de uma determinada região cerebral diante de um estímulo específico. Por se tratar de tecnologia baseada exclusivamente em luz não há risco para o paciente e as limitações consistem apenas na fixação do eletrodo e no estabelecimento de bom sinal na captação.

Em relação às crianças sem perda auditiva, os pesquisadores apenas informam que “As crianças

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

atendidas no serviço de saúde auditiva serão convidadas a participar do estudo, bem como crianças em idade escolar sem perda auditiva. Os pais e/ou responsáveis estarão livres para assinarem ou não o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), sendo evidenciado que estes não perderão a vaga do serviço caso não queiram participar da pesquisa."

Ainda na metodologia, os pesquisadores relatam que as avaliações audiológicas e do desempenho dos dispositivos de amplificação serão realizadas no ambulatório de Audiologia do Hospital São Geraldo do Hospital das Clínicas, nele está situado o ambulatório de audiologia, otorrinolaringologia fonoaudiologia e oftalmologia, e no Laboratório de Pesquisa Observatório de Saúde Funcional em Fonoaudiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, conforme disponibilidade de horário dos participantes da pesquisa e dos pesquisadores. As avaliações de espectroscopia (NIRS) serão realizadas no Centro de Tecnologia de Imagem Molecular da Faculdade de Medicina.

Os participantes serão pareados por idade, condição sócia econômica e cultural. Será utilizada uma amostra de conveniência. As variáveis contínuas estudadas serão idade da criança no diagnóstico; idade da criança na protetização; tempo que a criança implantada usou o AASI; tempo e frequência da fonoterapia se houver e as variáveis categóricas serão o tipo, grau e etiologia da perda auditiva, tipo, modelo e marca do AASI ou IC; se a criança fez ou não a triagem auditiva neonatal e os indicadores de risco encontrados, além da abordagem terapêutica utilizada (bilinguismo, oralismo ou comunicação total). As variáveis do NIRS são variáveis contínuas tais como a razão de Oxi-deoxi Hemoglobina para cada um dos canais de interesse e o tempo de resposta após estímulo. As informações obtidas serão organizadas e armazenadas em planilha do programa Microsoft Office Excel (versão 2010). Os resultados do estudo serão sempre descritos como o retrato de um grupo e não de forma individual, estando à identidade de todos os participantes preservada e mantida em sigilo. A análise dos dados levantados será realizada de forma quantitativa.

Como referencial teórico os pesquisadores relatam que a surdez traz implicações e consequências para o desenvolvimento global do indivíduo, afeta o desenvolvimento cortical e conectividades necessárias para formar um sistema sensorial funcional. O estímulo acústico é pré-requisito para o desenvolvimento da linguagem e da fala, principalmente durante os primeiros anos de vida, considerado como o período crítico, no qual, a recepção dos símbolos linguísticos auditivos

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

contribui para a formulação verbal. Dentro deste contexto, a avaliação audiológica deve ser feita nos primeiros dias de vida para identificação precoce de possíveis perdas auditivas e necessidades da criança e de sua família, com o objetivo de reduzir prejuízos decorrentes da limitação sensorial. Com o avanço das tecnologias, os meios para diagnosticar e atender as necessidades do deficiente auditivo também evoluiu. Dentre as ferramentas diagnósticas para avaliação auditiva infantil, as mais preconizadas e utilizadas são as técnicas fisiológicas (medidas de imitância acústica e emissões otoacústicas evocadas) e eletrofisiológicas (potenciais evocados auditivos).

Os implantes cocleares (IC) e uso de aparelho de amplificação sonora individual (AASI) são alternativas do tratamento da surdez, e têm o objetivo de amplificar os sons, tornar a fala audível e com isso evitar muitos dos efeitos deletérios da privação sensorial auditiva. No entanto, alguns pacientes se beneficiam menos com o implante e não se beneficiam com o uso da amplificação sonora individual, sendo que as possíveis causas de pobres desempenhos são várias, desde idade de início da perda, o tempo de surdez, experiência anterior com AASI na fase pré-implante, tipo/marca do aparelho, tipo e grau da perda auditiva, idade de protetização/implantação (antes ou após o período sensível) e estímulos externos do ambiente familiar.

Por sua vez a Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho (Near-infrared spectroscopy, NIRS) surge como uma possível ferramenta para auxiliar o diagnóstico e elucidar aspectos da percepção de fala não avaliados pelas técnicas tradicionais, sendo um método alternativo de neuroimagem.

Assim, a questão é demonstrar que o desenvolvimento das regiões cerebrais em perdas auditivas precocemente diagnosticadas e protetizadas/implantadas, apresentam padrões semelhantes ao desenvolvimento cortical auditivo de crianças ouvintes, e aqueles que foram tardiamente protetizados/implantados podem restabelecer ativação cortical próximo ao padrão de normalidade, após estimulação sensorial e fonoterapia.

Objetivo da Pesquisa:

“Objetivo Primário:

O objetivo geral do estudo é comparar a dinâmica das áreas cerebrais em resposta à percepção auditiva e de fala em crianças ouvintes e com perda auditiva usuárias de implante coclear e aparelhos de amplificação sonora individual que iniciaram reabilitação audiológica em diferentes momentos.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

Objetivo Secundário:

1. Caracterizar o perfil audiológico e o desempenho auditivo com o uso de dispositivos de amplificação sonora e implante coclear.
- 2 Comparar o desempenho auditivo ao processamento sensorial da fala com a Near Infrared Spectroscopy (NIRS) antes do implante, imediatamente depois e 1 ano após implante.
3. Comparar o desempenho auditivo de acordo com a precocidade do diagnóstico e tempo de uso do dispositivo.
4. Verificar a correspondência entre os exames NIRS e Audiológicos no curso do desenvolvimento auditivo."

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

"Riscos:

Os riscos dos procedimentos são desconfortos físicos durante a realização da Avaliação Audiológica e do exame NIRS. Como são muitos os procedimentos de avaliação, esta ocorrerá em duas sessões para não gerar cansaço e os procedimentos poderão ser interrompidos caso seja solicitado pelos sujeitos de pesquisa."

Os dados da pesquisa serão mantidos em sigilo e somente as pesquisadoras terão acesso a ele. Os pais e/ou responsáveis pelas crianças serão contatados para agendar as avaliações e suas identidades estarão preservadas em todas as etapas do estudo e após o mesmo. Poderão se retirar do estudo em qualquer momento sem prejuízo ao tratamento realizado.

"Benefícios:

Os participantes da pesquisa serão beneficiados com a pesquisa uma vez que receberão orientações quanto ao desenvolvimento auditivo e de fala. As informações do estudo permitirão ajustes no planejamento terapêutico com a possibilidade real de melhora qualitativa na reabilitação auditiva. Espera-se elevar a qualidade do conhecimento acerca da percepção auditiva e seu desenvolvimento na infância."

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um estudo longitudinal para avaliar o desenvolvimento auditivo e de linguagem das crianças surdas usuárias de dispositivos de amplificação sonora individual, comparado com o

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

desenvolvimento auditivo e de linguagem em crianças ouvintes, usuáries implante coclear, e usuáries de AASI em diferentes momentos.

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Departamento de Fonoaudiologia da UFMG, com o mérito de ser um projeto inovador, relevante e exequível, e bem delineado.

Não haverá uso de fontes secundárias de dados e não haverá retenção de amostras para armazenamento em banco.

Cronograma apresentado prevê início de coleta de dados entre agosto de 2019 a novembro de 2021.

O orçamento apresentado prevê um gasto de R\$ 10.320,00; provavelmente financiamento próprio.

Foi apresentado o "Questionário de Avaliação" com o qual será feita a entrevista.

No histórico, o parecer emitido pelo CEP foi liberado para o pesquisador no dia 24 de outubro de 2018. O pesquisador faz nova submissão do projeto no dia 15 de abril de 2019 (após 5 meses e 9 dias após). A aceitação do projeto foi em 16 de abril e o mesmo foi encaminhado para relatoria no dia 06 de maio de 2019.

As solicitações do CEP UFMG foram atendidas pelos pesquisadores nos seguintes itens como demonstrado a seguir:

1. O termo "sujeitos de pesquisa" foi substituído por "participantes da pesquisa".
2. Os riscos foram detalhados para cada um dos procedimentos; também foram citados quais os procedimentos utilizados para minimizá-los.
3. O pesquisador explicita que não haverá benefício direto para os participantes com audição normal.
4. Nos critérios de inclusão os pesquisadores informaram que um critério é realizar todos os procedimentos descritos no estudo e limitaram os critérios de exclusão a prematuridade,

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

síndromes e alteração condutiva da audição.

5. Os pesquisadores informam que o recrutamento será feito entre os usuários e familiares do serviço de Saúde Auditiva.

6. Os pesquisadores esclarecem que não será realizada randomização e a informação foi corrigida.

7. Foi anexado o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido para a população de participantes de 6 a 12 anos e que está de acordo com a Resolução CNS 466/12. Há inadvertidamente alguns erros de grafia que podem ser corrigidos (rubrica, pessoas).

8. Em relação ao TCLE foram feitas as seguintes modificações:

8.1. Informado que os pais /responsáveis serão submetidos a uma entrevista para responder a um questionário, os riscos envolvidos e o tempo.

8.2 Os pesquisadores informam "os exames descritos para as crianças que formarão o grupo de ouvintes, com exceção do NIRS (objeto da pesquisa), fazem parte da Tabela de Procedimentos, Medicamentos e OPM do SUS e são necessários no processo diagnóstico destas."

9. A data de início de coleta de dados foi ajustada.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Para a segunda versão foram apresentados cinco arquivos para execução da relatoria, a saber:

PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1160780.pdf

respostaaocp.pdf

talev2.docx

tclev2.docx

projetoNIRSv2.docx

Na primeira versão foram apresentados oito (8) documentos para execução da relatoria, a saber:

1. PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1160780.pdf (VERSÃO 1, COM 6 PÁGINAS)

2. folha_rosto_nirs_ic.pdf (documento datado e assinado pelo diretor da FM/UFMG em 16 de agosto de 2018)

3. declaracao_CTIM.pdf (declaração da diretora clínica do Centro de Tecnologia em Medicina

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 3.340.222

Nuclear; datado e assinado em 14 de agosto de 2018)

4. GEP_HC.pdf (datado e assinado pela secretaria do GEP em 16 de agosto de 2018)

5. Parecer_UFMultiprofHC.pdf (anuência da Chefia da Unidade Multiprofissional e Reabilitação, assinado e datado em 10 de agosto de 2018)

6. parecer_depfono.pdf (parecer do departamento de fonoaudiologia, que data e aprova em 01 de julho de 2018)

7. projeto_NIRS_IC.pdf (projeto, sem numeração de páginas e sem versão especificada)

8. tcle.pdf (TCLE, sem numeração de página)

Recomendações:

Recomenda-se corrigir erros de grafia no TALE.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sou salvo maior juízo pela aprovação do projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1160780.pdf	15/04/2019 15:56:32		Aceito
Outros	respostaaocep.pdf	15/04/2019 15:55:53	Luciana Macedo de Resende	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	talev2.docx	15/04/2019 15:49:56	Luciana Macedo de Resende	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	talev2.docx	15/04/2019 15:49:45	Luciana Macedo de Resende	Aceito

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS**



Continuação do Parecer: 3.340.222

Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetoNIRSv2.docx	15/04/2019 15:49:32	Luciana Macedo de Resende	Aceito
Folha de Rosto	folha_rosto_nirs_ic.pdf	21/08/2018 10:33:34	Luciana Macedo de Resende	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao_CTIM.pdf	16/08/2018 16:06:37	Luciana Macedo de Resende	Aceito
Outros	GEP_HC.pdf	16/08/2018 16:04:16	Luciana Macedo de Resende	Aceito
Outros	Parecer_UFMultiprofHC.pdf	16/08/2018 16:04:02	Luciana Macedo de Resende	Aceito
Outros	parecer_depfono.pdf	16/08/2018 16:03:29	Luciana Macedo de Resende	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 22 de Maio de 2019

Assinado por:

Eliane Cristina de Freitas Rocha
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br