

Treinamento auditivo acusticamente controlado: roteiro de monitoramento com *Frequency Following Response*

*Acoustically controlled auditory training:
A monitoring program with frequency following response*

Lucas Daniel Souza de Vasconcelos¹ 

Ilka do Amaral Soares¹ 

Mariana Heloiza Ribeiro Carvalho¹ 

Ranilde Cristiane Cavalcante Costa¹ 

Thaís Nobre Uchôa Souza¹ 

Aline Tenório Lins Carnaúba¹ 

¹ Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas - UNCISAL, Maceió, Alagoas, Brasil.

RESUMO

Objetivo: apresentar um roteiro de monitoramento do treinamento auditivo acusticamente controlado, por meio do *Frequency Following Response*.

Métodos: realizou-se uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados da Biblioteca Virtual de Saúde e *Scientific Electronic Library* (SciELO), para levantamento da literatura sobre o monitoramento do treinamento auditivo acusticamente controlado. Inicialmente, foram encontradas 24 referências, após a avaliação e aplicação dos critérios de elegibilidade, foram incluídos nove artigos científicos. Posteriormente, foi estruturado o roteiro de monitoramento do treinamento auditivo acusticamente controlado, por meio do *Frequency Following Response*.

Resultados: o roteiro foi estruturado em duas partes: a primeira referente à avaliação e reavaliação comportamental do processamento auditivo; e a segunda avaliação e reavaliação eletrofisiológica com o *Frequency Following Response*.

Conclusão: o roteiro de monitoramento propõe uma observação estruturada da efetividade e eficácia do treinamento auditivo acusticamente controlado, favorecendo o melhor planejamento terapêutico e o direcionamento clínico.

Descritores: Audiologia; Eletrofisiologia; Treinamento Cognitivo; Transtornos da Audição; Potenciais Evocados Auditivos

ABSTRACT

Purpose: to present a monitoring program for acoustically controlled auditory training, using the frequency following response.

Methods: a bibliographic search was conducted in the Virtual Health Library and Scientific Electronic Library Online (SciELO) databases to identify literature on monitoring acoustically controlled auditory training. Initially, 24 references were found and after evaluating them and applying the eligibility criteria, nine scientific articles were included. Then, the monitoring program for acoustically controlled auditory training was structured, using the frequency following response.

Results: the program was organized into two parts: the first focused on behavioral assessment and reassessment of auditory processing, and the second on electrophysiological assessment and reassessment, using the frequency following response.

Conclusion: the monitoring program provides a structured approach to observing the effectiveness and efficacy of acoustically controlled auditory training, supporting improved therapeutic planning and clinical guidance.

Keywords: Audiology; Electrophysiology; Cognitive Training; Hearing Disorders; Evoked Potentials, Auditory

Estudo realizado na Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas - UNCISAL, Maceió, Alagoas, Brasil.

Fonte de financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL (E:60030.000000991/2022). Edital de Bolsa de Incentivo à Pesquisa (BIPES) (2024)

Conflito de interesses: Nada a declarar

Endereço para correspondência:
Aline Tenório Lins Carnaúba
Laboratório de Audição e Tecnologia - LATEC, Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas - UNCISAL
Rua Doutor Jorge de Lima Nº 113,
Bairro Trapiche da Barra
CEP: 57010-382 - Maceió, Alagoas, Brasil
E-mail: aline.carnauba@uncisal.edu.br

Recebido em 22/07/2024
Recebido na versão revisada em
01/10/2024
Aceito em 26/11/2024



© 2025 Vasconcelos et al. Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

O Processamento Auditivo Central (PAC) é o termo utilizado para intitular o mecanismo responsável pela transformação, organização, análise, decodificação, codificação e compreensão dos sinais acústicos pelo Sistema Nervoso Auditivo Central (SNAC)¹. Déficits no desenvolvimento neurobiológico das habilidades auditivas caracterizam o Transtorno do Processamento Auditivo Central (TPAC), podendo estar associado a outras alterações e prejuízos de linguagem e/ou aprendizagem².

Ao detectar a presença do TPAC, o tratamento indicado é o Treinamento Auditivo. Existem duas formas de treinamento auditivo, sendo o Treinamento Auditivo Acusticamente Controlado (TAAC) e o Treinamento Auditivo Informal (TAI). Nos treinamentos, são utilizadas estratégias de estimulação sensorial (*bottom-up*), voltadas para melhorar a qualidade do sinal acústico, e estratégias linguísticas e cognitivas (*top-down*), visando o aperfeiçoamento dessas capacidades. A intervenção segue a hierarquia de desenvolvimento das habilidades auditivas e, comumente, resulta em melhoras devido à capacidade de mudança e reorganização do SNAC^{3,4}.

Crianças com TPAC apresentam dificuldade na compreensão da fala em ambientes ruidosos, frequentemente, demandam repetição e apresentam déficits associados de atenção e memória auditiva, que podem resultar em prejuízos acadêmicos e emocionais. A falta de uma avaliação sistemática pode comprometer significativamente a eficácia do tratamento, uma vez que o TPAC é uma condição complexa que requer avaliações multidimensionais. Estudos mostram que a integração de dados eletrofisiológicos, como os Potenciais Evocados Auditivos (PEAs), com dados comportamentais é essencial para um diagnóstico preciso e um acompanhamento adequado³⁻¹⁰.

A necessidade de um roteiro estruturado para mensurar a melhora no desempenho auditivo após o TAAC se torna evidente quando se considera a complexidade do TPAC. Além disso, a eficácia do tratamento pode ser documentada por meio da reavaliação do PAC, questionários de autoavaliação e de evolução no treinamento auditivo ou ainda por medidas eletrofisiológicas. Diferentes potenciais evocados auditivos podem ser utilizados para mensuração da eficácia terapêutica, incluindo, entre eles, o FFR⁴⁻¹⁰.

O uso de medidas eletrofisiológicas, como o FFR, tem demonstrado alta sensibilidade e especificidade na identificação de alterações no processamento

auditivo, permitindo uma avaliação objetiva das respostas auditivas e do impacto das terapias¹¹⁻¹⁵. Portanto, um roteiro que integre o FFR como ferramenta de monitoramento pode proporcionar uma visão abrangente do progresso do paciente, garantindo que as intervenções sejam adaptadas de acordo com as necessidades individuais.

Estudos apresentam cada vez mais, formas de aplicação do FFR na avaliação e monitoramento do PAC¹⁶⁻¹⁹, fornecendo resultados de confiabilidade teste-reteste estatisticamente significantes na avaliação de grupos e na validação do FFR como ferramenta eletrofisiológica para avaliação do processamento auditivo. Dessa forma, este estudo tem como objetivo apresentar um roteiro de monitoramento do treinamento auditivo acusticamente controlado, por meio do *Frequency Following Response* (FFR).

MÉTODOS

O presente estudo resultou na construção de um roteiro de monitoramento do TAAC (apêndice A) que faz parte do projeto intitulado “Análise do *Frequency Following Response* em Crianças com Transtorno do Processamento Auditivo Central Pré e Pós Treinamento Auditivo”. Este projeto possui autorização do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (UNCISAL), Brasil, para realizá-lo, mediante o parecer nº 6.019.422, CAEE nº 67714923.9.0000.5011.

O estudo constou de três etapas principais, descritas a seguir: (1) Revisão da literatura, (2) Elaboração do roteiro de monitoramento do TAAC, por meio do FFR e (3) Avaliação do roteiro por pares.

Etapa 1 – Revisão da literatura

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica a fim de identificar os protocolos eletrofisiológicos utilizados em pesquisas para o monitoramento do TAAC. Foi realizado um levantamento nas bases de dados Biblioteca Virtual de Saúde (BVS) e *Scientific Electronic Library* (SciELO) utilizando a estratégia: (*Central Auditory Processing Disorder OR Central Auditory Processing*) AND (*Evoked Potentials, Auditory OR Auditory Evoked Potential OR Potentials, Auditory Evoked OR Auditory Evoked Response OR Auditory Evoked Responses OR Evoked Response, Auditory OR Evoked Responses, Auditory OR Auditory Evoked Potentials*) AND (*Training Auditory*). Não houve limitações quanto ao ano e ao idioma dos artigos,

nem à população estudada. Foram incluídos estudos que utilizaram potenciais evocados auditivos para monitorar o TAAC. Foram excluídos artigos duplicados ou que não atendiam aos critérios estabelecidos.

Para a seleção dos estudos, dois revisores conduziram a avaliação dos títulos e resumos, seguida da leitura completa das pesquisas de forma individual. Em casos de desacordo sobre a inclusão ou exclusão do estudo durante as etapas de seleção, um terceiro revisor foi consultado para a decisão final. A extração das informações dos estudos foi selecionada por dois

avaliadores, de maneira independente, utilizando um formulário especialmente desenvolvido para essa revisão.

A partir dessa revisão de literatura, estabeleceram-se os parâmetros que deveriam ser considerados na construção do roteiro de monitoramento do TAAC, por meio do FFR.

O resultado da busca encontrou 24 referências. Ao aplicar os critérios acima descritos e leitura na íntegra, foram incluídos nove artigos científicos, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Artigos utilizados como referência para construção do roteiro de monitoramento

REFERÊNCIA	
ARTIGO 1	Hayes EA, Warrier CM, Nicol TG, Zecker SG, Kraus N. Neural plasticity following auditory training in children with learning problems. <i>Clin Neurophysiol.</i> 2003;114(4):673-84. https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00414-5 PMID: 12686276. ⁵
ARTIGO 2	Wilson WJ, Arnott W, Henning C. A systematic review of electrophysiological outcomes following auditory training in school-age children with auditory processing deficits. <i>Int J Audiol.</i> 2013;52(11):721-30. https://doi.org/10.3109/14992027.2013.809484 . PMID: 24001257. ²⁰
ARTIGO 3	Yamamoto MRV, Pereira LD. Acoustically controlled auditory training as an intervention option in central auditory processing disorder in severe/ profound unilateral hearing loss. <i>Audiol., Commun. Res.</i> 2020;259(1):e2399. https://doi.org/10.1590/2317-6431-2020-2399 ²¹
ARTIGO 4	Schochat E, Musiek FE, Alonso R, Ogata J. Effect of auditory training on the middle latency response in children with (central) auditory processing disorder. <i>Braz J Med Biol Res.</i> 2010;43(8):777-85. https://doi.org/10.1590/s0100-879x2010007500069 . PMID: 20658093. ²²
ARTIGO 5	Francelino EG, Reis CF de C, Melo T. O uso do P300 com estímulo de fala para monitoramento do treinamento auditivo. <i>Distúrb Comum.</i> 2014; 26(1):27-34. ²³
ARTIGO 6	Alonso R, Schochat E. The efficacy of formal auditory training in children with (central) auditory processing disorder: behavioral and electrophysiological evaluation. <i>Braz J Otorhinolaryngol.</i> 2009;75(5):726-32. https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30525-5 . PMID: 19893943; PMCID: PMC9442236. ²⁴
ARTIGO 7	Filippini R, Befi-Lopes DM, Schochat E. Efficacy of auditory training using the auditory brainstem response to complex sounds: auditory processing disorder and specific language impairment. <i>Folia Phoniatr Logop.</i> 2012;64(5):217-26. https://doi.org/10.1159/000342139 . PMID: 23006808. ⁷
ARTIGO 8	Tremblay K, Kraus N, Carrell TD, McGee T. Central auditory system plasticity: generalization to novel stimuli following listening training. <i>J Acoust Soc Am.</i> 1997;102(6):3762-73. https://doi.org/10.1121/1.420139 PMID: 9407668. ²⁵
ARTIGO 9	Krishnamurti S, Forrester J, Rutledge C, Holmes GW. A case study of the changes in the speech-evoked auditory brainstem response associated with auditory training in children with auditory processing disorders. <i>Int J Pediatr Otorhinolaryngol.</i> 2013;77(4):594-604. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.12.032 . PMID: 23357780. ²⁶

Fonte: Elaboração própria.

Etapa 2 – Elaboração do roteiro de monitoramento do TAAC, por meio do FFR

Após a revisão da literatura, iniciou-se a criação do roteiro para monitoramento do TAAC. Esse roteiro foi elaborado para ser aplicado em crianças de 7 a 12 anos, diagnosticadas com TPAC e em TAAC. O roteiro deve ser utilizado por profissional fonoaudiólogo capacitado e com formação adequada tanto na

graduação, quanto na especialização, para que sejam priorizados os aspectos de qualidade no atendimento ao paciente.

O roteiro foi estruturado para abranger etapas de avaliação inicial, acompanhamento contínuo e avaliação final, utilizando o FFR como principal ferramenta eletrofisiológica para monitorar a evolução auditiva das crianças durante o TAAC. Na avaliação

inicial, são coletadas as respostas auditivas antes do início do treinamento para estabelecer uma linha de base, permitindo a comparação dos dados subsequentes. Ao longo do processo, o fonoaudiólogo realiza registros periódicos do FFR, avaliando mudanças na latência, amplitude, morfologia das ondas, *slope*, área, frequência fundamental e harmônicos, indicadores da plasticidade auditiva induzida pelo treinamento. Ao final do TAAC, o FFR é novamente registrado e comparado com as medidas iniciais, fornecendo informações objetivas sobre os efeitos do treinamento no processamento auditivo das crianças. Dessa forma, o roteiro não só orienta a prática clínica com base em dados concretos, como também oferece um parâmetro para ajustar o tratamento e garantir um acompanhamento eficaz e individualizado.

Etapa 3 – Avaliação do roteiro por pares

Para verificar se os critérios utilizados para o roteiro de monitoramento apresentavam conteúdo adequado e clareza nas informações disponibilizadas para aplicabilidade clínica, dez profissionais fonoaudiólogos que atuam há pelo menos um ano na área de Treinamento Auditivo foram escolhidos para a análise do conteúdo do material. Todos os profissionais receberam cópias dos seguintes documentos:

- a) uma cópia impressa do roteiro;
- b) uma cópia do questionário de avaliação do conteúdo.

O questionário de avaliação do conteúdo foi elaborado pelos autores do presente trabalho, sendo composto por cinco perguntas objetivas, que os juízes deveriam assinalar “sim” ou “não”. Na última parte do questionário, foi disponibilizado um espaço para que os juízes fizessem observações pertinentes ao roteiro.

Além disso, também foi enviada aos avaliadores uma breve introdução da pesquisa, seus objetivos e métodos. Com base nas análises e sugestões fornecidas pelos juízes, os pesquisadores fizeram ajustes no protocolo, incluindo a bateria de testes de avaliação comportamental do processamento auditivo. A avaliação comportamental foi incorporada ao roteiro para oferecer uma perspectiva abrangente sobre o progresso do paciente. Isso permite a coleta de dados qualitativos que complementam os dados quantitativos obtidos pelo FFR, promovendo uma avaliação mais holística da resposta ao tratamento.

RESULTADOS

O roteiro foi desenvolvido após levantamento dos dados de literatura e avaliação dos profissionais. Todos os fonoaudiólogos participantes entregaram os pontos centrais elencados nas observações e sugestões realizadas por eles. O roteiro de monitoramento está constituído por duas partes descritas a seguir e encontra-se no Apêndice A:

Avaliação e reavaliação comportamental

Para avaliação e reavaliação comportamental, foram selecionados, seguindo as orientações do guia de avaliação e intervenção do PAC disponibilizado pelo CFFa (2020)²⁷, os testes: Teste de Inteligibilidade de Fala Pediátrica, Teste de Fusão Binaural, reconhecimento de palavras familiares em escuta dicótica - Teste dicótico de dígitos (TDD), Teste Padrão de Duração (TPD) e *Random Gap Detection Test* (RGDT).

Os testes dióticos incluem o teste de localização sonora em cinco direções (LS), que avalia a capacidade de localização após a percussão de um instrumento musical; o teste de memória sequencial para sons verbais (MSV), que avalia a discriminação de sons em sequência utilizando as sílabas /pa/, /ta/, /ka/ e /fa/; e o teste de memória sequencial para sons não verbais (MSNV), que consiste na discriminação de sons em sequência com a apresentação de sons de quatro instrumentos musicais percutidos em diferentes ordens²⁸.

O teste de inteligibilidade de fala pediátrica com mensagem competitiva ipsilateral (PSI) exige que o indivíduo aponte as figuras correspondentes à sentença ouvida, ignorando a mensagem competitiva (uma história que é apresentada simultaneamente)²⁹.

O teste dicótico de dígitos (TDD) avalia a capacidade de figura-fundo para sons verbais, apresentando simultaneamente dois números à orelha direita e dois à orelha esquerda, com cada par sobreposto²⁹. Já o teste de detecção de intervalos de silêncio (*Random Gap Detection Test* - RGDT) visa medir a habilidade de detectar breves intervalos de silêncio, que são apresentados binauralmente em diferentes frequências (500 Hz, 1 KHz, 2 KHz e 4 KHz)³⁰, e a tarefa do participante é identificar e sinalizar a presença desses intervalos.

Por fim, o teste do padrão de duração (TPD) é composto por tons puros curtos e longos, separados por intervalos de 300ms. São apresentadas sequências de três tons de forma binaural, e o participante deve

repetir a sequência correta apresentada. Esses testes, em conjunto, avaliam diferentes aspectos da percepção auditiva, permitindo uma análise detalhada das habilidades auditivas do indivíduo³⁰.

Avaliação eletrofisiológica: *Frequency Following Response*

O FFR é um exame objetivo, não invasivo, que pode contribuir de forma promissora para a investigação de transtornos na percepção dos sons verbais. Para esta pesquisa, foram estabelecidos os seguintes parâmetros: estímulo promediado - sílaba [da] (40 ms), apresentado de forma monoaural (primeiro na orelha direita, posteriormente, na orelha esquerda), em polaridade alternada a 80 dBNA e taxa de apresentação de 10,9 estímulos/segundo. A janela de gravação de 74,67 ms, com filtro passa-alto de 100 Hz e passa-baixo de 2000 Hz, utilizando duas varreduras de 3000 estímulos³¹. Após a reprodução das ondas, os traçados obtidos são somados de forma ponderada e, no traçado resultante, são marcadas as ondas.

Para análise dos traçados do FFR no domínio do tempo, são identificados componentes V, A, C, D, E, F e O e registradas as latências absolutas e interpícos, as amplitudes, *slope* e área.

Para a obtenção do espectro no domínio das frequências, é necessária uma ferramenta de processamento de sinais que possibilite a extração de respostas relacionadas aos componentes de frequência, a Transformada Rápida de Fourier (TRF). Após a TRF, deve-se analisar: F0, F1 e F2, seus harmônicos e amplitudes.

DISCUSSÃO

O TPAC vem ganhando notoriedade no público infantil, destacando-se por sua relação com dificuldades específicas de aprendizagem, transtorno de déficit de atenção/hiperatividade (TDAH), dislexia e transtornos de linguagem. Tal fato reflete o cenário da busca profissional por métodos rápidos de avaliação, capazes de proporcionar triagens, diagnósticos diferenciais e/ou acompanhamento da evolução terapêutica, tornando-se comum o uso de protocolos, escalas e instrumentos de rastreios^{32,33}.

As recomendações reunidas no guia de orientação de avaliação e intervenção em PAC do Conselho Federal de Fonoaudiologia (2020)²⁷ sugerem que a avaliação seja realizada por meio de testes auditivos comportamentais, com baterias que contemplem as

habilidades de fechamento auditivo, figura-fundo, interação, integração e separação binaural, resolução e ordenação temporal, devendo ser observadas as características individuais do paciente e a história clínica para escolha do protocolo.

A ASHA (2005)³ recomenda que o planejamento da intervenção deve ser determinado a partir dos déficits e prejuízos de habilidades documentados na avaliação do PAC, da história do paciente, e complementado pelos dados das avaliações de linguagem, neuropsicológica e psicoeducacional³. Assim, parece oportuno recomendar uma avaliação auditiva completa, que inclua a avaliação da acuidade auditiva e da função auditiva central, utilizando testes comportamentais e eletrofisiológicos auditivos, para um melhor direcionamento da intervenção e do programa de estimulação auditiva^{27,33}.

A combinação de dados eletrofisiológicos, como o FFRFFR, com avaliações comportamentais, é fundamental para proporcionar uma visão mais completa da eficácia do) TAAC e das mudanças na plasticidade neural. O FFR permite medir a resposta do sistema auditivo a estímulos sonoros, oferecendo informações objetivas sobre o processamento auditivo a nível neurofisiológico. Por outro lado, as avaliações comportamentais ajudam a entender como essas respostas neurofisiológicas se traduzem em habilidades auditivas funcionais no dia a dia das crianças. Essa abordagem integrada não apenas enriquece a avaliação, mas também permite identificar melhorias na plasticidade neural resultantes do TAAC, oferecendo evidências mais robustas sobre a eficácia das intervenções. A interseção dessas duas áreas de avaliação pode revelar insights sobre o desenvolvimento auditivo e cognitivo das crianças, contribuindo para uma abordagem terapêutica mais informada e eficaz.

Para o monitoramento do treinamento auditivo, sugere-se que a reavaliação seja realizada por meio da avaliação comportamental do processamento auditivo central e utilização de exames eletrofisiológicos²⁷. Dessa forma, é possível identificar na literatura nacional e internacional artigos que utilizam PEAs para o monitoramento dos efeitos terapêuticos do treinamento auditivo. Nesse sentido, estudos^{1,13,16,20-21,33-36} têm utilizado exames eletrofisiológicos, como: Potenciais Evocados Auditivos de Longa Latência (PEALL/P300), Potenciais Evocados Auditivos de Média Latência (PEAML), *Mismatch Negativity* (MMN), Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE) e FFR

para garantia de respostas, não comportamentais, que forneçam dados sobre a atividade neural frente ao estímulo. Cada um desses potenciais utiliza um protocolo e um parâmetro com especificidades e referências para faixa-etária ou público estudado.

Os Potenciais Evocados Auditivos desempenham um papel crucial no monitoramento terapêutico ao revelar modificações na atividade neural associadas à experiência auditiva proporcionada pelo TAAC. A capacidade do sistema nervoso central em reorganizar-se em resposta a estímulos, conhecida como plasticidade neural, permite a modificação dos parâmetros de latência e amplitude dos potenciais após o TAAC.

Estudos com FFR tem sido mais frequentes na literatura nacional e internacional, fornecendo medidas quantitativas das propriedades acústicas do estímulo da fala^{37,38}, apresentando possibilidade de identificar componentes no domínio do tempo e das frequências com análises mais consistentes nas alterações do TPAC³⁸⁻⁴⁰, além da obtenção de parâmetros de sensibilidade e especificidade frente ao PAC⁴¹. Outro aspecto relevante do FFR é o efeito do treinamento auditivo em crianças com TPAC, evidenciando alterações significativas nos resultados pós-intervenção. Esses achados apontam para a necessidade de considerar a plasticidade da atividade neural no tronco encefálico em resposta a estímulos verbais¹².

A literatura demonstra prevalência de instrumentos de língua inglesa direcionados a avaliação e triagem de crianças com queixas relacionadas aos aspectos auditivos e comunicativos, enquanto o cenário brasileiro denota uma lacuna de questionários destinados a avaliação e monitoramento do PAC⁴². Até o momento, o único instrumento validado e normatizado para o cenário nacional brasileiro, é o questionário *Auditory Processing Domains Questionnaire* (APDQ) de Dias e colaboradores (2022)⁴³.

Em um comparativo do roteiro proposto e o APDQ, ressalta-se que o APDQ é um questionário de autoavaliação utilizado para identificar crianças com risco de TPAC e diferenciá-las de crianças com TDAH ou transtornos de linguagem. Enquanto o APDQ é subjetivo e foca em autorrelatos de dificuldades auditivas e de processamento, com base nas percepções de pais e professores sobre o comportamento auditivo e cognitivo das crianças⁴³, o roteiro é objetivo e foca na reavaliação contínua do progresso auditivo ao longo do treinamento auditivo, monitorando a eficácia do treinamento auditivo acusticamente controlado, por

meio de uma abordagem eletrofisiológica e comportamental, envolvendo testes como o de localização sonora, memória sequencial e testes dicóticos.

Perante a escassez de instrumentos de monitoramento na literatura nacional, autores de uma revisão sistemática⁴⁴ sugeriram o desenvolvimento de novos estudos com maior rigor metodológico, com vista à maior difusão e aplicabilidade clínica em nosso país. Dessa forma, o protocolo presente nesse estudo estima contribuir com novas ferramentas para elaboração e execução de trabalhos científicos, assim como facilitar a prática clínica.

Durante a elaboração do roteiro de avaliação, uma das dificuldades enfrentadas foi a integração de diferentes tipos de avaliações, como dados eletrofisiológicos e comportamentais, que requer um entendimento aprofundado das inter-relações entre essas abordagens para uma interpretação coesa dos resultados. A variedade de instrumentos disponíveis torna a escolha desafiadora, uma vez que é crucial garantir que os testes selecionados sejam não apenas relevantes para o TPAC, mas também confiáveis e válidos.

Para aprofundar o conhecimento sobre a eficácia do roteiro de avaliação, sugere-se que estudos futuros explorem sua aplicação em diferentes populações e faixas etárias. A diversidade nas características demográficas pode influenciar a forma como o TPAC se manifesta e, conseqüentemente, como os testes devem ser adaptados. Além disso, seria valioso considerar a inclusão de outros parâmetros eletrofisiológicos, além do FFR, como potenciais evocados auditivos de longa latência e medidas de resposta cortical. Essa ampliação da avaliação eletrofisiológica pode proporcionar uma compreensão ainda mais abrangente das capacidades auditivas e do impacto do TAAC na plasticidade neural em diversas populações. A pesquisa contínua nesse campo pode contribuir significativamente para o aprimoramento das práticas clínicas e para a adaptação das intervenções às necessidades específicas de diferentes grupos, promovendo um atendimento mais eficaz e personalizado.

CONCLUSÃO

O protocolo do *Frequency Following Response* (FFR) proposto pode ser utilizado com a finalidade de monitoramento das habilidades auditivas direcionado para crianças que estejam realizando treinamento auditivo acusticamente controlado.

O roteiro de monitoramento propõe uma observação estruturada da efetividade e eficácia do treinamento auditivo, favorecendo o melhor planejamento terapêutico e o direcionamento clínico.

REFERÊNCIAS

- Lunardelo PP, Fukuda MTH, Stefanelli ACGF, Zanchetta S. Behavioral assessment of auditory processing in adulthood: Population of interest and tests - A systematic review. *CoDAS*. 2023;35(2):e20220044. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20232022044pt> PMID: 3732698.
- Buffone FRRC, Schochat E. Sensory profile of children with Central Auditory Processing Disorder (CAPD). *CoDAS*. 2022;34(1):e20190282. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/2021201928> PMID: 35019061.
- ASHA: American Speech-Language-Hearing Association. 2005. (Central) auditory processing disorders - The role of the audiologist [Position Statement].
- Garcia ESM. Monitoramento do treinamento auditivo e da funcionalidade em criança com Transtorno do Processamento Auditivo Central [Dissertação]. São Carlos (SP): Universidade Federal de São Carlos; 2022.
- Hayes EA, Warrier CM, Nicol TG, Zecker SG, Kraus N. Plasticidade neural após treinamento auditivo em crianças com problemas de aprendizagem. *Clin Neurofisiol*. 2003;114(4):673-84. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00414-5](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00414-5) PMID: 12686276.
- Russo NM, Nicol TG, Zecker SG, Hayes EA, Kraus N. Auditory training improves neural timing in the human brainstem. *Behav Brain Res*. 2005;156(1):95-103. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2004.05.012> PMID: 15474654.
- Filippini R, Befi-Lopes DM, Schochat E. Efficacy of auditory training using the auditory brainstem response to complex sounds: Auditory processing disorder and specific language impairment. *Folia Phoniatr Logop*. 2013;64(5):217-26. <https://doi.org/10.1159/000342139>
- Sanguibuche TR. Processamento Auditivo Central em adultos: uma abordagem por meio de avaliações comportamentais e Frequency-Following Response com estímulo de fala [Dissertação]. Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria; 2018.
- Oliveira LRB. Avaliação comportamental e eletrofisiológica do processamento auditivo central em adultos disfônicos pré e pós terapia vocal e treinamento auditivo acusticamente controlado [Tese]. São Paulo (SP): Universidade Federal de São Paulo, Escola Paulista de Medicina; 2020.
- Leite LCR. O efeito da estimulação top-down e bottom-up no potencial evocado auditivo de tronco encefálico com estímulo complexo [Tese]. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo; 2016.
- Venâncio LGA, Leal MC, Hora LCD, Griz SMS, Muniz LF. Frequency-Following Response (FFR) in cochlear implant users: A systematic review of acquisition parameters, analysis, and outcomes. *CoDAS*. 2022;34(4):e20210116. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20212021116> PMID: 35081198.
- Durante AS, Oliveira SJ. Frequency-following response (FFR) with speech stimulus in normal-hearing young adults. *CoDAS*. 2020;32(3):e20180254. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202018254> PMID: 32578836.
- Rocha-Muniz CN, Befi-Lopes DM, Schochat E. Mismatch negativity in children with specific language impairment and auditory processing disorder. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2015;81(4):408-15. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2014.08.022> PMID: 26142650.
- Kraus N, Anderson S, White-Schwoch T. The Frequency-Following Response: A window into human communication. Springer; 2017.
- Coffey EB, Herholz SC, Chepesiuk AM, Baillet S, Zatorre RJ. Cortical contributions to the auditory frequency-following response revealed by MEG. *Nat Commun*. 2016;7:11070. <https://doi.org/10.1038/ncomms11070> PMID: 27009409.
- Song JH, Nicol T, Kraus N. Test-retest reliability of the speech-evoked auditory brainstem response. *Clin Neurophysiol*. 2011;122(2):346-55. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.07.009> PMID: 20719558.
- Hornickel J, Knowles E, Kraus N. Test-retest consistency of speech-evoked auditory brainstem responses in typically-developing children. *Hear Res*. 2012;284(1-2):52-8. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2011.12.005> PMID: 22197852.
- Jalaei B, Azmi M, Zakaria MN. Gender differences in binaural speech-evoked auditory brainstem response: Are they clinically significant? *Braz j otorhinolaryngol*. 2019;85(4):486-93. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.04.005> PMID: 2985816.
- Liu H, Jin X, Li J, Liu L, Zhou Y, Zhang J et al. Early auditory preverbal skills development in Mandarin speaking children with cochlear implants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2015;79(1):71-5. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.11.010> PMID: 25434480.
- Wilson WJ, Arnott W, Henning C. A systematic review of electrophysiological outcomes following auditory training in school-age children with auditory processing deficits. *Int J Audiol*. 2013;52(11):721-30. <https://doi.org/10.3109/14992027.2013.809484> PMID: 24001257.
- Yamamoto MRV, Pereira LD. Acoustically controlled auditory training as an intervention option in central auditory processing disorder in severe/profound unilateral hearing loss. *Audiol., Commun. Res*. 2020;259(1):e2399. <https://doi.org/10.1590/2317-6431-2020-2399>
- Schochat E, Musiek FE, Alonso R, Ogata J. Effect of auditory training on the middle latency response in children with (central) auditory processing disorder. *Braz J Med Biol Res*. 2010;43(8):777-85. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2010007500069> PMID: 20658093.
- Francelino EG, Castro Reis CF, Melo T. O uso do P300 com estímulo de fala para monitoramento do treinamento auditivo. *Distúrb. Comunic*. 2014;26(1):27-34.
- Alonso R. Avaliação eletrofisiológica e comportamental do processamento auditivo (central) e treinamento auditivo em indivíduos idosos [Tese]. São Paulo (SP): Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo; 2011.
- Tremblay K, Kraus N, Carrell TD, McGee T. Central auditory system plasticity: Generalization to novel stimuli following listening training. *J Acoust Soc Am*. 1997;102(6):3762-73. <https://doi.org/10.1121/1.420139> PMID: 9407668.
- Krishnamurti S, Forrester J, Rutledge C, Holmes GW. A case study of the changes in the speech-evoked auditory brainstem response associated with auditory training in children with auditory processing disorders. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2013;77(4):594-604. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.12.032> PMID: 23357780.
- CFFA - Conselho Federal de Fonoaudiologia. Avaliação e intervenção no processamento auditivo central. Guia de orientação. São Paulo, 2020.

28. Pereira LD. Processamento auditivo. Temas sobre Desenvolvimento. 1993;12(11):7-14.
29. Pereira LD, Schochat E. Testes auditivos comportamentais para avaliação do processamento auditivo central. Barueri: Pró-Fono; 2011.
30. Musiek FE, Chermak GD. Handbook of central auditory processing disorder – Comprehensive intervention. San Diego. 1.ed. Sandiego: Plural Publishing; 2014.
31. Krizman J, Kraus N. Analyzing the FFR: A tutorial for decoding the richness of auditory function. *Hear Res.* 2019;382:107779. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2019.107779> PMID: 31505395.
32. Ireno EM, Meyer SB. Formação de terapeutas analítico analítico-comportamentais: efeitos de um instrumento para avaliação de desempenho. *Rev. bras. ter. comport. cogn.* 2019;11(2):305-28. <https://doi.org/10.31505/rbtcc.v11i2.404>
33. AAA - American Academy of Audiology. American Academy of Audiology Clinical Practice Guidelines: Diagnosis, treatment, and management of children and adults with central auditory processing disorder. 2010.
34. Oliveira JC, Murphy CFB, Schochat, E. Auditory processing in children with dyslexia: Electrophysiological and behavior evaluation. *CoDAS.* 2013;25(1):39-44. <https://doi.org/10.1590/s2317-17822013000100008> PMID: 24408169.
35. Romero ACL, Sorci BB, Frizzo ACF. Relationship between auditory evoked potentials and middle latency auditory processing disorder: Cases study. *Rev. CEFAC.* 2013;15(2):478-84. <https://doi.org/10.1590/S1516-18462013005000002>
36. Santos TS dos, Mancini PC, Sancio LP, Castro AR, Labanca L, Resende LM de. Findings in behavioral and electrophysiological assessment of auditory processing. *Audiol., Commun. Res.* 2015;20(3):225-32. <https://doi.org/10.1590/2317-6431-2015-1589>
37. Fontanelli RCFL, Aragão MM, Pinho RS, Gil D. Benefits of intervention in the Central Auditory Nervous System in individuals with Neurofibromatosis Type 1. *Int J Pediatr Otorrinolaringol.* 2023;172:111692. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2023.111692> PMID: 37542812.
38. Rocha-Muniz CN, Filippini R, Neves-Lobo IF, Rabelo CM, Moraes AA, Murphy CFB et al. Can speech-evoked Auditory Brainstem Response become a useful tool in clinical practice? *CoDAS.* 2016;28(1):77-80. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20162014231> PMID: 27074194.
39. Bueno CD. Aplicabilidade do Potencial Evocado Auditivo Frequency Following Response em crianças e adolescentes: uma revisão sistemática com metanálise [Dissertação]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente; 2020.
40. Omidvar S, Mochiatti Guijo L, Duda V, Costa-Faidella J, Escera C, Koravand A. Can auditory evoked responses elicited to click and/or verbal sound identify children with or at risk of central auditory processing disorder: A scoping review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2023;171:111609. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2023.111609> PMID: 37393698.
41. Malavolta VC, Sanfins MD, Soares L da S, Skarzynski PH, Moreira HG, Nascimento V de OC et al. Frequency-Following Response and Auditory Middle Latency Response: An analysis of central auditory processing in young adults. *Rev. CEFAC.* 2022;24(6):e5622. <https://doi.org/10.1590/1982-0216/20222465622>
42. Souza IMP de, Carvalho NG de, Plotegher SDCB, Colella-Santos MF, Amaral MIR. Auditory processing screening: Contributions of the combined use of questionnaire and auditory tasks. *Audiol., Commun. Res.* 2018;23:e2021. <https://doi.org/10.1590/2317-6431-2018-2021>
43. Dias KZ, Yokoyama CH, Pinheiro MMC, Junior JB, Pereira LD, O'Hara B. The Auditory Processing Domains Questionnaire (APDQ): Brazilian-Portuguese version. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2022;88(6):823-40. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2021.12.001> PMID: 35331656.
44. Volpatto FL, Rechia IC, Lessa AH, Soldera CLC, Ferreira MIDDC, Machado MS. Questionnaires and checklists for central auditory processing screening used in Brazil: A systematic review. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2019;85(1):99-110. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.05.003> PMID: 29970341.

Contribuição dos autores:

LDSV: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Metodologia; Redação do manuscrito original; Redação - Revisão e edição.

IAS: Metodologia; Administração do projeto; Disponibilização de ferramentas; Redação - Revisão e edição.

MHRC, RCCC, TNUS: Curadoria de dados; Análise de dados; Redação do manuscrito original.

ATLC: Supervisão; Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Redação - Revisão e edição.

Declaração de compartilhamento de dados:

Declaramos para os devidos fins que os dados da pesquisa serão compartilhados de maneira integral e estarão disponíveis após aprovação da publicação pela revista, sem limite de tempo e sem critérios de acesso, além dos previstos pela revista de publicação.

APÊNDICE A – TREINAMENTO AUDITIVO ACUSTICAMENTE CONTROLADO: ROTEIRO DE MONITORAMENTO COM FREQUENCY FOLLOWING RESPONSE

INFORMAÇÕES PESSOAIS

Nome do participante: _____ Idade: _____
 Escolaridade: _____ Data de nascimento: _____
 Nome do responsável: _____ Contato: _____

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Encaminhado por: _____
 Motivo da avaliação: _____ Data do exame _____
 Fonoaudiólogo responsável: _____

PARTE 1. AVALIAÇÃO E REAVALIAÇÃO COMPORTAMENTAL DO PROCESSAMENTO AUDITIVO

BATERIA SIMPLIFICADA PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO AUDITIVO CENTRAL

TESTES DIÓTICOS	PRÉ	PÓS
Localização sonora		
Memória sequencial para sons não verbais		
Memória sequencial para sons verbais		

Critério de normalidade: Localização sonora (≥ 4 acertos), memória sequencial para sons não verbais (≥ 2 acertos), memória sequencial para sons verbais (≥ 2 acertos)

TESTES MONÓTICOS		PRÉ	PÓS
Teste de inteligibilidade de fala pediátrica com mensagem competitiva ipsilateral – PSI			
	MCI (0)	MCI (-15)	
Orelha direita			
Orelha esquerda			

Legenda: Mensagem Competitiva Ipsilateral (MCI)

Critério de normalidade: MCI(0) $\geq 80\%$ de acertos; MCI(-15) $\geq 60\%$ acertos.

TESTES DICÓTICOS			RESULTADO	
Teste dicótico de dígitos				
	Orelha direita	Orelha esquerda	PRÉ	PÓS
Atenção livre				
Atenção direcionada				

Critério de normalidade: verificar faixa etária

TESTES TEMPORAIS

TESTE PADRÃO DE DURAÇÃO	RESULTADOS			
	Orelha direita	Orelha esquerda	PRÉ	PÓS
Imitação				
Nomeação				

Critério de normalidade: verificar faixa etária

RANDOM GAP DETECTION TEST (RGDT)		
	MENOR GAP (PRÉ)	MENOR GAP (PÓS)
500Hz		
1000 Hz		
2000 Hz		
4000 Hz		
MÉDIA		

Legenda: Hertz (Hz)

Critério de normalidade: 10ms

PARTE 2. AVALIAÇÃO E REAVALIAÇÃO ELETROFISIOLÓGICA – FREQUENCY FOLLOWING RESPONSE

Lembrete: os eletrodos de referência devem ser posicionados nas mastoides esquerdas (M1) e direita (M2), o eletrodo ativo (Fz) na porção central e superior da frente e o terra (Fpz) na porção central e inferior da frente.

PROTOCOLO DE REFERÊNCIA

Transdutor	Inserção - EAR-phones 3A
Polaridade	Alternada
Intensidade	80 dB NPS
Tipo de apresentação	Monoaural
Estímulos	Estímulos verbais (/da/) – 40 ms
Impedância entre os eletrodos	$\leq 5k \Omega$
Filtro passa-banda	Filtro passa-alto de 100 Hz e passa-baixo de 2000 Hz
Janela de captação	74,67 ms
Quantidade de aquisições promediadas	Realizar duas varreduras de 3000 estímulos
Taxa de estimulação	10,9 estímulos/segundo

Legenda: Nível de Pressão Sonora (NPS), Milissegundos (ms), quilo-ohms ($k\Omega$), Hertz (Hz).

FREQUENCY FOLLOWING RESPONSE NO DOMÍNIO DO TEMPO

Componentes do Frequency Following Response: V, A, C, D, E, F e O

- MEDIDAS ELETROFISIOLÓGICAS PRÉ TREINAMENTO AUDITIVO ACUSTICAMENTE CONTROLADO (TAAC)

Latência absoluta							
Orelha direita	V	A	C	D	E	F	O
Média							

Amplitude							
Orelha direita	V	A	C	D	E	F	O
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Latência absoluta							
Orelha esquerda	V	A	C	D	E	F	O
Média							

Amplitude							
Orelha esquerda	V	A	C	D	E	F	O
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Latência interpico									
Orelha direita	V-A	A-C	C-D	D-E	E-F	F-O	V-C	V-E	V-O
Média									

NORMAL () ALTERADO ()

Latência interpico									
Orelha esquerda	V-A	A-C	C-D	D-E	E-F	F-O	V-C	V-E	V-O
Média									

NORMAL () ALTERADO ()

SLOPE (orelha direita) _____

SLOPE (orelha esquerda) _____

ÁREA (orelha direita) _____

ÁREA (orelha esquerda) _____

• MEDIDAS ELETROFISIOLÓGICAS PÓS TREINAMENTO AUDITIVO ACUSTICAMENTE CONTROLADO (TAAC)

Latência absoluta							
Orelha direita	V	A	C	D	E	F	O
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Amplitude							
Orelha direita	V	A	C	D	E	F	O
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Latência							
Orelha esquerda	V	A	C	D	E	F	O
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Amplitude							
Orelha esquerda	V	A	C	D	E	F	O
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Latência interpico									
Orelha direita	V-A	A-C	C-D	D-E	E-F	F-O	V-C	V-E	V-O
Média									

NORMAL () ALTERADO ()

Latência interpico									
Orelha esquerda	V-A	A-C	C-D	D-E	E-F	F-O	V-C	V-E	V-O
Média									

NORMAL () ALTERADO ()

SLOPE (orelha direita) _____

SLOPE (orelha esquerda) _____

ÁREA (orelha direita) _____

ÁREA (orelha esquerda) _____



FREQUENCY-FOLLOWING RESPONSE NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS

- MEDIDAS ELETROFISIOLÓGICAS PRÉ TREINAMENTO AUDITIVO ACUSTICAMENTE CONTROLADO (TAAC)

Frequência							
Orelha direita	F0	F1	F2	F0	H1	H2	
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Legenda: Frequência Fundamental (F0), Primeiro Formante (F1), Segundo Formante (F2), Primeiro Harmônico(H1) e Segundo Harmônico (H2).

Amplitude							
Orelha esquerda	F0	F1	F2	F0	H1	H2	
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Legenda: Frequência Fundamental (F0), Primeiro Formante (F1), Segundo Formante (F2), Primeiro Harmônico(H1) e Segundo Harmônico (H2).

- MEDIDAS ELETROFISIOLÓGICAS PÓS TREINAMENTO AUDITIVO ACUSTICAMENTE CONTROLADO (TAAC)

Frequência							
Orelha direita	F0	F1	F2	F0	H1	H2	
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Legenda: Frequência Fundamental (F0), Primeiro Formante (F1), Segundo Formante (F2), Primeiro Harmônico(H1) e Segundo Harmônico (H2).

Amplitude							
Orelha esquerda	F0	F1	F2	F0	H1	H2	
Média							

NORMAL () ALTERADO ()

Legenda: Frequência Fundamental (F0), Primeiro Formante (F1), Segundo Formante (F2), Primeiro Harmônico(H1) e Segundo Harmônico (H2).

HOUE MELHORA NAS ONDAS APÓS O TAAC? _____