

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
RENORBIO

**O ESTUDO DOS NÍVEIS DE DISCRIMINAÇÃO AUDITIVA POR MEIO DOS
POTENCIAIS EVOCADOS AUDITIVOS CORTICAIS COM ESTÍMULOS DE FALA**

Ranilde Cristiane Cavalcante Costa

MACEIÓ

2022

Ranilde Cristiane Cavalcante Costa

**O ESTUDO DOS NÍVEIS DE DISCRIMINAÇÃO AUDITIVA POR MEIO DOS
POTENCIAIS EVOCADOS AUDITIVOS CORTICAIS COM ESTÍMULOS DE FALA**

Qualificação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biotecnologia/RENORBIO da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, orientada pelo Prof. Dr. Pedro de Lemos Menezes e co-orientada pela Profa. Dra. Silvana Maria Sobral Griz, como requisito parcial para a obtenção do grau de doutor.

Área de Concentração: Biotecnologia em Saúde

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Lemos Menezes

Co-Orientação: Profa. Dra. Silvana Maria Sobral Griz

MACEIÓ

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

C837e Costa, Ranilde Cristiane Cavalcante.

O estudo dos níveis de discriminação auditiva por meio dos potenciais auditivos corticais com estímulos de fala / Ranilde Cristiane Cavalcante Costa. – 2022.

113 f. : il. color.

Orientador: Pedro de Lemos Menezes

Coorientadora: Silvana Maria Sobral Griz.

Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e Biotecnologia. RENORBIO. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 89-93.

Apêndices: f. 94-97.

Anexos: f. 98-113.

1. Potenciais evocados auditivos. 2. Percepção da fala. 3. Discriminação auditiva. I. Título.

CDU: 612.78: 612.85

RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE COSTA

**O ESTUDO DOS NÍVEIS DE DISCRIMINAÇÃO AUDITIVA POR MEIO DOS
POTENCIAIS EVOCADOS AUDITIVOS CORTICAIS COM ESTÍMULOS DE
FALA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia – RENORBIO, Ponto Focal Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Biotecnologia, Área de Concentração: Biotecnologia em Saúde.

Aprovada em: 22/12/2022.

DOCUMENTO AUTORIZADO DIGITALMENTE



PEDRO DE LEMOS MENEZES
Data: 22/12/2022 17:09:06 (GMT)
Verifique em: <https://webdoc.ufal.br>

Prof. Dr. Pedro de Lemos Menezes

Orientador - Universidade

Documentos autorizados digitalmente

de Alagoas – UNCISAL



SENA MARIA SOBRAL GRIZ
Data: 22/12/2022 15:43:43 (GMT)
Verifique em: <https://webdoc.ufpe.br>

Profa. Dra. Silvana Maria Sobral Griz

Coorientadora – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

DOCUMENTO AUTORIZADO DIGITALMENTE



ANA CLAUDIA FIGUEIREDO FRIZZO
Data: 22/12/2022 12:43:46 (GMT)
Verifique em: <https://webdoc.unesp.br>

Profa. Dra. Ana Claudia Figueiredo Frizzo

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP Campus Marília

DOCUMENTO AUTORIZADO DIGITALMENTE



AINE TENÓRIO LINS CARAÚBA
Data: 22/12/2022 20:36:49 (GMT)
Verifique em: <https://webdoc.ufma.br>

Profa. Dra. Aline Tenório Lins Carauá

Centro de Estudos Científicos da Maranhá - CESMAC

DOCUMENTO AUTORIZADO DIGITALMENTE



GUILHERME BENJAMIN BRANDÃO PITTA
Data: 22/12/2022 12:44:43 (GMT)
Verifique em: <https://webdoc.ufal.br>

Prof. Dr. Guilherme Benjamin Brandão Pitta

Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas - UNCISAL



VALDETE ALVES VALENTINS DOS SANTOS FILHA
Data: 22/12/2022 17:30:46 (GMT)
Verifique em: <https://webdoc.ufsm.br>

Profa. Dra. Valdete Alves Valentins dos Santos Filha

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Dedicatória

À Laís, minha filha, amor da minha vida.

Agradecimentos

À Deus, pela minha saúde e por todas as realizações da minha vida.

À minha Mãe, meu porto seguro. Pela sua dedicação aos filhos, apoio incondicional e valorização da educação. Ao meu pai (in memoriam).

Aos meus irmãos, pelo amor e companheirismo. Muito bom saber que estamos sempre juntos em todos os momentos.

Ao meu marido por compartilhar comigo cada momento dessa caminhada.

Ao Pedro, meu orientador, pelos longos anos de convivência, por ser exemplo de generosidade e por confiar tanto no meu trabalho. Você é inspiração!

À minha amiga Thaís pela sintonia. É um prazer gigante ser sua dupla desde a graduação. Tudo fica mais fácil quando estamos juntas.

Ao Gustavo que compartilhou toda sua experiência na audiologia e esteve presente na nossa coleta. Sempre tão disponível, com frase “ninguém larga a mão de ninguém”.

Aos meus primos queridos. São poucos, mas são os melhores.

Aos meus padrinhos, por saber que posso contar a qualquer hora e momento.

À minha amiga Vanessa que compartilha comigo conquistas, desafios e infinitas histórias.

À minha amiga Carol, pela compreensão da minha ausência e por transmitir sempre tranquilidade.

As queridas Aline e Kelly, pela presença, disponibilidade, organização, pontualidade, e acima de tudo, pelo incentivo.

À Profa. Dra. Ana Cláudia Frizzo, por ter despertado em mim o interesse para estudar eletrofisiologia.

Ao Prof. Dr. Leonardo Wanderley Lopes, pela sua valiosa contribuição nas discussões e elaboração dos estímulos de fala.

Aos amigos do LATEC, em especial ao Augusto. A conquista de um membro representa o crescimento de todo grupo de pesquisa.

A todos os amigos que colaboraram com minha coleta, seja participando, seja indicando participantes. Agradeço a rede de apoio criada.

Aos participantes da pesquisa e suas famílias pela confiança.

À UNCISAL, minha segunda casa desde 1998. Local onde estudei, me formei e tenho o orgulho de ser professora.

À UFAL, especialmente aos amigos do RENORBIO, pelo acolhimento e generosidade.

À FAPEAL e à CAPES pelo incentivo à pesquisa.

Apresentação

O estudo dos Potenciais Evocados Auditivos (PEAC) é o tema central desta tese, apresentada ao Programa de Doutorado em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO), como requisito para defesa do doutorado na área de concentração de Biotecnologia em Saúde.

Esse potencial é uma resposta bioelétrica obrigatória que reflete os correlatos neurais do processamento auditivo da fala, por meio da análise da amplitude e latência. Os PEAC podem ser eliciado por diferentes tipos de estímulos, sendo os estímulos de fala recomendados para avaliação por representarem as situações sociais relacionadas à comunicação.

A presente tese consta de uma introdução à temática, com a descrição dos objetivos geral e específicos, seguido de uma revisão da literatura que contempla uma explanação sobre os PEAC, características da fala e PEAC com estímulos de fala. Em seguida, os produtos da tese são apresentados três capítulos.

O primeiro capítulo apresenta o artigo original da tese com os dados de adultos e crianças a partir do desenvolvimento de estímulos de fala e de um protocolo, específicos para identificação de níveis de discriminação auditiva com PEAC, que será submetido para análise na revista *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. O segundo capítulo mostra um artigo de revisão sistemática com metanálise sobre os “Potenciais evocados auditivos de longa latência no transtorno fonológico: uma revisão sistemática com metanálise”, submetida para publicação na revista *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. Por fim, o terceiro capítulo traz a apresentação de um aplicativo desenvolvido com o objetivo de realizar uma triagem de fala em crianças.

Para finalizar, são apresentadas as conclusões e disponibilizada as referências bibliográficas, apêndices e anexos.

Resumo

O exame de potenciais evocados auditivos corticais é utilizado para caracterizar as processamento auditivo, a partir de diferentes estímulos, podendo ser eliciado por tom puro ou fala. Os sons da fala são compostos por diferentes traços distintivos que são definidos como características acústico-articulatórias capazes de marcar a diferença entre os fonemas. Os transtornos dos sons da fala, condição frequentemente observada durante o desenvolvimento infantil, pode estar relacionada a dificuldades no processamento da informação auditiva. Diante disso, a presente pesquisa foi distribuída em três etapas: (1) Realização de uma revisão sistemática com meta-análise sobre os potenciais evocados auditivos de longa latência em crianças com alteração de fala, sendo encontrado que não existe diferença de latência de N1-P2-N2 destas crianças, quando comparadas com crianças com desenvolvimento típico de fala; (2) Definição de estímulos de fala considerando os traços distintivos para realizar o exame de potenciais evocados auditivos corticais em adultos e crianças com audição e fala normais, com o objetivo de identificar níveis de discriminação auditiva. O estudo concluiu que não foi possível identificar a existência de níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais, a partir dos estímulos de fala testados; (3) Desenvolvimento de um aplicativo de triagem de fala com o objetivo de identificar precocemente crianças com alteração fonológica. Foi realizado teste usabilidade com o *System Usability Scale*. A análise do aplicativo mostrou um percentual de 96,25% de usabilidade.

Palavras-Chave: Potenciais evocados auditivos; Percepção da fala; Eletrofisiologia; Fala.

Abstract

The examination of cortical auditory evoked potentials is used to characterize the auditory processing, from different stimuli, which can be elicited by pure tone or speech. Speech sounds are composed of different distinctive features that are defined as acoustic-articulatory characteristics capable of marking the difference between phonemes. Speech sound disorders, a condition often observed during child development, may be related to difficulties in processing auditory information. In view of this, the present research was divided into three stages: (1) Carrying out a systematic review with meta-analysis on the long latency auditory evoked potentials in children with speech disorders, finding that there is no difference in latency of N1- P2- N2 of these children, when compared with children with typical speech development; (2) Definition of speech stimuli considering the distinctive features to perform the examination of cortical auditory evoked potentials in adults and children with normal hearing and speech, with the aim of identifying levels of auditory discrimination. The study concluded that it was not possible to identify the existence of auditory discrimination levels with cortical auditory evoked potentials, from the speech stimuli tested; (3) Development of a speech screening application with the aim of early identification of children with phonological disorders. A usability test was performed with the System Usability Scale. The analysis of the application showed a percentage of 96.25% usability.

Keywords: Auditory Evoked Potential; Speech Perception; Electrophysiology; Speech.

Lista de Figuras

Artigo Original

Figura 1. Espectrogramas dos estímulos /da/, /ta/, /ga/ e /ka/	37
Figura 2. Tela de análise do <i>Smart Tools EP</i>	39
Figura 3. Grand average	43

Artigo de Revisão Sistemática

Figure 1. Flowchart of search and selection of CAEP articles	58
Figure 2. Flowchart of search and selection of MMN articles	59
Figure 3. Meta-analysis: comparison of N1 latencies	62
Figure 4. Meta-analysis: comparison of P2 latencies	62
Figure 5. Meta-analysis: comparison of N2 latencies	62
Figure 6. Meta-analysis: comparison of N1 latencies, excluding the Włodarczyk study (2011)	63
Figure 7. Meta-analysis: comparison of P2 latencies, excluding the Włodarczyk study (2011)	63
Figure 8. Meta-analysis: comparison of N2 latencies, excluding the Włodarczyk study (2011)	63
Figure 9. Meta-analysis: comparison of MMN latencies	64
Figure 10. Meta-analysis: comparison of MMN amplitudes	64

Aplicativo

Figura 1. Etapas de desenvolvimento do aplicativo	78
Figura 2. Telas do aplicativo “Triagem de Fala”	79
Figura 3. Resultado da avaliação com <i>System Usability Scale (SUS)</i>	81

Lista de Quadros

Artigo Original

Quadro 1. Distribuição dos traços distintivos para cada fonema 54

Quadro 2. Características acústicas dos estímulos 55

Artigo de Revisão Sistemática

Chart 1. Characteristics of the included CAEP studies 34

Chart 1. Characteristics of the included MMN studies 35

Lista de Tabelas

Artigo Original

Tabela 1. Comparação intragrupo das latências e das amplitudes dos PEAC do GEA, segundo o estímulo apresentado	58
Tabela 2. Comparação intragrupo das latências e das amplitudes dos PEAC do GEA, segundo o estímulo apresentado	59
Tabela 3. Comparação intergrupo das latências entre o GEA e o GEC, segundo o estímulo apresentado	59
Tabela 4. Comparação intergrupo das amplitudes entre o GEA e o GEC, segundo o estímulo apresentado	60

Lista de Abreviaturas e Siglas

PEAC	Potenciais Evocados Auditivos Corticais
PEA	Potenciais Evocados Auditivos
ms	Milissegundos
μ V	Microvolts
P	Positivo
N	Negativo
PB	Português Brasileiro
OD	Orelha direita
OE	Orelha esquerda
+	Sinal positivo
-	Sinal negativo
VOT	<i>Voice Onset Time</i>
F2	Segundo formante
Hz	Hertz
F0	Frequência fundamental
PD	Phonological Disorder
LLAEP	Long Latency Auditory Evoked Potentials
CAEP	Cortical Auditory Evoked Potentials
MMN	Mismatch Negativity
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
PROSPERO	International Prospective Register of Systematic Reviews
Mesh	Medical Subject Headings
DeCS	Descriptors in Health Sciences
Emtree	Embase Subject Headings
dB	Decibel
SG	study group
CG	control group
SR	Systematic Review
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
GEA	Grupo Estudo Adulto
GEC	Grupo Estudo Criança
PEATE	Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico
IES	<i>International Electrode System</i>
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
M	Média
DP	Desvio Padrão
P10	Percentil 10
P90	Percentil 90

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
Objetivos	16
REVISÃO DE LITERATURA	17
Potenciais evocados auditivos corticais	17
Os sons da fala e suas características	21
Estímulos de fala e potenciais evocados auditivos corticais	25
ARTIGO ORIGINAL	30
ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA	49
APLICATIVO	74
CONCLUSÃO	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
APÊNDICES	91
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	91
APÊNDICE B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido	93
ANEXOS	95
ANEXO A - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa	95
ANEXO B - Comprovante de submissão do protocolo de revisão sistemática ..	100
ANEXO C - Comprovante de submissão do artigo de revisão sistemática	104
ANEXO D - Comprovante de registro do aplicativo “Triagem de Fala”	105
ANEXO E – Certificado de registro do aplicativo “Triagem de Fala”	111

INTRODUÇÃO

A discriminação auditiva refere-se à capacidade que o ser humano possui para diferenciar dois ou mais sons. A compreensão da conversa diária depende desta habilidade do sistema auditivo em detectar mudanças contínuas nos padrões espectrais e temporais dos sinais recebidos. As habilidades de discriminação auditiva podem ser avaliadas por testes comportamentais ou eletrofisiológicos (HE et al., 2012; KEY e YODER, 2013).

O desenvolvimento de testes eletrofisiológicos de discriminação de fala ainda são um desafio na pesquisa auditiva. Esses testes são usados para a avaliação objetiva de crianças sem os pré-requisitos auditivos ou cognitivos que os testes comportamentais de percepção da fala exigem (KUMMER et al., 2007). Essas avaliações objetivas, com exames eletrofisiológicos, permitem mensurar ou visualizar o funcionamento da via auditiva (MELO et al., 2016).

Entre os exames eletrofisiológicos, os Potenciais Evocados Auditivos Corticais (PEAC) podem ser usados para compreender os processos fisiológicos e substratos neurais subjacentes à percepção dos traços da fala. Entretanto, o seu uso ainda é limitado, pois existe a necessidade de desenvolver estudos que vinculam a percepção da fala infantil à latência e amplitude dos componentes deste potencial (CONE, 2015).

O desenvolvimento de métodos confiáveis para avaliar a detecção e a discriminação de características de fala seriam de grande benefício para o diagnóstico audiológico e para reabilitação das alterações de linguagem e fala. Esses métodos teriam aplicações para avaliar as habilidades perceptivas de pessoas que apresentam fatores de risco para distúrbios de desenvolvimento. Além disso, podem ser usados para documentar os efeitos do tratamento fonoaudiológico (CONE, 2015).

Entre as alterações de linguagem e fala, destaca-se os transtornos dos sons da fala. Trata-se de um termo abrangente que se refere a qualquer dificuldade ou combinação de dificuldades com a percepção, produção motora ou representação fonológica de sons e segmentos da fala. Crianças com esse distúrbio compõem uma grande parte da demanda fonoaudiológica em idade pré-escolar e escolar. Essa alteração de fala não afeta apenas a capacidade de comunicação de uma criança,

mas também pode levar a dificuldades posteriores, incluindo a alfabetização (ASHA, 2022).

Diante disso, a presente pesquisa: (i) desenvolveu estímulos de fala específicos, propôs e testou um protocolo de avaliação dos PEAC em adultos e crianças com desenvolvimento típico; (ii) analisou o desempenho dos potenciais evocados auditivos de longa latência das crianças com transtorno dos sons da fala, especificamente, o transtorno fonológico, por meio de uma revista sistemática; (iii) desenvolveu um aplicativo para triagem de fala, considerando a alta prevalência das alterações de fala na infância.

Objetivos

Geral

Estudar os níveis de discriminação auditiva por meio de potenciais evocados auditivos corticais com estímulos de fala.

Específicos

Desenvolver estímulos de fala e propor um protocolo para estudar os potenciais evocados auditivos corticais;

Estabelecer intervalos de referência dos componentes de onda dos PEAC, para a latência e a amplitude, considerando a média de todos os estímulos de fala, em adultos e crianças típicos;

Comparar os valores médios de latência e amplitude dos componentes de onda do PEAC, entre os estímulos, para os adultos e depois para as crianças típicas;

Comparar os valores médios de latência e amplitude dos componentes de onda do PEAC, por estímulo, entre adultos e crianças;

Verificar o desempenho de crianças com transtorno fonológico em potenciais evocados auditivos de longa latência por meio de uma revisão sistemática;

Desenvolver um aplicativo capaz de identificar precocemente criança com suspeita de transtorno dos sons da fala.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Potenciais evocados auditivos corticais

Os Potenciais Evocados Auditivos (PEA) representam um instrumento capaz de acompanhar o desenvolvimento normal e detectar de anormalidades das vias auditivas. As diversas funções exercidas pelo sistema nervoso central geram atividades bioelétricas passíveis de serem captadas por eletrodos conectados no couro cabeludo. Assim, o processamento auditivo da informação linguística pode ser investigado por meio desses potenciais (PERSON et al., 2005; NAGÃO e MATAS, 2001).

Diferentes PEA são descritos na literatura e diferentes critérios são usados para organizar o estudo destes potenciais. Considerando o tempo de resposta, os PEA são classificados em curta, média e longa latência. Com base na origem da resposta, eles são considerados subcorticais, corticais e cognitivos. Analisados a partir do tipo de resposta são definidos como exógenos ou endógenos. A classificação baseada no tempo é muito difundida na literatura, entretanto, atualmente, a classificação baseada no tipo e origem da resposta tem sido frequentemente usada, pois é considerada mais específica (FRIZZO, 2021).

Os PEA considerados exógenos são aqueles determinados por parâmetros de estímulo que são externos ao ouvinte, influenciados principalmente pelas características físicas deste estímulo. Enquanto os potenciais endógenos são influenciados por eventos internos relacionados à função cognitiva, com características que variam de acordo com a atenção do ouvinte (PERSON et al., 2005; CONE-WESSON e WUNDERLICH, 2003).

Habitualmente a avaliação dos PEA ocorre com base na análise da latência e da amplitude. A latência da onda é definida como o tempo decorrido entre o início da apresentação do estímulo à orelha e o surgimento do pico da onda registrada, sendo medida em milissegundos (ms) (REGAÇONE et al., 2013). Por sua vez, a amplitude da onda é registrada em microvolts (μV), medida pico a pico, sendo um fator que

apresenta grande variabilidade individual e que se torna de difícil medição, principalmente em baixas intensidades (PERSON et al., 2005).

A amplitude está relacionada com a magnitude da resposta, enquanto a latência é relacionada com o surgimento da resposta após a apresentação do estímulo acústico. Essas respostas se referem à quantidade de neurônios responsivos ao estímulo acústico, ou seja, à quantidade de neurônios recrutados, à extensão da atividade e à sincronia neural (ALMEQBEL, 2013).

Entre os potenciais evocados, os Potenciais Evocados Auditivos Corticais (PEAC), foram escolhidos como objeto de estudo desta tese de doutorado. A escolha decorre do fato de que esses potenciais são especialmente adequados para investigar pistas de tempo acústico-fonéticas, sendo um índice confiável para a investigação de correlatos neurais do processamento da fala. Esse potencial corresponde a resposta bioelétrica da atividade do tálamo e córtex auditivo. A presença normal dos componentes do PEAC indica que o sinal foi decodificado no córtex auditivo de maneira adequada (KIM et al., 2018; ELANGO VAN e STUART, 2011).

As respostas geradas pelos PEAC correspondem a uma série de picos, gerados ao longo da via auditiva, os quais representam a atividade cortical relacionada às habilidades de atenção, de memória e de discriminação auditiva. O número utilizado para denominar estes componentes refere-se à ordem de ocorrência em que os potenciais são registrados e as letras caracterizam os picos, sendo (P) positivos e (N) negativos (OPPITZ et al., 2015; ALVARENGA et al., 2013).

Esses picos formam o complexo P1-N1-P2-N2 e são frequentemente analisados por meio dos valores referentes à latência e amplitude (REGAÇONE et al., 2014; FITZROY et al., 2015; KIM et al., 2018). Esse registro pode mostrar uma sequência como P1N1P2, considerados componentes neurais mais precoces e suas respostas correspondem ao processamento das características acústicas de um estímulo; ou apresentar-se numa sequência diferente P1N1P2N2P3, na qual os componentes neurais mais tardios, corticais cognitivos, podem ser observados e estão relacionados a processos auditivos mais complexos, associativos da informação auditiva no córtex (FRIZZO, 2021).

Considerando o parâmetro de latência como análise, o componente P1 representa uma deflexão positiva em torno de 50 ms, N1 é uma deflexão negativa por

volta de 100 ms, P2 é uma segunda deflexão positiva em torno de 150 ms e N2 uma segunda deflexão negativa centrada em 200 ms. Acredita-se que essas deflexões representem principalmente potenciais que surgem da atividade em diferentes geradores neurais dentro do sistema auditivo (FITZROY et al., 2015).

O complexo P1-N1-P2 reflete o processamento de recursos acústicos da fala (WAGNER et al, 2013). A onda P1 está relacionada à detecção e codificação das características do estímulo acústico, tais como frequência e tempo (MELO et al., 2016). N1 está associado à decodificação das características acústicas, apontando para a discriminação auditiva, sendo sensível às mudanças iniciais do som, modulações de frequência e intensidade de um sinal complexo ou tom sustentado. O componente P2, mais especificamente sua amplitude, está fortemente relacionada à discriminação auditiva, sendo identificado na literatura como relacionado à aprendizagem dos aspectos auditivos e linguísticos (FRIZZO e ADVÍNCULA, 2018). N2 está associado aos mecanismos neurocerebrais de processamento da atenção e da memória imediata, como a captura da atenção, a atenção seletiva e da memória de trabalho ou memória imediata (REIS, FRIZZO, 2018).

Ainda não há consenso na literatura sobre os sítios geradores das respostas do complexo de componentes P1-N1-P2-N2, mas há relatos de que P1 esteja envolvido em projeções talâmicas e em atividades do córtex auditivo primário, o N1 com o córtex auditivo supratemporal, o P2 com córtex auditivo frontolateral supralateral e o N2 com córtex auditivo supratemporal (MCPHERSON, 1996; MATAS et al., 2015).

Os PEAC se modificam durante o desenvolvimento, por meio da maturação do sistema auditivo. Sendo assim, o surgimento do complexo P1-N1-P2-N2, bem como seus valores de latência, são variáveis na infância. Os componentes P1 e N2 são os mais observados e descritos na população pediátrica. Os demais componentes N1 e P2 passam a ser visualizados e registrados ao longo do processo maturacional. Com o aumento da idade, os traçados tornam-se mais definidos, os valores de latência destes componentes tendem a diminuir e apresentar menor variabilidade (SILVA et al., 2017).

Estudo realizado com crianças brasileiras identificou grande variabilidade nos valores de amplitude para os componentes P1, N1 e P2 dentro de cada idade avaliada.

Foi identificada uma redução nos valores de amplitude do componente P1, com uma razão de diminuição de $0,02\mu\text{V}$ ao ano; o que não foi observado para os componentes N1 e P2. Com relação aos valores de latência, foi observada para o componente P1, uma queda no valor de latência de 1,6ms ao ano. Para os componentes N1 e P2, foi observada diferença estatisticamente significativa entre crianças (idade entre 3 e 12 anos) e adultos, sendo a latência nos adultos menor. Há uma diminuição média de 33 a 69ms para o componente N1, e de 37 a 80ms para o componente P2 (VENTURA et al., 2009).

Ao longo da adolescência é verificada uma diminuição da variabilidade do PEAC, o que indica que a resposta básica ao som se torna mais estável. Isso sugere que vários aspectos da função auditiva cortical continuam a amadurecer durante a transição da infância para a idade adulta. Estudo longitudinal que acompanhou uma coorte de adolescentes entre 14 e 17 anos verificou a diminuição da latência de N1 e N2 sugerindo que a mielinização nas vias cortico-corticais da substância branca continua até a adolescência, enquanto a ausência de alterações de latência para P1 ou P2 sugere que a mielinização das vias tálamo-corticais é estável durante esse período de tempo (FITZROY et al., 2015).

A maturação das estruturas do sistema auditivo é resultado principalmente do aumento da mielinização, especialmente no nervo auditivo e no tronco cerebral; do aumento da densidade sináptica, principalmente no córtex; e do aumento da eficácia sináptica. Todos esses eventos resultam em uma diminuição exponencial da latência dos potenciais evocados (EGGERMONT, 1992).

A aplicabilidade dos PEAC é amplamente descrita na literatura. Este exame tem sido utilizado como forma complementar às avaliações comportamentais do processamento auditivo, contribuindo para o aumento da precisão no diagnóstico dos distúrbios auditivos centrais (DIDONÉ et al., 2016; KIM et al., 2018). Em comparação com tarefas comportamentais, medidas eletrofisiológicas, como o PEAC, não exigem participação ativa dos ouvintes e podem ser registradas de forma confiável em diferentes populações. Além disso, diferentemente das medidas psicofísicas, a avaliação eletrofisiológica se caracteriza como mais objetiva e menos influenciada por fatores como memória, motivação, tarefa e critérios de resposta (HE et al., 2012).

Os PEAC também podem ser usados também para estimar limiares, inferir habilidades de discriminação e indicar os efeitos da (re)habilitação auricular, incluindo

o benefício do implante coclear (CONE-WESSON e WUNDERLICH, 2003). Assim, eles têm entrado gradativamente na prática clínica, sendo principalmente utilizado para monitoramento da maturação do Sistema Nervoso Auditivo Central (SNAC) após intervenção terapêutica ou cirúrgica (SILVA et al., 2017; DIDONÉ et al., 2016).

Diferentes tipos de estímulos podem ser usados para evocar os PEAC e a revisão de literatura segue discutindo esta temática, pois os estímulos de fala são objeto de estudo deste trabalho.

Estímulo de fala nos potenciais evocados auditivos corticais

Os PEAC podem ser eliciados por diferentes tipos de estímulos, incluindo sons verbais e não verbais. Dessa maneira, estímulos acústicos breves, como cliques, tons e sílabas, bem como estímulos contínuos podem ser usados (HE et al., 2012). Pesquisas mostram que as respostas dos PEAC variam em função da característica do estímulo apresentado (DIDONÉ et al., 2016; KOERNER et al., 2017; SILVA et al., 2017).

A análise de diferentes estímulos para detecção da discriminação auditiva pode ter valor inestimável na prática clínica, pois demonstram diferentes níveis de dificuldade na discriminação dos sons, desde a percepção mais global até a discriminação entre diferenças acústicas mínimas que distinguem os fonemas (SILVA et al., 2017).

Os estímulos auditivos podem ser descritos em relação às suas características de complexidade sonora especificadas em relação às mudanças no tempo (dimensão temporal) e frequência (dimensão espectral). Nessa conceituação, uma única onda de frequência (tom puro), constante ao longo do tempo, pode ser classificada como simples. Contrariamente, um som contendo múltiplos componentes pode ser classificado como complexo em relação ao domínio da frequência. Da mesma forma, um som com estrutura acústica variando ao longo do tempo pode ser classificado como complexo em relação ao domínio do tempo. Portanto, a complexidade pode representar um princípio organizador (SAMSON et al., 2011; Uppenkamp et al., 2006).

Estudos confirmam que diferentes estímulos geram respostas corticais com diferentes características morfológicas, sendo essas variações observadas em função da complexidade do estímulo utilizado (SWINK e STUART, 2012; SILVA et al., 2017; LUNARDELO et al., 2019; FRIZZO, 2021). Entre os estímulos usados nos PEAC, a fala é considerada de maior complexidade por ser composto por componentes multifrequenciais (KIM et al., 2018).

Assim, os estímulos complexos, como a fala, parecem demandar mais tempo para serem decodificados, ou, ainda, requerer mais estruturas corticais para seu processamento (MATAS et al., 2015; LUNARDELO et al., 2019). A maior amplitude decorrente da complexidade do estímulo de fala frente ao estímulo não verbal pode caracterizar o papel discriminatório, que, para decodificá-lo, recrutou um maior número de neurônios (LUNARDELO et al., 2019).

As pesquisas que analisaram o tipo de estímulo, comparando os estímulos de fala com os tonais encontraram menores latências para os registros evocados por estímulos tonais (LUNARDELO et al., 2019; MATAS, 2015; SWINKA e STUART, 2012). Discordando desses resultados, pesquisa realizada com crianças na Malásia não encontrou diferença significativa na latência entre tone burst e fala (MUKARI et al., 2020).

Os estímulos de fala têm sido cada vez mais utilizados e considerados como ideal para estudar as bases neurais da detecção e discriminação (JOHNSON et al., 2008; SWINK e STUART, 2012; DIDONÉ et al., 2016). Estudos que se propõem a investigar os PEAC com estímulos de fala são importantes para compreender como a complexidade do estímulo tem influência nas características do potencial gerado (ALVARENGA et al., 2013).

Os PEAC podem ser registrados com estímulos de fala natural ou sintética. Habitualmente, a fala natural é obtida por meio de gravação realizada a partir de um falante nativo na língua. Enquanto que os estímulos sintéticos são produzidos a partir sintetizadores de sons da fala, como *Microsoft's speech platform*, *Klatt synthesizer* e *eSpeak*. Klatt synthesizer (SONG et al., 2022; SWINK e STUART, 2012).

A influência desta variável mostra que os estímulos de fala natural evocam PEAC com menores latência, quando comparado com estímulos de fala sintéticos (SONG et al., 2022; SWINK e STUART, 2012). Assim, recomenda-se o uso da fala

natural em pesquisas com PEAC, pois a experiência linguística com a comunicação torna a fala natural como um padrão de fala habitual que é reconhecida pelo sistema auditivo (PICTON et al, 2000; DIGESER et al., 2009).

Diferentes sons da fala, incluído vogais e sílabas, têm sido usadas em estudos com PEAC, sendo identificadas diferenças a partir da complexidade dos estímulos. Pesquisa realizada com falantes do Português Brasileiro (PB) concluiu que uma maior proximidade entre as sílabas representa uma maior dificuldade na discriminação auditiva (OPPITZ et al., 2015).

A percepção entre o contraste vocálico e consonantal foi investigada em pesquisa utilizando o estímulo de fala natural no registro dos PEAC. Para o contraste vocálico foram escolhidas as vogais /a/ e /i/, sendo as sílabas /ba/ e /da/ utilizadas para análise do contraste consonantal. Os resultados do estudo realizado com crianças e adultos com audição normal mostraram que houve influência do estímulo de fala no componente N2, com valores de latência maiores para o contraste consonantal, sugerindo que o grau de dificuldade na discriminação deste contraste é maior do que no contraste vocálico (ALVARENGA et al., 2013).

Outros estudos foram realizados em falantes do Português Brasileiro com PEAC eliciados por diferentes estímulos de fala. A comparação entre o estímulo /ba/ como frequente em oposição as sílabas /ga/, /da/ e /di/ como raras foi realizada em adultos. Os resultados mostraram que a latência do N2 foi maior para /ba/ x /di/ e que a média da latência, considerando os três estímulos, foi de 323,85 ms, entanto, os autores não fizeram nenhuma discussão a partir da complexidade espectral dos estímulos (DIDONÉ et al., 2016).

O contraste entre os pares de sílabas /ba/ x /da/ e /pa/ x /da/ mostram diferença significativa para a amplitude do componente P2 na orelha direita, com maior amplitude para o contraste /ba/ x /da/. Este aumento está diretamente relacionado à percepção das características físicas e temporais do estímulo. A percepção destes fonemas envolve propriedades relacionadas ao ponto de articulação, como uma única pista fonêmica articulatória “anterior”, para a identificação. Diante da proximidade existente entre os fonemas, verifica-se uma maior dificuldade na discriminação (SILVA et al., 2017).

A comparação entre os estímulos /ba/ como frequente e o /di/ como raro foi realizada em crianças com idade entre 5 e 9 anos. Os valores de latência para o complexo P1N1P2N2 nesta população foram P1 (OD 89,6 ms e OE 91,6 ms), N1 (OD 135,4 ms e OE 137,6 ms), P2 (OD 180,7 ms e OE 177,7 ms), N2 (OD 239,2 ms e OE 240,2 ms). Para a amplitude foram encontrados para P1-N1 (OD 5,14 μ V e OE 5,85 μ V), P2-N2 (OD 6,93 μ V e OE 9,97 μ V) (Souza et al., 2018).

Além da complexidade do estímulo, os aspectos relacionados à intensidade, frequência e duração também devem ser considerados na análise dos PEAC, pois determinam modificações nas ondas que formam o complexo P1N1P2N2. Estudos que analisaram essas variáveis encontraram influência destas variáveis nos parâmetros de latência e amplitude (Prakash et al., 2016; KIM et al., 2018; AGUNG et al., 2006).

Há efeito significativo da intensidade sobre a latência e amplitude no estímulo de fala. Quanto maior a intensidade o estímulo é apresentado, menores valores de latência são observados. Esse efeito foi identificado para os componentes P1, N1 e P2, tendo um efeito mais significativo sobre P1 e N1 (Prakash et al., 2016). Considerando as vogais, /u/, /a/ e /i/, estudo identificou uma tendência geral da influência da intensidade. À medida que a intensidade aumentava (/i/ > /a/ > /u/), as latências diminuíam e a amplitude aumentava (KIM et al., 2018).

Em relação à frequência, estudo observou que os sons da fala dominada por espectros de alta frequência, como /s/ e /j/, eliciam PEAC com amplitudes N1 e P2 menores, quando comparados com sons da fala de frequências mais baixas. Assim, sons da fala de baixa frequência podem, portanto, ativar regiões corticais mais superficiais e produzir respostas corticais de maior amplitude do que os sons de fala de alta frequência, quando são usados para o registro eletrodos de superfície no couro cabeludo (AGUNG et al., 2006).

Estudo que investigou a duração do estímulo pela comparação de duas durações de estímulo de 500 ms e 100 ms, sendo que os estímulos de 100 ms de duração foram encurtados de seu comprimento original em aproximadamente 200 ms. O PEAC eliciado com o estímulo mais curto obteve menores latências e maiores amplitudes para N1 e P2 para diferentes estímulos de fala utilizados no estudo. Parece não haver consenso na literatura sobre a duração ideal dos estímulos para gravações dos PEAC evocados pela fala (AGUNG et al., 2006).

A percepção de sinais acústicos complexos, como fala, depende da interação entre o processamento auditivo periférico e central. À medida que a informação viaja da cóclea para o córtex auditivo primário e associativo, o som que entra é sujeito a uma análise cada vez mais detalhada e refinada. Acredita-se que esses vários níveis de análise incluam processos automáticos de baixo nível que detectam, discriminam e agrupam sons que são semelhantes em atributos físicos, como frequência, intensidade e localização, bem como processos orientados a esquemas de nível superior que refletem a experiência dos ouvintes e conhecimento do ambiente auditivo (ALAIN e TREMBLAY, 2007).

A morfologia dos PEAC parece correlacionar-se com as características acústicas da fala, com variações que ocorrem em função da complexidade do estímulo, uma vez que o PEAC é componente exógeno (FRIZZO, 2021; AGUNG et al., 2006). Diante disso, torna-se relevante estudar as características acústicas e articulatórias dos sons da fala.

Os sons da fala e suas características

Os sons da fala são aqueles emitidos pelo aparelho vocal humano e que ocorre nas línguas do mundo. Estes sons, denominados de fonemas, podem ser caracterizados por um conjunto de traços (dimensões finitas), definidos acusticamente (KRAUS e NICOL, 2003). Os fonemas são pertinentes para veiculação de significado, são, portanto, sons que distinguem significado entre palavras (MATZENAUER, 2004).

Cada fonema é formado por um conjunto de traços distintivos, isto é, propriedades acústicos-articulatórios e perceptuais mínimas, que constituem os sons de uma língua e validam empiricamente as análises fonológicas. No nível fonético, os traços distintivos corresponderiam a escalas físicas que descrevem aspectos relacionados a evento de fala. No nível fonológico, eles são marcas de classificação abstrata que identificam os vocábulos de uma língua (CONE, 2015; SEARA et al., 2015).

Os traços distintivos são binários, isto é, definidos por dois pontos na escala física, representando a presença, pelo sinal positivo [+] e a ausência da propriedade,

pelo sinal negativo [-]. Assim, um fonema pode se distinguir do outro por um ou vários traços distintivos, tais como: sonoridade, continuidade e coronalidade (SOARES, 2020).

De acordo com Chomsky e Halle (1968), os traços distintivos dividem-se em traços de classe principal (silábico, consonantal e soante), de cavidade (coronal e anterior), de modo de articulação (contínuo, soltura retardada, tenso) e de fonte (vozeado e estridente).

Nos traços de classe principal, temos o silábico, que definem segmentos que constituem núcleo de uma sílaba; o consonantal, que ocorre quando o segmento é produzido com constrição parcial ou total do trato vocal; enquanto no soante a passagem de ar ocorre relativamente livre, possibilitando o vozeamento espontâneo. Nos traços de cavidade, o coronal define sons produzidos com o ápice da língua elevada; e o anterior ocorre quando o segmento é realizado com uma obstrução na região anterior do trato oral (SEARA et al., 2015).

Nos traços de modo de articulação, o traço contínuo é realizado com constrição do trato vocal que permite a passagem de ar durante toda a sua produção; na soltura retardada o trato vocal se abre gradualmente, caracterizando as africadas; o traço tenso é exclusivo das vogais e especifica sons produzidos com grande esforço. Por fim, os traços de fonte, no sonoro, o segmento é produzido com pregas vocais em vibração; e no estridente, os segmentos são produzidos com intensidade elevada de ruído (SEARA et al., 2015).

Como a estimulação sonora da fala geralmente é especificada pelas características das consoantes, a classificação das consoantes é importante para a análise da resposta. Normalmente, as consoantes são classificadas quanto ao modo e ponto de articulação (SONG et al., 2022).

Além das características fonéticas, as características acústicas do som devem ser consideradas. Os sons naturais podem ser complexos no que diz respeito tanto à composição de frequência quanto à variação temporal. Os fonemas, as unidades básicas da fala, contêm múltiplos componentes de frequência, chamados formantes, que podem ser combinados ao longo do tempo para produzir sílabas e palavras (Uppenkamp et al., 2006).

As características acústicas das consoantes são bastante variadas, pois as consoantes diferem, significativamente, entre si nas suas propriedades acústicas. Por esta razão, é difícil descrevê-las com qualquer conjunto único de medidas. Habitualmente, as consoantes são discutidas em grupos que são distintivos em suas características acústicas e articulatórias: oclusivas, fricativas, africadas, nasais, semivogais e líquidas (KENT e READE, 2015).

Considerando que o presente estudo fez uso das oclusivas, a revisão de literatura se restringirá a análise dessa classe de fonemas. Assim, no Português Brasileiro, são definidas como oclusivos os fonemas /p/, /b/, /t/, /d/, /k/ e /g/. Esses fonemas também denominados de oclusivos ou oclusivo-plosivo. As oclusivas são abundantemente representadas nas línguas do mundo e frequentemente estão entre as consoantes de maior ocorrência (KENT e READE, 2015).

As consoantes oclusivas são caracterizadas acusticamente pela ausência de energia, barra de vozeamento ou barra de sonoridade, ruído transiente ou soltura da oclusão (burst), VOT (*Voice Onset Time*), F2 de transição e configuração espectral de soltura da oclusão. A ausência de energia de energia no sinal acústico, que corresponde a oclusão; e o ruído transiente, que corresponde a soltura, são dois parâmetros que identificam o modo de articulação oclusivo. O VOT e a barra de vozeamento permitem caracterizar sons vozeados e não vozeados. O F2 de transição e a configuração espectral, associados ao tempo do VOT, permitem caracterizar o ponto de articulação (SILVA et al., 2017).

O F2 de transição corresponde à região de maior energia na transição do segundo formante, entre uma oclusiva e a vogal seguinte, estando relacionado com a cavidade posterior à obstrução. A relação estabelecida é que quanto menor a cavidade posterior à obstrução, maior o valor do F2 de transição (SILVA et al., 2017; CANTONI et al., 2022). Delattre et al. (1955) mostraram que os valores médios de F2 na transição entre a oclusiva velar e a vogal apontam para uma região de aproximadamente 3.000 Hz. Já o F2 na transição entre a oclusiva alveolar e a vogal apresentam uma região em torno de 1.800 Hz. Por sua vez, a transição de F2 entre a oclusiva bilabial e a vogal, os valores médios de frequência se localizam em torno de 750 Hz.

Estudo foi realizado com o objetivo de analisar acusticamente as consoantes plosivas e fricativas do Português Brasileiro a partir das variáveis duração e frequência nesses sons. Considerando os resultados dos fonemas oclusivos, a análise da variável duração, mostra que os sons surdos apresentaram valores menores do que os sonoros (/p/=31 ms; /b/=59 ms; /t/=36,12 ms; /d/=67,87 ms; /k/=55,12 ms; /g/=63,75 ms). A frequência foi analisada a partir da variação inicial e final contidas no formante F2, sendo este formante considerado o principal responsável pela inteligibilidade de fala. Os valores iniciais obtidos para as plosivas variaram entre 2617 e 4313 Hz (/p/= 3533 Hz; /b/= 2617 Hz; /t/= 4313 Hz; /d/= 4099 Hz; /k/= 3694 Hz; /g/= 3117 Hz) (MURPHY et al., 2009).

A configuração espectral mostra que as oclusivas alveolares [t, d] apresentam duas regiões espectrais proeminentes, com picos de faixa de frequência entre 800 e 1.600 Hz e um pico adicional de 1.800 Hz. Por isso, o padrão espectral das oclusivas alveolares é chamado de difuso ascendente. Por sua vez, as oclusivas velares [k, g] apresentam padrão espectral compacto, com picos de energia em regiões de média frequência entre 1.200 e 3.500 Hz. Para as oclusivas bilabiais, ocorre um padrão espectral descendente denominado difuso descendente, com picos na região de frequências baixas (SILVA et al., 2017).

A distinção entre os fonemas é percebida pelo córtex auditivo secundário, que realiza operações temporais para analisar os sinais acústicos contidos em cada fonema e que mudam rapidamente. Esse processamento permite que os ouvintes identifiquem os sons da fala com base em suas características fonéticas (KRAUS e NICOL, 2003).

No entanto, não se tem conhecimento de uma descrição mais detalhada sobre como acontece a aquisição perceptivo-auditiva. Ou seja, quais contrastes fonológicos são primeiramente percebidos, quais classes de sons podem favorecer ou não essa percepção, e, ainda, no interior de uma mesma classe de sons, quais os contrastes entre os segmentos que podem ou não favorecer sua percepção (BERTI et al., 2012).

Os traços distintivos são frequentemente considerados para estabelecer decisões clínicas na intervenção terapêutica, especialmente em relação às crianças com transtorno dos sons da fala. Assim, conhecer a interferência dos traços distintivos e das características acústicas dos fonemas no processamento da informação auditiva

em crianças e adultos normais poderá subsidiar importantes reflexões para prática clínica.

Diante do exposto pela literatura sobre a possibilidade de uso de diferentes estímulos de fala para eliciar os PEAC, a presente pesquisa surgiu para investigar como as diferenças estabelecidas por padrões comumente utilizados em uma análise linguística, como os traços distintivos, mobilizaria diferenças no processamento da informação auditiva. Assim, foi definida a hipótese na qual a quantidade de traços distintivos determinaria mudanças acústico-articulatórias de modo a promoverem diferentes respostas dos componentes de onda do PEAC, para a latência e amplitude.

ARTIGO ORIGINAL

Este capítulo apresenta o artigo original com dados coletados a partir do protocolo desenvolvido. O artigo intitulado níveis de discriminação auditiva por meio dos potenciais evocados auditivos corticais com estímulos de fala, que será submetido para análise na revista *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*.

NÍVEIS DE DISCRIMINAÇÃO AUDITIVA POR MEIO DOS POTENCIAIS EVOCADOS AUDITIVOS CORTICAIS COM ESTÍMULOS DE FALA

Resumo

Objetivo: comparar as respostas dos potenciais evocados auditivos corticais (PEAC) evocados por estímulos de fala, compostos por pares de sílabas que compartilham um, dois ou três traços distintivos para identificação de níveis de discriminação auditiva. **Método:** Trata-se de um estudo prospectivo, transversal, observacional, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa sob o número de CAAE 95748718.8.0000.5011. Foram desenvolvidos os estímulos de fala /ta/, /ga/, /ka/ e /da/ e criado um protocolo para definir níveis de discriminação auditiva em uma amostra de 68 participantes, distribuídos igualmente em dois grupos sem alteração auditiva ou de fala. O primeiro, formado por 34 adultos jovens, sendo 17 homens e 17 mulheres, média de idade de 24,1 anos ($\pm 3,0$ anos). O segundo foi composto por 34 crianças, sendo 17 meninos e 17 meninas, média de idade de 9,9 anos ($\pm 1,4$ anos). Para a seleção da amostra, os participantes foram submetidos a otoscopia, imitanciometria, audiometria tonal, potencial evocado auditivo de tronco encefálico e prova de fonologia do Teste de Linguagem Infantil ABFW. Foram analisadas as latências e amplitude dos PEAC, complexo P1N1P2N2, com três diferentes estímulos de fala. Os resultados foram analisados estatisticamente por meio dos testes o teste ANOVA para medidas repetidas, Teste *Sidak* e *T independente*. **Resultados:** A comparação entre os estímulos de fala, mostrou maior amplitude de P2 nos adultos para o estímulo /ga/ x /da/ nos adultos, não sendo verificada diferença entre as crianças. A comparação entre adultos e crianças, para todos os estímulos testados, mostrou menores latências dos adultos para P1 e N1 e diferenças de amplitudes para todos os componentes do complexo, com maior amplitude de P1 e N2 para as crianças. **Conclusão:** a comparação das respostas dos potenciais evocados auditivos corticais com estímulos de fala mostrou maior amplitude de P2 para o estímulo que compartilha dois traços distintivos, quando comparado com três traços nos adultos. Para as crianças, não houve diferença entre os estímulos.

Palavras-chave: Testes de Discriminação da fala. Potenciais evocados auditivos. Audição. Percepção da Fala.

1 INTRODUÇÃO

O exame de Potenciais Evocados Auditivos Corticais (PEAC) é utilizado para caracterizar a detecção neural e/ou discriminação de sons, auxiliando na avaliação e na reabilitação de pessoas com desordem na comunicação (TREMBLAY e CLINARD, 2015). Consiste num exame objetivo capaz de refletir a atividade neuroelétrica das vias auditivas (DIDONÉ et al., 2016).

As respostas geradas pelos PEAC correspondem a uma série de picos com polaridades negativas (N) e positivas (P), gerados ao longo da via auditiva, por um ou mais eventos cerebrais. Esses picos, evocados por estímulos acústicos, formam o complexo P1-N1-P2-N2, sendo possível analisar esses componentes quanto a sua latência e amplitude (REGAÇONE et al., 2014)

Dentre os estímulos utilizados, encontram-se o tom puro e a fala, que podem evocar os PEAC, eliciando respostas com diferentes características espectromorfológicas. A fala caracteriza-se como um estímulo complexo, que tem sido cada vez mais utilizado para evocar o PEAC, pois permite o monitoramento do desenvolvimento auditivo em crianças normais e em situação de risco de desenvolver distúrbios na comunicação (SWINK e STUART, 2012; OPPITZ et al., 2015; CONE, 2015).

Os sons da fala, denominados de fonemas, podem ser caracterizados por um conjunto de traços (dimensões finitas), definidos acusticamente (KRAUS e NICOL, 2003). Cada fonema é formado por um conjunto de traços distintivos, isto é, propriedades acústicos-articulatórios mínimas, que constituem os sons de uma língua. Assim, um fonema pode se distinguir do outro por um ou vários traços distintivos. Por terem função classificatória, os traços distintivos são binários, isto é, definidos por dois pontos na escala física, representando a presença, pelo sinal positivo [+] e a ausência da propriedade, pelo sinal negativo [-] (BISOL, 2005).

A distinção entre os fonemas é percebida pelo córtex auditivo secundário, que realiza operações temporais para analisar os sinais acústicos contidos em cada fonema e que mudam rapidamente. Esse processamento permite que os ouvintes identifiquem os sons da fala com base em suas características fonéticas (SPECHT, 2014). Estudos voltados aos potenciais evocados auditivos com estímulos de fala são

importantes para compreender como a complexidade do estímulo influencia nas características do potencial gerado, como a latência e amplitude (ALVARENGA et al., 2013).

Pesquisas mostram que as respostas dos PEAC variam em função da característica do estímulo apresentado (DIDONÉ et al., 2016; ALVARENGA et al., 2013; SILVA et al., 2017) e que a análise de diferentes estímulos para detecção da discriminação auditiva pode ter valor inestimável na prática clínica, pois demonstra diferentes níveis de dificuldade na discriminação dos sons, desde a percepção mais global até a discriminação entre diferenças acústicas mínimas que distinguem os fonemas (SILVA et al., 2017). Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo comparar as respostas dos PEAC evocados por estímulos de fala, compostos por pares de sílabas que compartilham um, dois ou três traços distintivos para identificação de níveis de discriminação auditiva.

2. MÉTODO

Trata-se de um estudo prospectivo, transversal, observacional, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa sob o número de CAAE 95748718.8.0000.5011, com parecer número 3.157.698. Todos participantes adultos e os pais/responsáveis pelas crianças assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). As crianças também confirmaram seu consentimento, assinando o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE).

Os participantes da pesquisa constituíram dois grupos: Grupo Estudo Adulto (GEA), constituído por jovens na faixa etária entre 18 anos e 30 anos e o Grupo Estudo Criança (GEC) formado por crianças, na faixa etária entre 7 anos e 12 anos. A idade de 12 anos é o parâmetro que caracteriza a criança no Estatuto da Criança e do Adolescente (1990).

Foi realizado o cálculo do tamanho da amostra para comparação de médias, tendo sido identificado 34 participantes para cada grupo. Todos os participantes incluídos deveriam ter audição normal, sem alteração de fala e ausência de queixas relacionadas ao processamento auditivo central. Foram excluídas pessoas com indícios de disfunção neurológica, psíquica ou déficit intelectual.

Para garantir os critérios de inclusão e exclusão, todos os participantes foram submetidos à entrevista, avaliação da audição com otoscopia, imitanciometria, audiometria tonal e potenciais evocados auditivos de tronco encefálico (PEATE), assim como avaliação da fala com Teste de Linguagem Infantil ABFW. Assim, foram admitidos os participantes com limiares auditivos tonais até 25 dB NA (no grupo adultos) e até 15 dB NA (no grupo criança), timpanogramas tipo “A”, reflexos acústicos ipsi e contralaterais presentes, presença das ondas I, II e V, ausência de processos fonológicos.

O exame de PEAC foi realizado com estímulos de fala natural desenvolvidos para a presente pesquisa. Os estímulos foram escolhidos considerando a quantidade de traços distintivos que compartilham. A sílaba /da/ foi usado como estímulo raro, pareado com as sílabas /ka/, /ga/ e /ta/, que se diferenciam do /da/ por três, dois e um traço distintivo, respectivamente.

O Quadro 1 apresenta os traços distintivos dos fonemas consonantais oclusivos, usados como estímulo de fala para este estudo.

Quadro 1: Distribuição dos traços distintivos para cada fonema

Fonemas	Traços distintivos analisados		
	Anterior	Coronal	Sonoro
/d/	+	+	+
/t/	+	+	-
/g/	-	-	+
/k/	-	-	-

A gravação dos estímulos foi realizada por um profissional da área de jornalismo que atua como repórter de uma emissora de televisão. O profissional foi indicado pela fonoaudióloga, que atua como consultora da emissora. A definição foi baseada considerando os seguintes critérios: ausência alteração vocal e precisão articulatória.

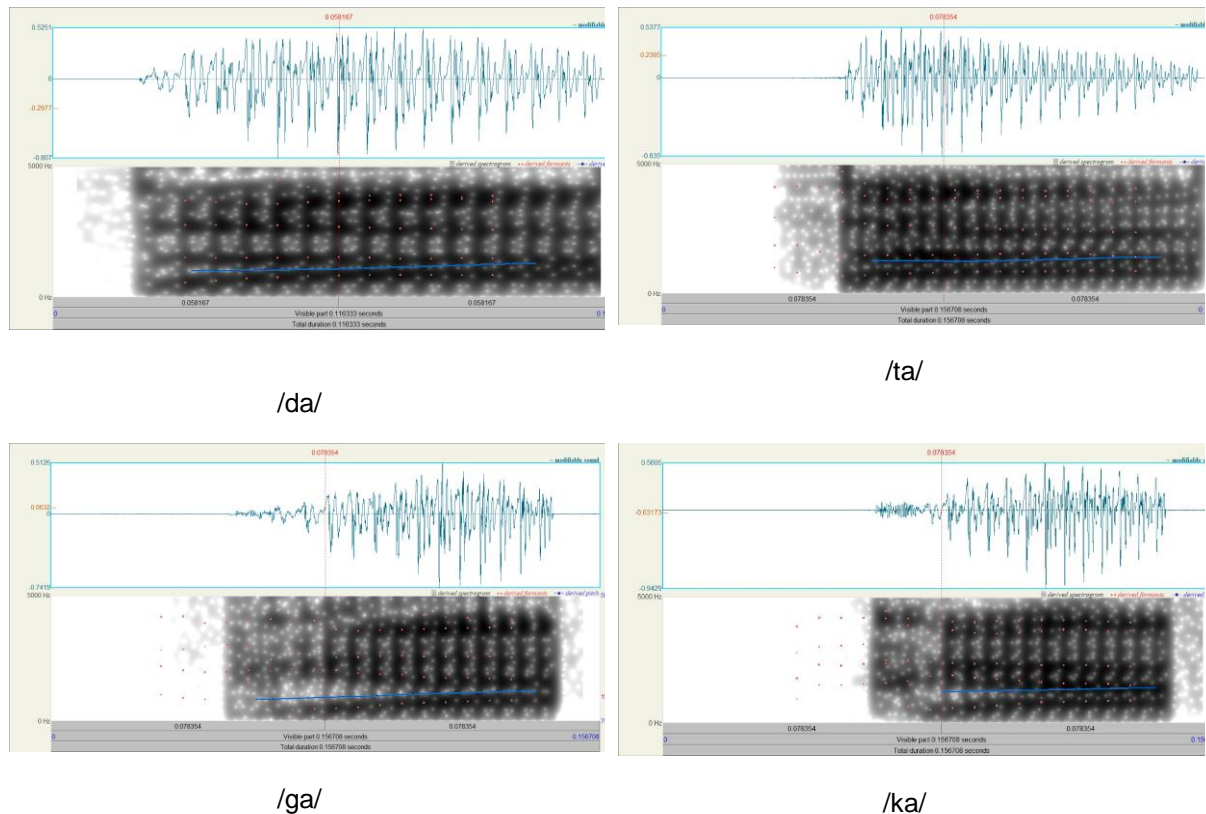
Os estímulos foram gravados na própria emissora de televisão, em uma cabine acusticamente tratada, com a utilização de microfone profissional posicionado à distância de 10 cm da boca. As sílabas alvo foram produzidas no meio de uma frase-veículo. O protocolo contava com a emissão de 20 frases, sendo cinco frases para cada sílaba, como por exemplo: “falo **DA**pa baixinho”.

Após a gravação, os dados foram analisados no software Praat, versão 6.1.12 (64-bit). Um avaliador externo fez o corte na amostra de fala para isolar as sílabas alvo, submetidas à análise de um segundo avaliador, também externo.

Para que fosse definido qual emissão seria utilizada, foi realizado um Teste de Bondade a partir da análise de dez julgadores, sendo cinco do sexo masculino e cinco do sexo feminino. Após a definição dos estímulos, foi realizada uma análise das características acústicas.

A Figura 1 mostra o espectrograma dos estímulos /da/, /ta/, /ga/ e /ka/ que foram usados. O Quadro 2 traz um resumo com as principais características acústicas das referidas sílabas.

Figura 1. Espectrogramas dos estímulos /da/, /ta/, /ga/ e /ka/



Quadro 2. Características acústicas dos estímulos

Características acústicas	ESTÍMULOS			
	/da/	/ta/	/ga/	/ka/
Duração	116,33 ms	156,71 ms	156,71 ms	156,71 ms
VOT	-96,588 ms	8,561 ms	-118,677 ms	17,789 ms
Média	170,77 Hz	185,56 Hz	162,78 Hz	187,46 Hz

F0	Mínima	161,05 Hz	181,31 Hz	149,36 Hz	180,41 Hz
	Máxima	183,46 Hz	194,45 Hz	175,73 Hz	193,98 Hz
	Mediana	169,20 Hz	183,57 Hz	163,15 Hz	187,21 Hz
	Desvio Padrão	8,31 Hz	5,01 Hz	9,45 Hz	4,98 Hz
Formantes	F1	821,44 Hz	799,93 Hz	477,83 Hz	552,25 Hz
	F2	1519,26 Hz	1477,06 Hz	2049,08 Hz	1864,55 Hz
	F3	2686,89 Hz	2581,33 Hz	2588,44 Hz	2401,66 Hz
	F4	3663,64 Hz	3683,52 Hz	3826,87 Hz	3700,26 Hz

Com a definição dos estímulos, foi realizado o exame dos PEAC. A avaliação foi realizada com o equipamento Navigator modelo PRO AEP, da Biologic® de dois canais. Para obtenção dos PEAC, o participante era acomodado em uma poltrona reclinável, em decúbito dorsal, de maneira confortável, alerta e desperto.

Em seguida, era realizada a limpeza da pele do participante, com pasta abrasiva (Nuprep®) nas regiões onde foram fixados os eletrodos com pasta eletrolítica Ten 20 conductive e fita adesiva micropore. Os eletrodos foram posicionados de acordo com a IES 10-20 (*International Electrode System*), com o ativo (Cz), terra (FPz) e referência M1 (mastoide direita) e M2 (mastoide esquerda). A impedância admitida foi igual ou menor que $3K\Omega$ e a impedância entre os eletrodos menores que $1 K\Omega$.

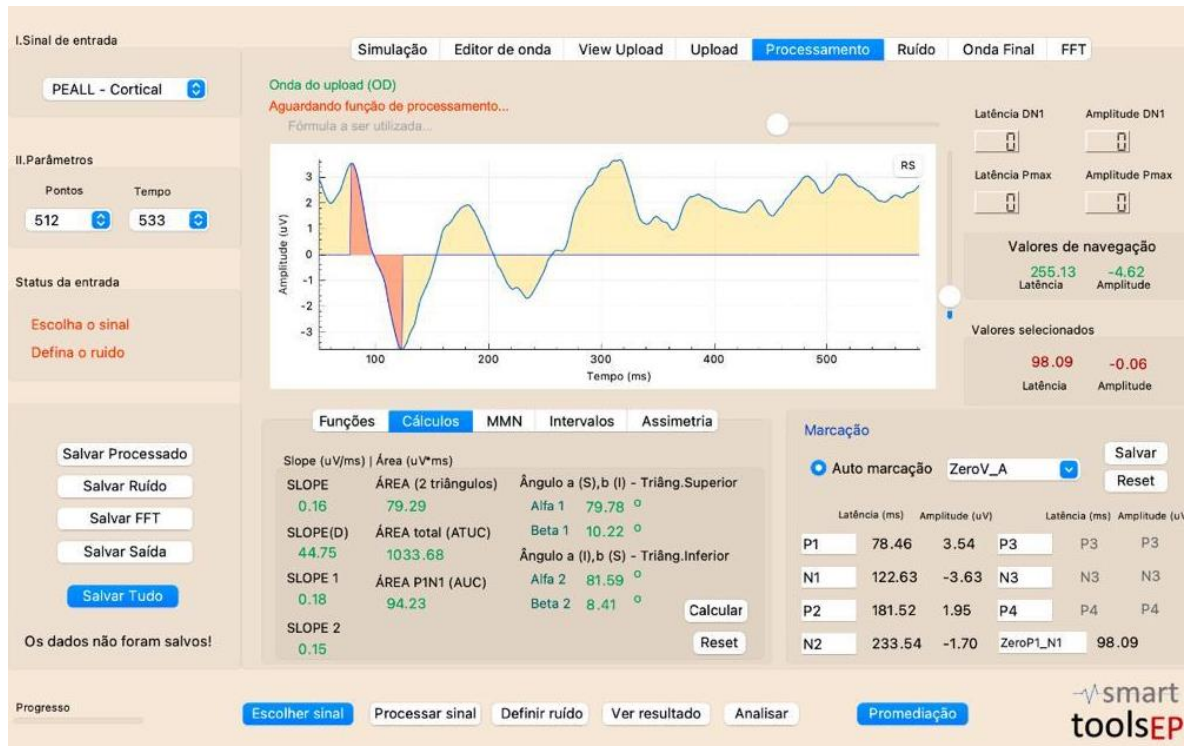
Foram utilizados pares de estímulos de fala natural /ka/ x /da/, /ga/ x /da/ e /ta/ x /da/ foram apresentados seguindo o paradigma oddball, com ocorrência de 80% do estímulo frequente e 20% de estímulo raro. Foram apresentadas duas varreduras para cada par de sílaba e a ordem de apresentação foi aleatória, definida pelo aplicativo *Random*.

Para aquisição dos PEAC foram utilizados os seguintes parâmetros: apresentação dos estímulos ocorreu de forma monoaural, com fone de inserção, posicionado na orelha direita. Foram apresentados 750 estímulos, sendo 150 raros, na intensidade de 70 dBNA. A taxa de estimulação foi de 1,7 estímulos/segundos e a polaridade alternada. Foram usados filtros entre 0,1 e 30 Hz e os artefatos não puderam exceder 10% do número total de estímulos raros.

Foram analisadas as latências e amplitudes do complexo P1, N1, P2, N2, slope e área P1N1 dos PEAC. O aplicativo *Smart Tools EP* (versão 1.83) foi utilizado para análise dos resultados, conforme pode ser observado na Figura 2. A marcação foi realizada na resposta de Cz, referente ao estímulo raro. A análise das ondas que

formam o complexo foi realizada de forma independente, por dois profissionais com experiência em eletrofisiologia, seguindo os critérios definidos na literatura (FRIZZO, 2021). As divergências encontradas entre os avaliadores foram discutidas em reunião de consenso.

Figura 2. Tela de análise do *Smart Tools EP*



Método Estatístico

Para detectar diferenças entre os três pares de estímulos intragrupo foi usado o teste ANOVA para medidas repetidas, sendo analisado o teste de *Sphericity*, seguido do *Sphericity Assumed* ou do *Greenhouse-Geiser*. Quando encontrada diferença estatisticamente significativa foi realizada a análise entre os pares com o Teste *Sidak*. Para análise entre os sexos intragrupo e para para comparação intergrupo utilizado o teste *T independente*. Os valores de p foram considerados significativos quando menores que 0,05 e o valor de beta estabelecido foi de 0,1. O software utilizado para a obtenção dos cálculos foi o *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), versão 23.0.

3. RESULTADOS

Um total de 68 participantes fizeram parte da pesquisa, distribuídos em dois grupos: grupo estudo adulto (GEA) e grupo estudo criança (GEC). O GEA foi constituído por 34 adultos jovens, sendo 17 homens e 17 mulheres, média de idade de 24,1 anos ($\pm 3,0$ anos). O GEC foi composto por 34 crianças, sendo 17 meninos e 17 meninas, média de idade de 9,9 anos ($\pm 1,4$ anos).

A Tabela 1 mostra a comparação dos valores de latência e amplitude dos PEAC no GEA de acordo com o estímulo apresentado. Com a análise estatística, é possível verificar que houve diferença de desempenho entre os estímulos para a amplitude de P2. A análise com Teste *Sidak* mostrou que a diferença está presente para a comparação entre os estímulos /ka/ x /da/ e /ga/ x /da/ ($p = 0,024$). Para as demais análises /ta/ x /da/ e /ga/ x /da/ ($p = 0,370$) e /ta/ x /da/ e /ka/ x /da/ ($p = 0,516$).

Tabela 1. Comparação intragrupo das latências e das amplitudes dos PEAC do GEA, segundo o estímulo apresentado.

Estímulos		Latências do GEA				Amplitudes do GEA			
		P1	N1	P2	N2	P1	N1	P2	N2
/ta/ x /da/	M	72,82	120,74	184,42	237,73	1,89	-1,43	1,53	-1,44
	DP	9,20	14,30	24,81	21,48	1,39	1,30	1,11	1,30
	P10	60,11	103,59	161,23	214,26	0,21	-3,17	0,38	-3,25
	P90	81,98	137,25	209,10	237,73	3,49	0,00	3,08	0,18
/ga/ x /da/	M	70,37	114,87	183,29	234,72	2,11	-1,19	1,83	-1,52
	DP	11,54	16,81	28,13	26,21	1,10	1,43	1,07	1,05
	P10	58,83	93,28	158,25	208,70	0,91	-2,83	0,58	-2,69
	P90	85,13	133,30	209,88	265,34	3,30	0,69	2,92	-0,14
/ka/ x /da/	M	70,56	118,82	178,73	234,02	1,85	-1,69	1,20	-1,43
	DP	9,33	19,35	22,63	21,48	1,07	1,26	1,20	1,26
	P10	57,83	91,42	158,45	212,53	0,58	-3,19	-0,62	-2,52
	P90	82,52	144,81	196,34	257,68	3,31	0,08	2,70	0,36
	p-valor	,541	,250	,490	,766	,514	,063	,028*	,910

Legenda: GEA: grupo estudo adulto. M: média. DP: desvio padrão. P10: percentil 10. P90: percentil 90. Teste ANOVA para medidas repetidas. *Valores estatisticamente significantes p-valor < 0,05

A Tabela 2 compara as latências e amplitudes do GEC entre os estímulos de fala. Os resultados mostram que não houve diferença estatisticamente significativa quando comparada a latência e amplitude do complexo P1, N1, P2, N2 entre os três estímulos de fala.

Tabela 2. Comparação intragrupo das latências e das amplitudes dos PEAC do GEC, segundo o estímulo apresentado.

Estímulos		Latências do GEC				Amplitudes do GEC			
		P1	N1	P2	N2	P1	N1	P2	N2
/ta/ x /da/	Média	97,90	146,46	178,56	248,11	4,09	0,31	0,35	-4,48
	DP	17,70	34,58	34,86	23,17	2,09	2,07	2,67	1,86
	P10	77,42	102,54	132,39	225,66	1,98	-2,02	-2,28	-6,56
	P90	120,78	189,43	227,14	278,11	6,39	2,96	3,67	-2,11
/ga/ x /da/	Média	98,28	147,83	187,34	242,47	4,29	-0,19	-0,31	-4,56
	DP	19,85	26,88	28,00	26,74	2,41	2,23	2,67	2,37
	P10	72,68	110,20	157,77	221,09	2,30	-2,60	-4,27	-7,31
	P90	122,12	173,75	217,31	264,06	7,31	2,62	2,72	-3,02
/ka/ x /da/	Média	99,67	149,16	181,18	244,56	4,03	0,01	0,42	-4,33
	DP	14,45	25,49	26,86	22,51	1,67	2,15	1,96	1,68
	P10	83,02	122,57	146,75	220,09	2,36	-2,99	-2,87	-6,25
	P90	113,88	180,03	206,82	269,08	5,77	2,39	2,79	-2,78
p-valor		,811	,881	,286	,582	,328	,592	,263	,690

Legenda: GEC: grupo estudo criança. M: média. DP: desvio padrão. P10: percentil 10. P90: percentil 90. Teste ANOVA para medidas repetidas. *Valores estatisticamente significantes p-valor < 0,05

Para ambos os grupos foi realizada, ainda, a comparação entre os pares de estímulos para os parâmetros de slope e área P1N1, entretanto, não foram encontradas diferenças estatísticas.

As Tabelas 3 e 4 apresentam a comparação intergrupo dos PEAC para cada estímulo de fala investigado, sendo que a Tabela 3 mostra os valores referentes à latência e a Tabela 4 apresenta os valores de amplitude.

Tabela 3. Comparação intergrupo das latências entre o GEA e o GEC, segundo o estímulo apresentado.

Estímulos		Latências do GEA				Latências do GEC				p-valor
		M	DP	P10	P90	M	DP	P10	P90	
/ta/ x /da/	P1	72,82	9,20	60,11	81,98	97,90	17,70	77,42	120,78	,000*
	N1	120,74	14,30	103,59	137,25	146,46	34,58	102,54	189,43	,000*
	P2	184,42	24,81	161,23	209,10	178,56	34,86	132,39	227,14	,428
	N2	237,73	21,48	214,26	237,73	248,11	23,17	225,66	278,11	,060
/ga/ x /da/	P1	70,37	11,54	58,83	85,13	98,28	19,68	72,68	122,12	,000*
	N1	114,87	16,81	93,28	133,30	147,83	26,88	110,20	173,75	,000*
	P2	183,29	28,13	158,25	209,88	187,34	28,00	157,77	217,31	,554
	N2	234,72	26,21	208,70	265,34	242,47	26,74	221,09	264,06	,232
/ka/ x /da/	P1	70,56	9,33	57,83	82,52	99,67	14,45	83,02	13,88	,000*
	N1	118,82	19,35	91,42	144,81	149,16	25,49	122,57	180,03	,000*
	P2	178,73	22,63	158,45	196,34	181,18	26,86	146,75	206,82	,685
	N2	234,02	21,48	212,53	257,68	244,56	22,51	220,08	269,08	,053

Legenda: GEA: grupo estudo adulto. GEC: grupo estudo criança. M: média. DP: desvio padrão. P10: percentil 10. P90: percentil 90. Teste *T independente*. *p-valor < 0,05

Os resultados da Tabela 3 mostram que, em todos os estímulos de fala testado, houve diferença estatisticamente significativa entre o GEA e o GEC para os componentes P1 e N1, com menores latência para o GEA. Não foram observadas diferenças para P2 e N2.

Tabela 4. Comparação intergrupo das amplitudes entre o GEA e o GEC, segundo o estímulo apresentado.

Estímulos	Amplitude do GEA				Amplitude do GEC				p-valor	
	M	DP	P10	P90	M	DP	P10	P90		
/ta/ x /da/	P1	1,89	1,39	0,21	3,49	4,09	2,09	1,98	6,39	,000*
	N1	-1,43	1,30	-3,17	0,00	0,31	2,07	-2,02	2,96	,000*
	P2	1,53	1,11	0,38	3,08	0,35	2,67	-2,28	3,67	,022*
	N2	-1,44	1,30	-3,25	0,18	-4,48	1,86	-6,56	-2,11	,000*
/ga/ x /da/	P1	2,11	1,10	0,91	3,30	4,29	2,41	2,30	7,31	,000*
	N1	-1,19	1,43	-2,83	0,69	-0,19	2,23	-2,60	2,62	,032*
	P2	1,83	1,07	0,58	2,92	-0,31	2,67	-4,27	2,72	,000*
	N2	-1,52	1,05	-2,69	-0,14	-4,56	2,37	-7,31	-3,02	,000*
/ka/ x /da/	P1	1,85	1,07	0,58	3,31	4,03	1,67	2,36	5,77	,000*
	N1	-1,69	1,26	-3,19	0,08	0,01	2,15	-2,99	2,39	,000*
	P2	1,20	1,20	-0,62	2,70	0,42	1,96	-2,87	2,79	,052
	N2	-1,43	1,26	-2,52	0,36	-4,33	1,68	-6,25	-2,78	,000*

Legenda: GEA: grupo estudo adulto. GEC: grupo estudo criança. M: média. DP: desvio padrão. P10: percentil 10. P90: percentil 90. Teste *T independente*. *p-valor < 0,05

Em relação à amplitude, a Tabela 4 mostra que houve diferença estatisticamente significativa entre o GEA e o GEC para todos os componentes, em todos os estímulos testados, exceto P2 no estímulo /ka/ x /da/, cujo p valor foi ($p = 0,052$). O GEC apresentou maior amplitude para os componentes P1 e N2 em todos os estímulos.

A tabela 5 mostra os intervalos de referência dos componentes de onda dos PEAC, para a latência e a amplitude, considerando a média de todos os estímulos de fala.

Tabela 5. Intervalos de referência dos PEAC no GEA e no GEC

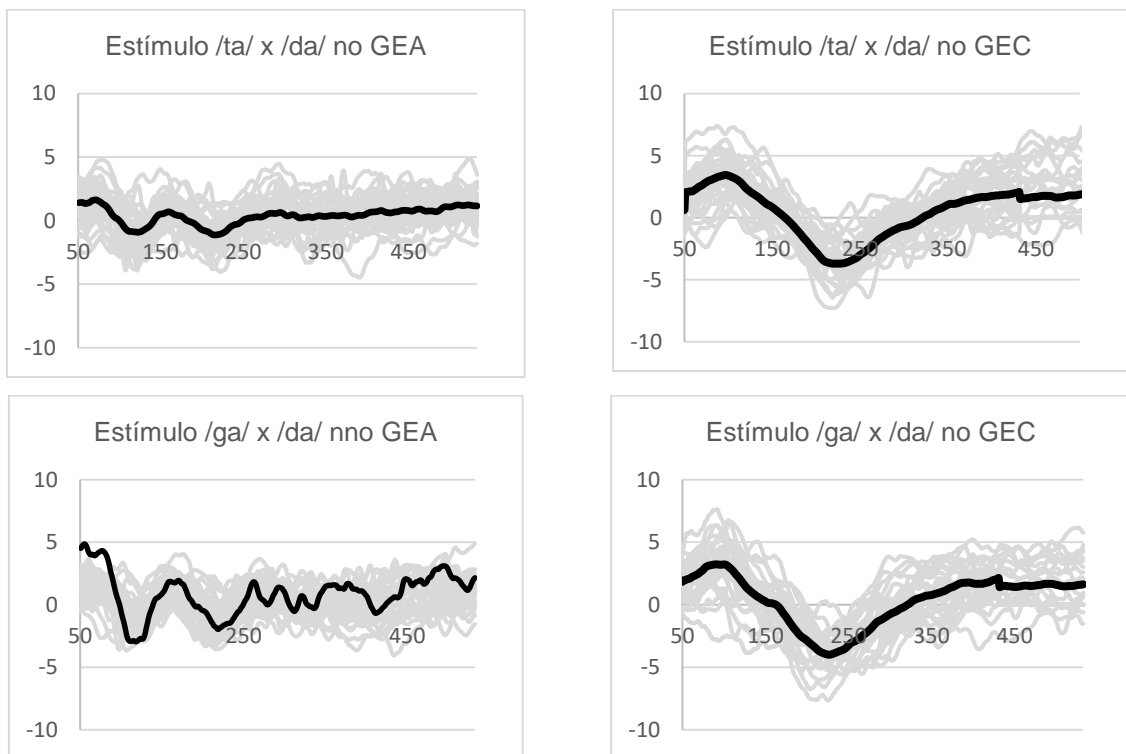
Estímulos	Latência				Amplitude				
	M	DP	P10	P90	M	DP	P10	P90	
GEA	P1	71,25	10,04	58,83	82,39	1,95	1,19	0,43	3,37
	N1	118,14	16,96	94,27	137,32	-1,44	1,34	-3,19	0,34
	P2	182,14	25,16	159,10	206,94	1,52	1,14	0,31	2,91
	N2	235,34	22,99	212,14	262,18	-1,46	1,20	-2,78	0,16
	P1	98,61	17,32	73,85	120,77	4,14	2,06	2,08	6,45

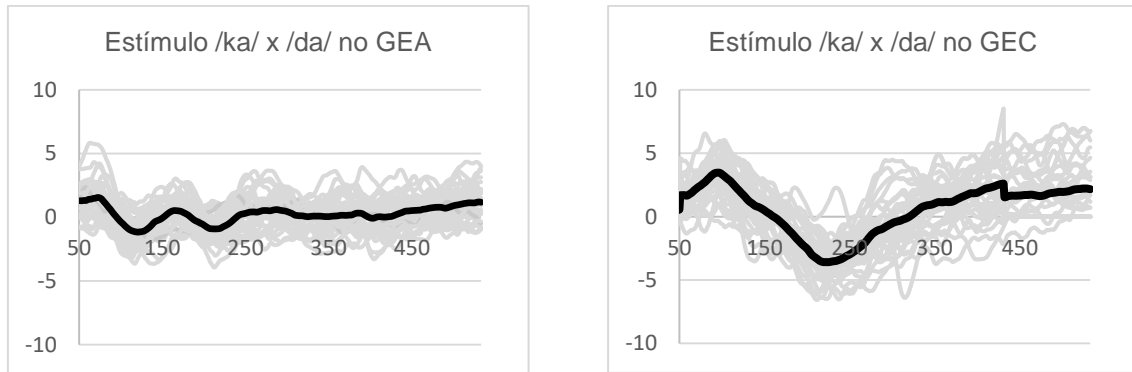
GEC	N1	147,82	28,99	110,08	180,45	0,05	2,14	-2,44	2,69
	P2	182,36	30,04	145,21	218,25	0,15	2,45	-3,46	2,97
	N2	245,05	24,09	222,26	271,63	-4,46	1,98	-6,57	-2,69

Legenda: GEA: grupo estudo adulto. GEC: grupo estudo criança. M: média. DP: desvio padrão. P10: percentil 10. P90: percentil 90.

Para análise da morfologia, os dados do GEA e do GEC foram resumidos pelo cálculo das formas de onda médias, com o grand average, de cada estímulo de fala utilizado, conforme pode ser observado na Figura 3. Assim, todas as formas de onda para todos os estímulos foram calculadas ponto a ponto no tempo para criar uma forma de onda média, possibilitando analisar a morfologia entre os estímulos e entre os grupos.

Figura 3. *Grand average*





Legenda: Grand average GEA e GEC

Se analisamos a morfologia, é possível observar no GEA melhor definição dos componentes do complexo P1, N1, P2, N2, com maiores amplitudes no estímulo /ga/ x /da/. A morfologia do GEC mostra melhor definição de P1 e N2, sendo o traçado semelhante entre os estímulos testados.

4. DISCUSSÃO

Os resultados da presente pesquisa com PEAC eliciados a partir de três diferentes pares de estímulos /ta/ x /da/, /ga/ x /da/ e /ka/ x /da/ serão discutidos com base nos traços distintivos que os pares de sílabas compartilham, nas características acústicas de cada estímulo e nos dados da literatura proveniente de outros estudos.

Na comparação intragrupo, quando realizada a comparação do complexo P1, N1, P2, N2 entre os pares de estímulos no GEA, foi verificada diferença estatisticamente significativa para a amplitude de P2. O componente P2 é descrito na literatura como correlato da discriminação auditiva, sendo sua amplitude fortemente relacionada a essa habilidade (TREMBLAY et al., 2014; FRIZZO e ADVÍCULA, 2018). O aumento na amplitude da onda, caracterizada como uma mudança na sua morfologia, indica o recrutamento de um maior número de neurônios ativados, refletindo uma maior sincronia neural e, conseqüentemente, uma melhor percepção de fala (CONE-WESSION e WUNDERLICH, 2003; TREMBLAY et al., 2001).

O resultado indica que os pares de estímulos considerados neste estudo /ta/ x /da/, /ga/ x /da/ e /ka/ x /da/ foram capazes de produzir diferenças nos PEAC, evidenciadas especificamente pela amplitude de P2, que é responsável pela

discriminação auditiva. Foi realizada uma análise entre os pares de sílabas, tendo sido identificado que a diferença de amplitude de P2 é observada entre os pares /ga/ x /da/ e /ka/ x /da/, com maior amplitude para /ga/ x /da/. A análise dos traços distintivos mostra que o par de sílabas /ka/ x /da/ se diferencia por três traços, enquanto /ga/ x /da/ se diferencia por dois traços.

Esse resultado contraria a hipótese inicial, pois era esperado que uma maior diferença de traços distintivos, marcasse uma maior facilidade na discriminação auditiva, evidenciada por menor latência e maior amplitude. Assim, a hipótese inicial era que diferenças estatisticamente significantes fossem encontradas na comparação entre os pares de sílabas /ka/ x /da/, que se diferencia por três traços distintivos; e /ta/ x /da/, que se diferencia por apenas um traço distintivo.

Ao considerar os contrastes de ponto de articulação e vozeamento presente nas oclusivas que constituem os pares de estímulos, verifica-se que o estímulo /ga/ x /da/ se diferencia em relação ao ponto articulatório, o /ta/ e /da/ se diferencia em relação ao vozeamento e o estímulo /ka/ e /da/ apresenta diferença em relação a ambos os contrastes (ponto de articulação e vozeamento).

A análise perceptual das oclusivas em crianças mostrou que as pistas que marcam o vozeamento parecem ser mais robustas (salientes) do que as pistas que marcam o ponto de articulação. Considerando apenas o ponto de articulação das oclusivas, verifica-se, também, uma assimetria perceptivo-auditiva, em que a distância fonética parece desempenhar um papel fundamental na saliência perceptivo-auditiva (BERTI et al., 2012).

Contrariamente, a maior amplitude de P2 observada no GEA para o estímulo /ga/ x /da/, demonstra que o contraste de ponto de articulação favoreceu a discriminação auditiva na presente pesquisa. Restrições devem ser consideradas na comparação entre os estudos no que se refere as diferenças entre as populações (crianças x adultos) e entre as avaliações (perceptual e eletrofisiológica). Entretanto, cabe salientar que ambos foram realizados com falantes do Português Brasileiro e usaram estímulos de fala natural.

Além dos contrastes articulatórios, investigamos as diferenças acústicas entre esses pares de estímulo, /ka/ x /da/ e /ga/ x /da/, com base no parâmetro de frequência do F2 de transição. Assim, podemos observar a sílaba /ga/ com F2 de transição de

2049,08 Hz e a sílaba /ka/ com F2 de transição de 1864,55 Hz foram pareadas com a sílaba /da/ com F2 de transição de 1519,26 Hz. Se considerarmos a diferença de F2 de transição entre o estímulo frequente e raro, temos, no par de sílaba /ga/ x /da/, uma diferença de 529,82 Hz; e, em /ka/ x /da/, 345,29 Hz. Com isso, é possível que a maior amplitude de P2, encontrada no par de sílaba /ga/ x /da/, esteja relacionada a uma maior diferença presente em F2 de transição que favoreceu a discriminação auditiva.

Frizzo (2021), afirma que, embora haja um aumento no número de estudos com PEAC, ainda não existem dados normativos bem definidos. Diante disso, a discussão da média de latência e amplitude busca contribuir para o estabelecimento de valores referência para os PEAC na população de adultos e crianças. Apesar da diferença existente entre os protocolos, quando analisados em conjunto, os estudos nacionais com estímulo de fala, contribuem para definição de valores de latência nesta população. A definição desse parâmetro representa o primeiro passo para utilização dos PEAC no âmbito clínico.

Os intervalos de referência dos PEAC no GEA e no GEC são observados na Tabela 5. Se considerarmos o desvio padrão, resultados semelhantes ao GEA foram encontrados em estudos brasileiros, que também usaram estímulos de fala com a população adulto jovem (DIDONÉ et al., 2016; OPPITZ et al., 2015). No GEC, os dados apresentados concordam com estudos nacionais que também usaram estímulos de fala na população infantil (MATAS et al., 2015; SOUZA et al., 2018). Menores latências foram encontradas em (SILVA et al., 2017).

Em relação à amplitude, não foram identificados estudos para confrontar os dados da população adulta, mas os dados do GEC discordam de estudo anterior (SILVA et al., 2017). Autores afirmam que a amplitude é uma medida que apresenta grande variabilidade individual (EGGERMONT e CURTIS, 2003; PERSON et al., 2005). Possivelmente, por esta razão, muitos estudos se detêm nos resultados referentes a latência.

A comparação das latências dos PEAC entre o GEA e o GEC, para todos os estímulos de fala testados, revelou diferenças para os componentes P1 e N1, com menores latências os adultos. Essas diferenças são descritas na literatura e refletem o processo de maturação da via auditiva. Diferenças para todos os componentes do complexo P1, N1, P2 e N2, também com menores latências nos adultos (SONG et al.,

2022). Ventura et al. (2009) encontrou diferença entre adultos e crianças na latência dos componentes N1 e P2, sendo a média de latência nos adultos menor entre 33 a 69ms para o componente N1 e entre 37 a 80ms para o componente P2.

Para a amplitude, foram identificadas diferenças estatisticamente significantes entre GEA e GEC para todos os componentes do complexo P1, N1, P2, N2, em todos os estímulos de fala. As crianças deste estudo apresentaram maior amplitude para P1 e N2, sendo estes componentes os mais observados e descritos na população pediátrica (SILVA et al., 2017). O pico P1 é observado desde o nascimento, considerado um biomarcador da atividade auditiva no córtex, sendo descrito com maior amplitude na infância (AGUNG et al., 2006; VENTURA et al., 2009; FRIZZO, 2021).

O *grand average* mostra as formas de onda médias para cada um dos estímulos de fala, tanto no GEA, quanto no GEC. A visualização do GEC mostra maior evidência de P1 e N2, enquanto no GEA, todos o complexo pode ser visualizado. O processo maturacional do sistema auditivo central acontece de maneira gradativa, sendo caracterizado por aumento na definição morfológica, sendo as maiores modificações observadas ao se comparar crianças e adultos (VENTURA et al., 2009).

Além disso, a morfologia das ondas mostra que o estímulo /ga/ x /da/ marcou maior amplitude no GEA, não sendo identificadas diferenças entre os estímulos para o GEC. A análise do traçado das ondas observada no *grand average* reflete os dados estatísticos anteriormente discutidos.

Os estímulos de fala escolhidos para a presente pesquisa a partir da diferenciação entre os traços distintivos não mostrou ser sensível para indicar níveis de discriminação auditiva em adultos e crianças com desenvolvimento típico. Os resultados encontrados demonstram que essa população é capaz de realizar a discriminação auditiva sem grande esforço, mesmo quando a tarefa envolve fonemas que se diferenciam por apenas um traço distintivo, como os pares mínimos.

A discussão sobre os níveis de discriminação auditiva não deve ser encerrada com este estudo, pois devemos considerar a hipótese de que essa diferenciação pode estar presente em outras populações, especialmente em crianças com transtorno dos sons da fala, pela relação existente entre a percepção e a produção dos fonemas. Outro aspecto a ser considerado é estender a investigação para outras classes de

fonemas, para que, gradativamente, se possa conhecer como os diferentes estímulos repercutem nos PEAC.

Limitação do estudo:

Os traços distintivos não demonstraram ser um bom parâmetro para definir níveis de discriminação auditiva. Pode ser considerada uma limitação deste estudo o fato de não ter testado o estímulo /ba/ x /da/, que é frequentemente usado para eliciar os potenciais evocados auditivos. Além disso, as diferenças entre os protocolos de pesquisas limitam a comparação entre os estudos.

5. CONCLUSÃO

Foi encontrada maior amplitude de P2 no estímulo /ga/ x /da/, quando comparado com /ka/ x /da/ nos adultos. A comparação entre adultos e crianças, para todos os estímulos testados, mostrou diferenças para P1 e N1, com menores latências para adultos e diferenças de amplitudes para todos os componentes do complexo, com maior amplitude de P1 e N2 para as crianças. Não foi possível identificar a existência de níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais, a partir dos estímulos de fala testados /ta/ x /da/, /ga/ x /da/ e /ka/ x /da/.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Termbly k, Clinard C. Cortical auditory-evoked potentials. In. Katiz J, Chasin M, English K, Hood LJ, Tillery KL. Handbook of clinical audiology. 7ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2015.
2. Didoné DD, Oppitz SJ, Folgearini J, Biaggi EPV, Garcia MV. Auditory Evoked Potentials with Different Speech Stimuli: a Comparison and Standardization of Values. Int Arch Otorhinolaryngol. 2016; 20(2):99-104.
3. Regaçone SF, Gução ACB, Giacheti CM, Romero ACL, Frizzo ACF. Potenciais evocados auditivos de longa latência em escolares com transtornos específicos de aprendizagem. Audiol Commun Res. 2014; 19(1):13-8.
4. Swink S, Stuart A. Auditory Long Latency Responses to Tonal and Speech Stimuli. J Speech Lang Hear Res. 2012; 55:447-59.

5. Oppitz SJ, Dodoné DD, Silva DD, Gois M, Folgearnini J, Ferreira GC, Garcia MV. Long-latency auditory evoked potentials with verbal and nonverbal stimuli. *Braz. j. otorhinolaryngol.* 2015; 81(6):647-652.
6. Cone BK. Infant Cortical Electrophysiology and Perception of Vowel Contrasts. *Int J Psychophysiol.* 2015; 95(2):65–76.
7. Kraus N, Nicol T. Aggregate neural responses to speech sounds in the central auditory system. *Speech Communication.* 2003; 41:35-47.
8. Bisol L. Introdução a estudos de fonologia do português brasileiro. 4 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2005.
9. Specht K. Neuronal basis of speech comprehension. *Hear Res.* 2014; 307(378):121–35.
10. Alvarenga KF, Vecente LC, Lopes LCF, Silva RA, Banhara MR, Lopes A., et al. The influence of speech stimuli contrast in cortical auditory evoked potentials. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2013; 79(3):336-41.
11. Silva LS, Regaçone SF, Oliveira ACS, Oliveira LS, Fernandes FT, Frizzo ACF. Potenciais corticais auditivos: uso de diferentes estímulos de fala em populações infantis. *Audiol Commun Res.* 2017; 22:1/6.
12. Wertzner HF. Fonologia. In.: ANDRADE, C. R. F.; et. al. ABFW: Teste de linguagem infantil nas áreas de Fonologia, Vocabulário, Fluência e Pragmática. Carapicuíba: Pró-Fono, 2000.
13. Frizzo ACF. Potenciais evocados auditivos corticais. In.: Menezes PL et al. Manual de eletrofisiologia e eletroacustica. Ribeirão Preto: Booktoy, 2021.
14. Tremblay KL, Ross B, Inoue K, McClannahan K, Collet G. Is the auditory evoked P2 response a biomarker of learning? *Front. syst. neurosci.* 2014; 8:28.
15. Frizzo ACF, Advíncula KP. Potenciais evocados auditivos de longa latência: conceitos e aplicações clínicas. In.: Menezes PL et al. Tratado de eletrofisiologia para audiologia. Ribeirão Preto: Booktoy, 2018.
16. Cone-Wesson B, Wunderlich J. Auditory evoked potentials from the cortex: audiology applications. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2003; 11(5):372-377.
17. Tremblay K, Kraus N, McGee T, et al. Central Auditory Plasticity: Changes in the N1-P2 Complex after Speech-Sound Training. *Ear and Hearing.* 2001; 22(2):79-90.
18. Berti LC, Falavigna AE, Santos JB, Oliveira LA. Desempenho perceptivo-auditivo de crianças na identificação de contrastes fonológicos entre as oclusivas. *J Soc Bras Fonoaudiol.* 2012;24(4):348-54.

19. Murphy CRB, Pagan-Neves LO, Schochat E, et al. Análise acústica de características temporais de consoantes no Português Brasileiro. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2009;14(3):300-304.
20. Agung K, Purdy SC, McMahon CM *et al.* The Use of Cortical Auditory Evoked Potentials to Evaluate Neural Encoding of Speech Sounds in Adults. *J Am Acad Audiol.* 2006; 17:559–572.
21. Matas CG, Silva FBL, Carrico B, *et al.* Potenciais evocados auditivos de longa latência em campo sonoro em crianças audiológicamente normais. *Audiol Commun Res.* 2015; 20(4):305-12.
22. Souza AEH, Ferreira L, Bertuol B, *et al.* Potencial evocado auditivo de longa latência em crianças com desenvolvimento típico. *Distúrb Comun, São Paulo.* 2018; 30(3): 585-594.
23. Eggermont JJ, W. Ponton CW. Auditory-evoked Potential Studies of Cortical Maturation in Normal Hearing and Implanted Children: Correlations with Changes in Structure and Speech Perception. *Acta Otolaryngol.* 2003; 123:249–252
24. Person OC, Marone MR, Jardim M, *et al.* A utilização dos potenciais evocados auditivos como método diagnóstico em medicina. *Arq. Med. ABC.* 2005; 30(1):5-10.
25. Song H, Jeon S, Shin Y, et al. Effects of Natural Versus Synthetic Consonant and Vowel Stimuli on Cortical Auditory-Evoked Potential. *J Audiol Otol.* 2022; 26(2):68-75
26. Ventura LMP, Costa Filho OA, Alvarenga KF. Maturação do sistema auditivo central em crianças ouvintes normais. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica.* 2009; 21(2):101-106.

ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Este capítulo apresenta um artigo de revisão sistemática com meta-análise sobre os potenciais evocados auditivos corticais em crianças com transtorno fonológico, submetido à análise do *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.

Long latency auditory evoked potentials in phonological disorder: systematic review with meta-analysis

FIRST AUTHORS

Thaís Nobre Uchôa Souza^a and Ranilde Cristiane Cavalcante Costa^a

These two authors contributed equally to the project - Conception, study design, data acquisition, data analysis and discussion, and article writing.

AUTHORS

Luís Gustavo Gomes da Silva^a - Data acquisition, data analysis and discussion, and article writing.

Aline Tenório Lins Carnaúba^{a,c} - Study design, data acquisition, data analysis and discussion, and article writing.

Maria Cecilia dos Santos Marques^a - Data acquisition, data analysis and discussion, and article writing.

Kelly Cristina Lira de Andrade^{a,c} - Data acquisition, data analysis and discussion, and article writing.

Ana Claudia Figueiredo Frizzo^b - Data acquisition, data analysis and discussion, and article writing.

Pedro de Lemos Menezes^{a,c} - Drafting the work or revising it critically for important intellectual content and final approval of the version to be published.

^aState University of Health Sciences of Alagoas

Address: Street Dr. Jorge de Lima, 113 - Trapiche da Barra, Maceió - AL, 57010-300, Brazil.

^bSão Paulo State University – Marília

Address: Boulevard Vicente Ferreira, 1278 - Cascata, Marília – São Paulo, 17515-000, Brazil.

^cCesmac University Center

Address: Street da Harmônia - Farol, Maceió - AL, 57081-350, Brazil.

Corresponding Author

Thaís Nobre Uchôa Souza

Street Manoel Ribeiro da Rocha, 26, Ponta Verde, Maceió, Alagoas, Brazil.

Post Code: 57035-395. Phone: +55 82 991044202

E-mail: thais.souza@uncisal.edu.br

ABSTRACT

Purpose: to verify if children with phonological disorder present long latency auditory evoked potentials responses different from neurotypical children. Methods: this is a systematic review with meta-analysis, in which the following databases were searched: Medline (via Pubmed), Embase, Lilacs (via BVS), Web of Science, Scopus and Science Direct, as well as gray literature OpenGrey.eu. The review sought to answer two guiding questions: (1) “Do children with phonological disorders have different Cortical Auditory Evoked Potentials values than neurotypical children?” and (2) “Do

children with phonological disorders have different Mismatch Negativity values than neurotypical children?”. Results: For question one, of the of the 447 articles initially found, 201 were excluded for duplicity, 233 were excluded after reading the titles, and 9 after reading the abstracts. Four articles were fully read. For question two, of the 465 articles initially found, 183 were excluded for duplicity, 251 were excluded after reading the titles, and 20 were excluded after reading the abstracts. Eleven articles were fully read. Of these, four articles were included in this systematic review. The study verified great variability of sample characteristics and protocols used. The results of the meta-analysis showed no difference in Cortical Auditory Evoked Potentials and Mismatch Negativity between children with phonological disorder and neurotypical children in the combination of studies. Conclusion: the present meta-analysis demonstrates that children with phonological disorder have long latency auditory evoked potentials responses similar to neurotypical children.

Keywords: Electrophysiology, Auditory Evoked Potentials, Speech Sound Disorder

1. INTRODUCTION

Phonological Disorder (PD) is characterized by the inappropriate use of sounds according to age and regional variations, which may involve errors in the production, perception or organization of sounds. It is childhood's most frequent human communication disorder (Wertzner, Pagan-Neves, 2014). Speech errors are predictable and based on rules of the phonological system that affect entire classes of sounds (ASHA, 2022).

Although the etiology of PD remains unknown, authors support the hypothesis that people who have this disorder have different connections in the regions of the left hemisphere, which are closely correlated with the auditory pathways and, consequently, with the feedback of speech sounds (Chang et al., 2008; Cykowschi et al., 2010).

Therefore, assessing the electrophysiology of hearing through auditory evoked potentials should be considered to understand the PD better. Auditory evoked potentials constitute a group of objective methods used to determine the neuroelectrical activity of the auditory pathway from the cochlea to the cerebral cortex. These potentials are classified according to the latency (time) the auditory pathway takes to respond to the stimulus, which can be short, médium, or long (Andrade et al., 2018).

Long latency auditory evoked potentials (LLAEP) are directly related to the measurement of processes associated with the auditory processing involved during the transmission of stimuli, making it possible to assess auditory skills such as discrimination, memory, attention, and detection (Didoné et al., 2016).

In this way, LLAEPs can offer an understanding of central auditory processing and the underlying neurophysiology, making it possible to reach a new level of understanding of the brain processes that form the biological substrate of central auditory perception, the different forms of auditory memory, as well as the attentional processes that control access of auditory sensory input to conscious perception and higher states of memory (Näätänen et al., 2007).

Among LLAEPs, Cortical Auditory Evoked Potentials (CAEP) and Mismatch Negativity (MMN) stand out as objective tools to assess the central auditory mechanisms involved in speech perception in children, as they are established neural measures of auditory processing that do not require a high level of education, attention or active participation (Näätänen et al., 2012). The CAEP is an exogenous potential analyzed from waves of positive and negative polarities that form the P1-N1-P2-N2 complex. In turn, the MMN is a harmful component obtained from the subtraction of the response evoked by the rare stimulus about the standard inspiration presented (Korostenskaja et al., 2003).

Understanding that auditory processing and phonological acquisition are interdependent (Advíncula et al., 2008), research on the use of LLAEPs has gained prominence in this population in the search to understand why children with PD do not perform phonological contrasts competently as children do. Neurotypical. Thus, this systematic review with meta-analysis aimed to determine whether children with PD present LLAEP responses different from neurotypical children.

2. METHOD

This systematic review followed the recommendations in the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA), with two protocols in the International Prospective Register of Systematic Reviews - PROSPERO (CRD42021271176 and CRD42021267546).

Thus, a search was performed in the MEDLINE databases via PubMed, Lilacs, Scielo, Embase, Web of Science, Scopus, and Science Direct to review the literature. Gray literature was also consulted. There was no restriction on the period or language of publication. The last search was carried out in October 2022. The review sought to answer two guiding questions: (1) "Do children with PD have different CAEP values than neurotypical children?" and (2) "Do children with PD have different MMN values than neurotypical children?"

For each research question, a search strategy was performed. The strategies were built from the descriptors of the Medical Subject Headings (Mesh), the Descriptors in Health Sciences (DeCS), and the Embase Subject Headings (Emtree). The descriptors selected for the research question (1) were: "Speech Sound Disorder" OR "Speech-Sound Disorder, hereditary" OR "Articulation Disorders" AND "Evoked Potentials, Auditory" OR "Electrophysiology" OR "Cortical Evoked Potentials Auditory." For research question (2), the selected descriptors were: "Mismatch Negativity" OR "Auditory Evoked Potential" OR "MMN" AND "Speech Sound Disorder" OR "Phonological Disorder." Its "entry terms," "synonyms," and accessible terms commonly used in the literature were associated. The complete strategy is available on PROSPERO and as supplementary material.

Articles published in scientific journals were included from original studies, which assessed the CAEP or MMN of children with PD, comparing them with children with typical speech development. The identified articles were exported from the databases to the EndNote software to identify duplicate reports between the databases.

The selection and extraction of data were performed by two review authors independently. Disagreements were discussed among them, and in the absence of consensus, a third reviewer was invited to arbitrate. The selection was carried out in three stages: reading of all titles; followed by abstracts; and finally, reading the articles

in total. From the selected papers, the following data were extracted into a standardized form: (1) primary author, year of publication, and country; (2) number of participants and age; (3) data from the examination protocol (type of stimulus, presentation, and quantity, intensity, paradigm, electrode position); (4) mean and standard deviation values of P1-N1-P2-N2 complex latency and MMN latency and amplitude.

To assess the methodological quality of the studies that make up this review, the Newcastle-Ottawa Scale was adapted for cross-sectional observational studies (Modesti et al. 2016). Scoring is performed through the maximum distribution of 10 stars, according to three criteria: selection (5 stars), comparability (2 stars) and result (3 stars).

The analysis was performed by two review authors independently, following criteria that consider scores of 0-4 as low quality, 5-6 as moderate quality, and ≥ 7 as high quality (Wang et al. 2017).

The results of CAEP latency and MMN latencies and amplitudes of children with PD, compared with children without speech disorders in the combination of studies, were obtained through meta-analysis, with a confidence interval (CI) of 95%.

Statistical heterogeneity was evaluated by the I² test, being analyzed according to the following classification: 0% to 25%, low heterogeneity; 26% to 50%, moderate heterogeneity; greater than 50%, high level of heterogeneity (Higgins; Green, 2008). In case of high heterogeneity, studies were withdrawn, one by one, to identify the source of high heterogeneity.

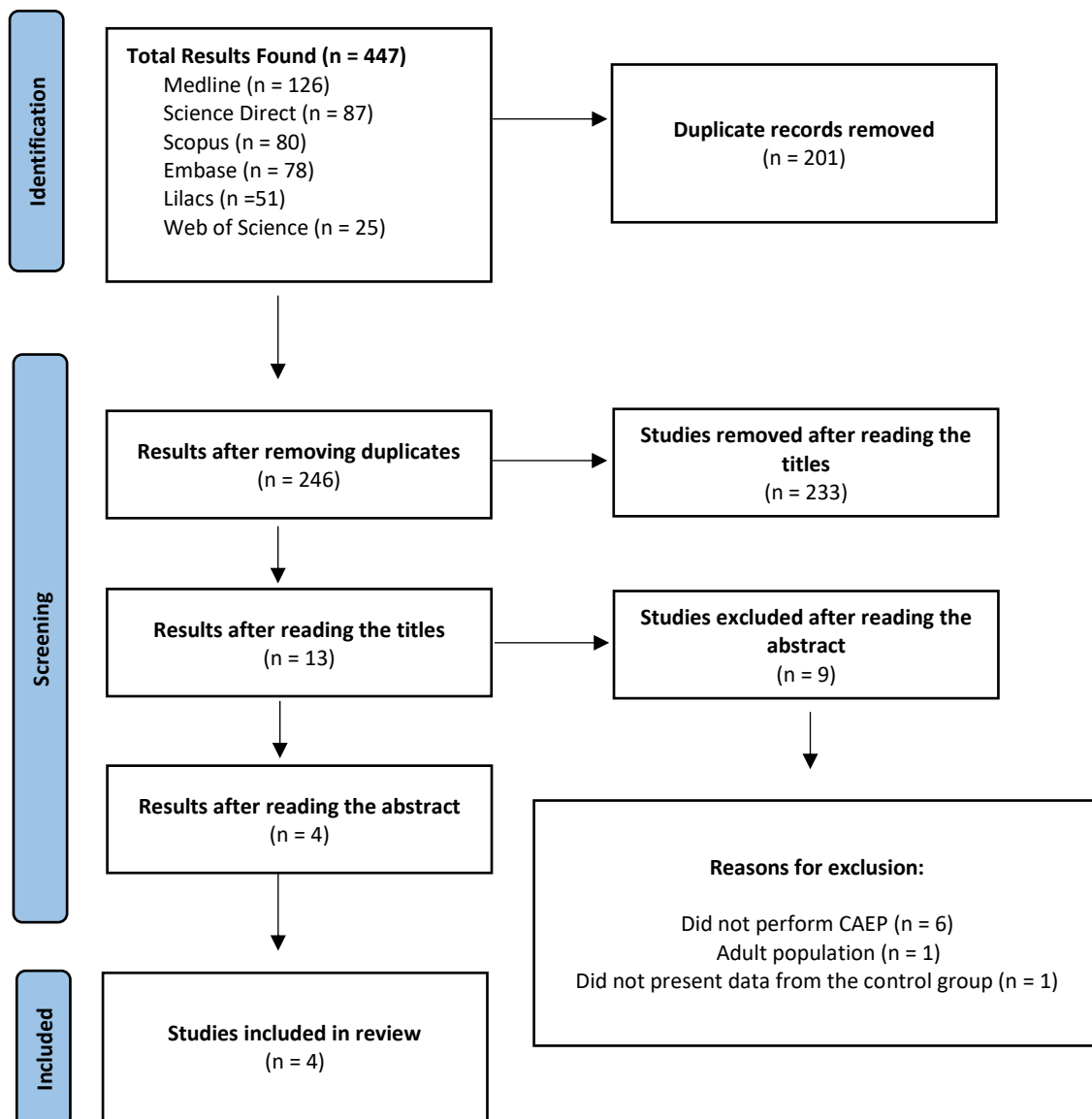
Statistical significance was maintained at $p < 0.05$. All analyzes were performed using RevMan software (version 5.3, The Nordic Cochrane Center, The Cochrane Collaboration, Copenhagen, Denmark, 2014).

3. RESULTS

The search strategy (1) on CAEP resulted in 447 studies initially included for analysis; 201 duplicates were identified, followed by 246 studies for reading the titles, having been excluded 233. For reading the abstract, there were 13 studies, of which

nine were excluded. Thus, four studies were used for the meta-analysis, as seen in Figure 1.

Figure 1. Flowchart for searching and selecting CAEP articles.



In the search strategy (2), about MMN, 465 articles were found. Of these, 183 were excluded because they were duplicates. A total of 282 titles were read; 251 were excluded, leaving 31. When reading the abstract, 20 were excluded, followed by 11 articles for reading the full text. Of these, seven were excluded. Five did not perform MMN, one performed MMN only in adults, and one did not present the necessary data

for inclusion in the meta-analysis. Thus, after the selection steps, four articles remained that were part of the scope of this MMN review, available in Figure 2.

Figure 2. Flowchart of search and selection of MMN articles.

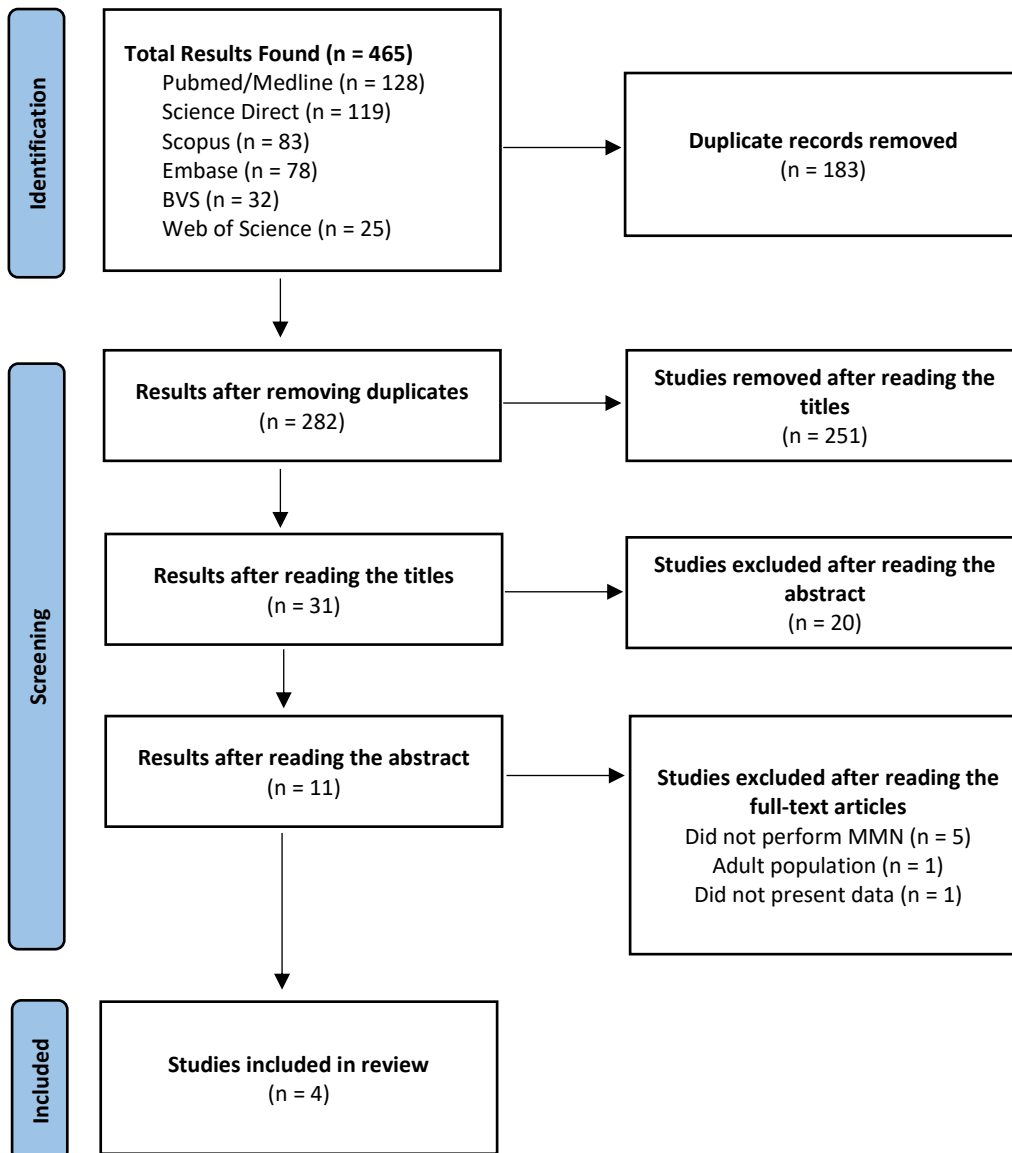


Chart 1 presents the general characteristics of the CAEP studies, including country of origin, year of publication, principal author, and data referring to the protocol used.

Chart 1. Characteristics of the included CAEP studies.

Studies	Characteristics						
	Country	N	Age	Electrodes	Stimuli	Paradigm	Intensity
Włodarczyk et al., (2011)	Poland	50 SG = 20 CG = 30	7 - 9 years	U	U 0,5 KHz freq 2 KHz rare	Oddball 80/20	U
Leite et al., (2010)	Brazil	66 SG = 41 CG = 25	7 - 10 years	Active Cz Ground Fpz ReferenceM 1 e M2	300 1 KHz freq 1,5 KHz rare Tone Burst	Oddball 80/20	75dBNA
Advíncula et al., (2008)	Brazil	20 SG = 10 CG = 10	7 - 14 years	Active Fz Ground Fpz ReferencesA 1 e A2	200 1 KHz freq 2 KHz rare	Oddball 80/20	80dBNA
Uribe-Escamilla et al., (2006)	Mexico	50 SE = 25 CG = 25	5 years	Active Cz Ground Fpz ReferencesA 1 e A2	U 1 KHz Tone Burst	U	70dBSPL

N, number; freq, frequent; U, uninformed; SG, study group; CG, control group

Three studies were carried out in America, 2 of which were conducted in Brazil. The number of participants ranged from 20 to 66 children, divided into a study group (SG), made up of children with PD, and a control group (CG), made up of children without speech disorders. The age ranged between 5 and 14 years.

Regarding the protocol used, all studies with CAEP used non-verbal stimuli ranging between 500 and 2000 Hz. Three of the four studies that make up this review used: oddball paradigm (80/20), binaural stimulus presentation, Cz active electrode, with Fpz ground. The amount varied between 200 and 300 stimuli, while the intensity was between 70 and 80 dB.

Chart 2 presents the characteristics of the studies, in addition to the parameters used to collect the MMN. The studies were carried out in four different countries (Brazil, Egypt, China, and Mexico) between 2013 and 2020, using a study group formed by children with PD, and a control group, formed by neurotypical children. The samples had a minimum number of five participants in the study group, seven in the control group (Granados-Ramos et al., 2013), a maximum of 26 participants in the study group, and 49 in the control group (Gao et al., 2013) of both sexes, with ages ranging from 2 to 9 years.

Chart 2. Characteristics of the MMN studies included.

Studies	Characteristics						
	Country	N	Country	Equipment	Country	Paradigma	Country
Souza et al., (2020)	Brazil	34 SG = 14 CG = 19	5 - 8 years	Smart Ep	750 /da/ freq /ta/ rare	Oddball 80/20	60dBnHL
El-Beltagy et al., (2019)	Egypt	30 SG = 15 CG = 15	3 - 5 years	Smart Ep	250 /wa/ freq /ba/ rare	Oddball 80/20	80dBnHL
Gao et al., (2013)	China	75 SG = 26 CG = 49	2 - 9 years	EEG	1000 1 KHz freq 1,2 KHz rare	Oddball 85/15	75dB
Granados-Ramos et al., (2013)	Mexico	12 SG = 5 CG = 7	5 - 6 years	EEG	400 /ajos/ freq /ojos/ rare	Oddball 80/20	90dB

N, number; freq, frequent; SG, study group; CG, control group

Regarding the parameters used in the MMN, it was found that two studies used the Smart Ep - Intelligent Hearing Systems (IHS) equipment, and only one of them described the position of the electrodes in Fz (active), Fpz (ground), A1 and A2 (references). The other two used Electroencephalography with 64 channels. Regarding the stimuli, three studies used verbal, and one used non-verbal stimuli; the number of incentives presented varied from 250 to 1000 stimuli. All studies used the oddball paradigm, most in an 80/20 ratio. The intensity used was mixed between 60 and 90dB.

Studies with CAEP did not present values referring to amplitude, so the meta-analyses performed were restricted to the latency results for the N1-P2-N2 complex (Figures 3, 4, and 5, respectively). Only the studies by Uribe-Escamilla et al., (2006) and Włodarczyk et al., (2011) performed P1 analysis; for this reason, no meta-analysis was performed for this peak.

It is possible to verify in Figures 3, 4, and 5 the latency data of the components N1, P2, and N2, respectively. The confidence intervals of the studies by Advíncula et al., (2008), Leite et al., (2010), and Uribe-Escamilla et al., (2006) touch the vertical line that marks the null effect, indicating the similarity of performance between the EG and CG analyzed. In the Włodarczyk et al., (2011) study, the confidence interval is to the

right of the line, demonstrating better performance for the CG without speech alteration.

The meta-analytic Odds Ratio touches the null line. This result shows that there is no statistically significant difference in latency of N1, P2, and N2 between children with PD and their peers without speech disorders.

Figure 3. Meta-analysis: comparison of N1 latencies

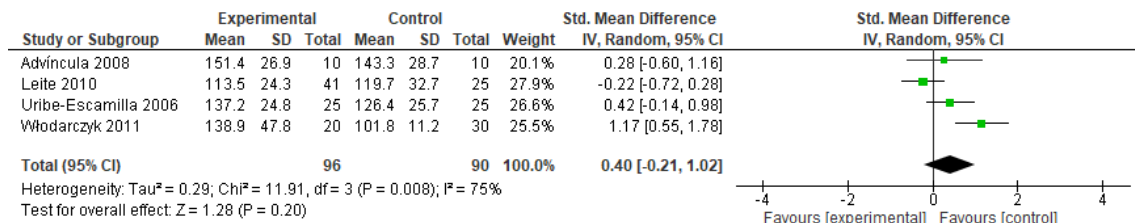


Figure 4. Meta-analysis: comparison of P2 latencies

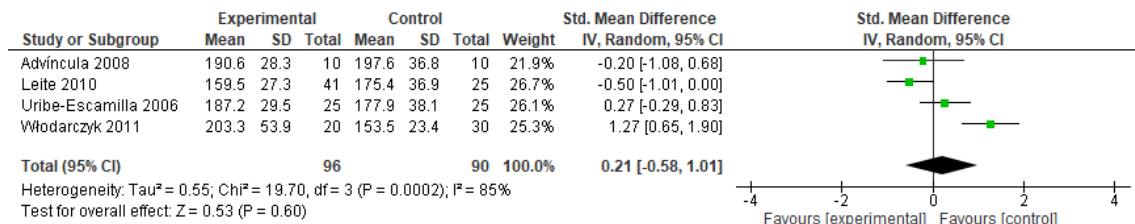
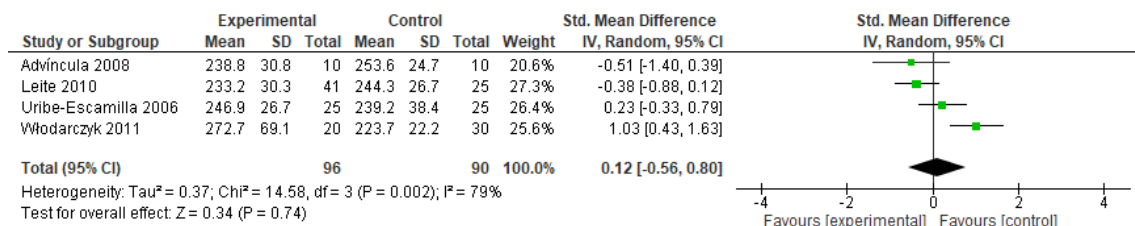


Figure 5. Meta-analysis: comparison of N2 latencies



Verifying I² values above 75% was possible, characterizing a high heterogeneity (Higgins; Green, 2008). Thus, the studies were withdrawn, one by one, and it was possible to identify that the withdrawal of the Włodarczyk et al., (2011) study caused a reduction in heterogeneity for all components N1, P2, and N2, as can be seen in the subgroup analysis of figures 6, 7 and 8, respectively. The results confirm

no difference between SG and CG; children with PD do not differ from children without speech disorders when the N1-P2-N2 components of the CAEPs are analyzed.

Figure 6. Meta-analysis: comparison of N1 latencies, excluding the Wlodarczyk study (2011)

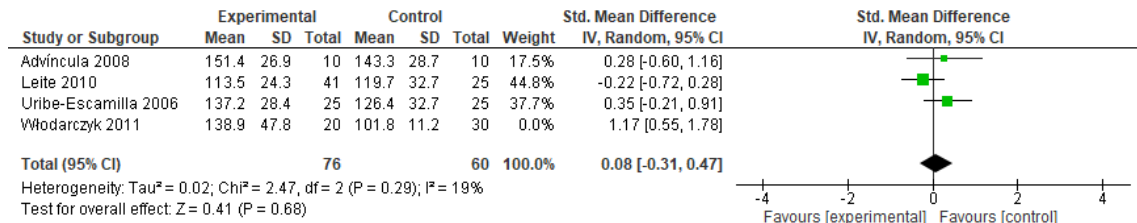


Figure 7. Meta-analysis: comparison of P2 latencies, excluding the Wlodarczyk study (2011)

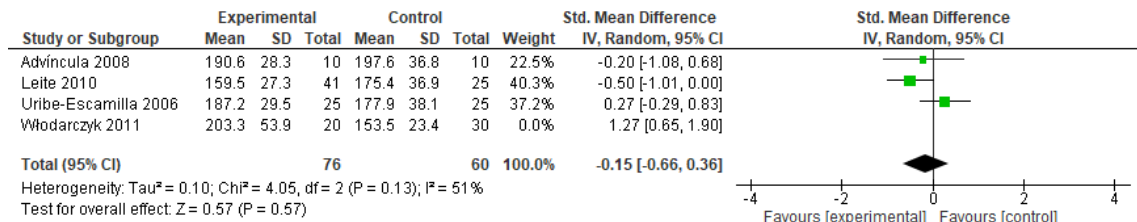
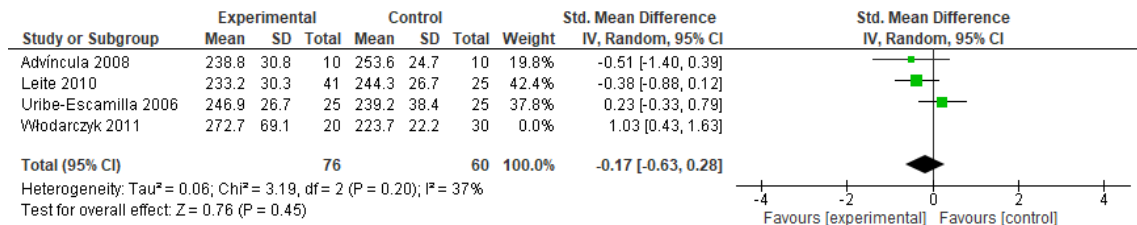
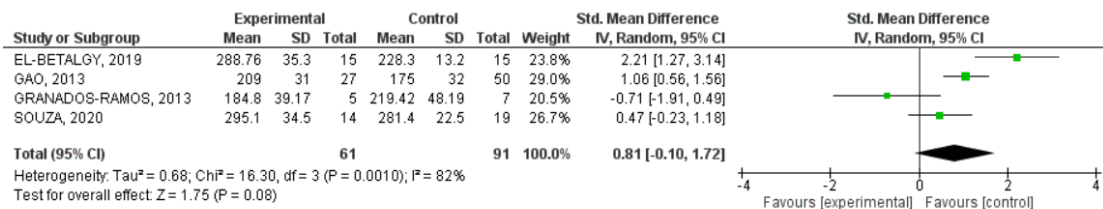


Figure 8. Meta-analysis: comparison of N2 latencies, excluding the Wlodarczyk et al., (2011) study



Regarding the MMN latency data, as shown in Figure 9, it is possible to notice that the confidence interval associated with the studies by EI-Beltagy et al., (2019) and Gao et al., (2013) deviates from the vertical line that marks the null effect, indicating that the difference in latency between the groups is significant, with a better result for the GC. On the other hand, the studies by Souza et al., (2020) and Granados-Ramos et al., (2013) contain the value 0, which allows us to infer that the difference in latency between the groups is not significant, the first study being favorable to the GC and the second to the GP.

Figure 9. Meta-analysis: comparison of MMN latencies.

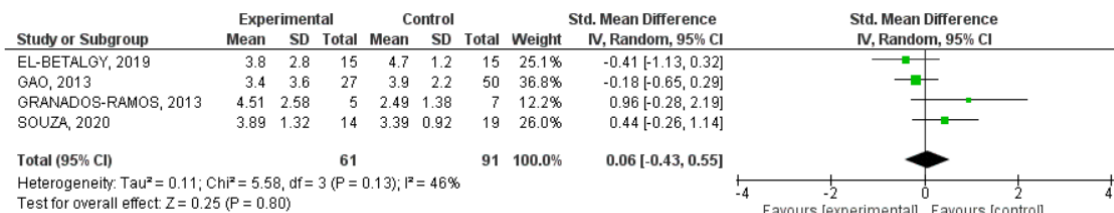


It is possible to verify that most of the meta-analytic Odds Ratio is practical to the right of the vertical line but crosses the null string. Thus, there is no statistically significant difference in MMN latency between children with PD and their neurotypical peers, and an OR of 0.81 [-0.10, 1.72] suggests better results for neurotypical children.

The high heterogeneity among the studies stands out, with an I² value above 75% (Higgins; Green, 2008). Subgroup analysis was performed, but heterogeneity remained above 74% in all settings, suggesting variability between the analyzed studies' methodologies.

About the amplitude of the MMN, the data shown in Figure 10 show that the confidence interval of all studies crosses the vertical line, which indicates that the difference in amplitude between the groups is not significant. In the studies by Souza et al., (2020) and Granados-Ramos et al., (2013), greater MMN amplitudes were found in children with PD, while in the studies by El-Beltagy et al., (2019) and Gao et al., (2013), MMN was more robust in the neurotypical group.

Figure 10. Meta-analysis: comparison of MMN amplitudes.



It is possible to verify that the meta-analytic Odds Ratio of -0.06 [-0.56, 0.43] crosses the vertical line, demonstrating that there is no statistically significant difference in amplitude between children with PD and neurotypical children in the combination of studies.

The moderate heterogeneity among the studies stands out, with an I² value of 46% (Higgins; Green, 2008). Subgroup analysis was performed, but heterogeneity remained moderate in all settings, confirming the presence of variability between studies.

The MMN area cannot be analyzed through meta-analysis, as only Souza et al., (2020) and El-Beltagy et al., (2019) studies presented these data. However, it was possible to verify that in the survey by Souza et al., (2020), the area of the MMN was more significant in the PG, while in the study by El-Beltagy et al., (2019), the GC had a greater extent.

4. DISCUSSION

The present Systematic Review (SR) consisted of articles from cross-sectional observational studies that obtained a methodological quality percentage equal to 70%, thus increasing the degree of reliability of this systematic review.

The meta-analysis results showed no difference in the responses of CAEP and MMN between children with PD and neurotypical children in the combination of studies. When analyzed individually, the studies showed divergent results, which can be justified by the variety of protocols found and characteristics related to the studied sample, which will be discussed later.

In the CAEP, the study by Advíncula et al. (2008) found a statistically significant difference between children with PD and neurotypical for the amplitude of N2, with a lower amplitude for children with PD, while Leite et al., (2010) found a difference for the latency of the P2 component, with higher latency for neurotypical children. On the other hand, the results of Włodarczyk et al., (2011) show that the average latency of the P1N1P2N2 complex is lower in children without speech disorders. The findings by Uribe-Escamilla et al., (2006) agree with the meta-analysis, as it did not observe any difference between children with and without PD.

For MMN, the studies by Gao et al., (2013) and El-Beltagy et al., (2019) found differences in the comparison of latencies between the groups studied, both showing increased values for the population with PD. In contrast, the research carried out by Granados-Ramos et al., (2013) found a difference in MMN latency between the groups

studied, with lower latencies for children with PD. In turn, Souza et al., (2020) found similar MMN latencies between PD and neurotypical children, in agreement with the meta-analysis.

The variability of protocols in studies with CAEP and MMN may contribute to divergent results, as the response patterns seem to differ according to the parameters used to elicit potentials (Paquette et al., 2013). The study by Souza et al., (2020) reflects on the methodological difficulties in replicating the surveys due to the lack of establishing standard parameters to record and analyze the responses, which makes it difficult to compare and generalize the results.

Cavalcanti & Balen (2018) reinforce that the LLAEP in children suffer significant variability in the parameters adopted, particularly the type of stimulus and the way it is presented, wakefulness, age, their cognitive functions, and their biological generators.

Regarding the type of equipment used, the studies referring to CAEP in children with PD all used 2- or 4-channel equipment. Research with MMN used different equipment to capture this potential. The studies by Souza et al., (2020) and El-Beltagy et al., (2019) used the Smart Ep - Intelligent Hearing Systems (IHS) equipment, while Granados-Ramos et al., (2013) and Gao et al., (2013) used an electroencephalogram with 64 channels.

There has yet to be a consensus regarding the number and placement of active electrodes, which can generate variations in MMN uptake. Therefore, the equipment used is a factor to be considered in the data analysis since they differ in the number of channels used, the position of the electrodes, and the way of processing the acoustic information.

There was variation between the intensities used, being more fabulous in the studies related to MMN, ranging between 60 dB and 90 dB, while in the CAEP studies, it varied between 70dB and 80dB. It is known that the variation in the intensity of acoustic stimulus presentation produces changes in the responses obtained in LLAEP (Frizzo et al., 2001). In these potentials, the increased power of the stimulus presented promotes a decrease in latencies and an increase in wave amplitudes (Kim et al., 2018; Dun et al., 2015; Hall, 2007; Covington et al., 1996).

This fact was observed when analyzing the studies by Souza et al., (2020), who used 60dB of intensity, with the survey by Granados-Ramos et al., (2013), in which the passion used was 90dB. The first, with lower intensity, presented higher latencies and smaller amplitudes than the second study, with a higher power. Previous studies report that the intensity effect is observed when the difference is greater than 20 dB (Kim et al., 2018).

Different types of verbal and non-verbal stimuli can be used in LLAEP, with the most frequent use of clicks, tone bursts, vowels, and syllables (Lunardelo et al., 2021).

The CAEP studies used only non-verbal stimuli, with variations in the chosen frequencies, such as frequent and rare. The study (Włodarczyk et al., 2011) showed more significant variation, 500Hz for the regular and 2000 Hz for the rare, while (Leite et al., 2010) used frequencies close to 1000Hz and 1500Hz. Despite this, the study by (Leite et al., 2010) presented the lowest latency values for children with PD. These data contradict the expectation that CAEP records with more similar stimuli give higher latencies, as they are more difficult to be perceived as different.

The MMN studies showed a greater variety in the type of stimulus used. Gao et al., (2013) found lower latencies when using pure tones with frequency variation; Intermediate latencies were found by Granados-Ramos et al., (2013), who used words, while Souza et al., (2020) and El-Beltagy et al., (2019) observed lower latencies with the use of syllables.

Easily discriminable stimulus differences provoke early MMN responses, while more difficult to discriminate discrepancies, that is, more similar stimuli, result in MMNs with longer latency (Näätänen, 1992; Kujala & Näätänen, 2010).

Amplitude was investigated only in MMN studies. The studies by Souza et al., (2020) and Granados-Ramos et al., (2013) found greater MMN amplitudes in the group with PD. The literature indicates that the MMN is more robust when provoked by speech sounds, given its linguistic load (Sittiprapaporn et al., 2003). The MMN amplitude reflects the activation of memory traces in the human brain for each language element, which could result in more significant variability in the amplitudes of responses between subjects (Korpilahti et al., 2001).

Verbal stimuli constitute a task of more incredible listening difficulty when compared to the discrimination of non-verbal studies, showing more significant latency and amplitude for speech stimuli about the click since the processing of the sound stimulus by the SNAC is related to the complexity of the same (Lunardelo et al., 2019; Oppitz et al., 2015). Some researchers suggest that verbal stimuli are ideal for studying the neural bases of speech detection and discrimination, contributing to the assessment of complex signals in the auditory cortex (Didoné et al., 2016, Oppitz et al., 2015; Kraus & Nicol, 2003).

The age of participants in the CAEP studies included in this review ranged from 5 to 14 years. Despite having older participants, the survey by Advíncula et al., (2008) presented the highest latency in the N1, P2, and N2 components for children without speech disorders and N1 for children with PD. Contrary to this finding, previous research reports that increasing age promotes more defined tracings and that the latency values of the P1, N1, and P2 components tend to decrease and present less variability (Silva et al., 2017).

In the studies that analyzed the MMN, the age group of children was mainly concentrated between 4 and 6 years of age. It is known that the maximum latency of MMN decreases as children mature (Glass et al., 2008; Shafer et al., 2000).

The maturation of the central auditory nervous system of each individual is Variable. Therefore, stimulation and developmental rhythm can influence the onset and latency values . The emergence of these components and their latency values is variable in childhood, influenced by auditory linguistic experiences (Silva et al., 2017; Kujala & Näätänen, 2010).

Although no statistically significant difference was found in the CAEP and MMN meta-analyses between neurotypical children and children with PD, some in-depth individual findings suggest the possibility of distinct auditory cortical processing in children with PD. Thus, studies on the electrophysiology of hearing must be intensified in children with PD, especially with verbal stimuli, since the perception and auditory discrimination of speech's temporal and acoustic properties seem to work differently in this population.

Regardless of the absence of differences between children with and without PD, research that analyzed the effectiveness of speech therapy intervention using LLAEP

identified performance improvement with decreased latencies after stimulation (Luna et al., 2021; Leite et al., 2014; Włodarczyk et al., 2011; Leite et al., 2010). Thus, this test represents a vital instrument for objectively recording the central auditory function and can serve as a neuroplasticity marker in response to the intervention.

In addition, in the clinical context, professionals can use strategies to stimulate auditory perception skills as essential adjuncts in the rehabilitation process, considering that speech production depends on both auditory feedback and feedforward (Guenther, 2012).

Limitations

This SR with meta-analysis has some limitations. The included studies were all observational and carried out with different protocols, samples, and age groups, which can lead to divergent results. In addition, the studies did not provide information on the calculation of the sample size nor on the criteria used to define the number of participants for each group. All these aspects make the combined analysis of the results difficult and increase the possibility of bias. This way, the need to standardize a standard protocol for children with PD is highlighted.

5. CONCLUSION

The meta-analysis showed no statistically significant differences in the components of CAEP and MMN waves between children with the phonological disorder and neurotypical children.

REFERENCES

Advíncula, K. O., Griz, S. M. S., Frizzo, A. C. F., Pessoa, A. C. R. G., Leite-Barros, P. M. A., & Gurgel, E. (2008). Potenciais evocados auditivos de longa latência em crianças com desvio fonológico. *Distúrbios da Comunicação*, 20(2), 171-181. Recuperado de <https://revistas.pucsp.br/index.php/dic/article/view/6811/4933>.

- Cavalcanti, H. G. & Balen, A. S.** (2018). Potencial evocado auditivo de longa latência com estímulos de fala na população infantil. IN.: Menezes, P. L. M., et al (org.). *Tratado de eletrofisiologia para fonoaudiologia*. Ribeirão Preto: Booktoy, 151-158.
- Chang, S. E., Erickson, K. I., Ambrose, N. G., Hasegawa-Johnson, M. A., Ludlow, C. L.** (2008). Brain anatomy differences in childhood stuttering. *Neuroimage*, 1;39(3):1333-44. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.09.067.
- Cykowski, M. D., Fox, P. T., Ingham, R. J., Ingham, J. C., & Robin, D. A.** (2010). A study of the reproducibility and etiology of diffusion anisotropy differences in developmental stuttering: A potential role for impaired myelination. *NeuroImage*, 52(4), 1495-1504. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.011>
- Covington, J. W. & Polich, J.** (1996). P300, stimulus intensity, and modality. *Eletroenceph Clin Neurophysiol*. 100, 579-84.
[http://doi.org/10.1016/s01685597\(96\)96013-x](http://doi.org/10.1016/s01685597(96)96013-x).
- Didoné, D. D., Oppitz, S. J., Folgearini, J., Biaggio, E. P. V., & Garcia, M. V.** (2016). Auditory Evoked Potentials with Different Speech Stimuli: a Comparison and Standardization of Values. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 20(2), 99–104. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0035-1566133>
- Dun, B. V., Dillon, H., & Seeto, M.** (2015). Estimating hearing thresholds in hearing-impaired adults through objective detection of cortical auditory evoked potentials. *Journal of the American Academy of Audiology*, 26, 370-83. [10.3766/jaaa.26.4.5](https://doi.org/10.3766/jaaa.26.4.5).
- EI-Beltagy, R., Galhom, D. & Hassan, E. H. M.** (2019). Auditory brainstem response and speech mismatch negativity in children with phonological disorders. *The*

Egyptian Journal of Otolaryngology, 35, 79–85.

https://doi.org/10.4103/ejo.ejo_87_17.

Frizzo, A. F. C., Alves, R. P. C. & Colafêmina, J. F. (2001). Potenciais evocados auditivos de longa latência: um estudo comparativo entre hemisférios cerebrais.

Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, 67, 618-625.

<https://doi.org/10.1590/S003472992001000500004>.

Gao, Y., Zheng, X. F., Hong, Q., Luo, X. X. & Jiang, T. T. (2013). [Auditory event-related potentials in children with functional articulation disorders]. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi*. 15, 653-6. PMID: 23965879.

Glass, E., Sachse, S. & Von Suchodoletz, W. (2008). Development of auditory sensory memory from 2 to 6 years: an MMN study. *Journal of Neural Transmission*., 115, 1221–1229. <https://doi.org/10.1007/s00702-008-0088-6>.

Granados-Ramos, D., Elizabeth, P., Torres-Morales, H. J., Cervantes-Méndez, N., Castañeda-Villa, G. & Romero-Esquiliano. (2013). Mismatch Negativity (MMN) y lenguaje en niños preescolares hablantes del idioma español, 8, 1-5.

<http://doi.org//10.5839/rcnp.2013.0801.01>

Hall, J. W. (2007). New handbook of auditory evoked responses. Boston: Pearson.

Higgins, J. P. & Green, S. (2008). Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Book Series*. <https://doi.org/10.1002/9780470712184>.

Kim, C., Seungwan, L., Jinn, I., & Kim, J. (2018). Acoustic Features and Cortical Auditory Evoked Potentials according to Emotional Statues of /u/, /a/, /i/ Vowels.

Korostenskaja, M., Dapsys, K., Maciulis, V. & Ruksenas, O. (2003). Evaluation of new MMN parameters in schizophrenia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*. 63, 383–388. PMID: 15053262.

Korpilahti, P., Krause, C. M., Holopainen, I. & Lang, A. H. (2001). Early and Late Mismatch Negativity Elicited by Words and Speech-Like Stimuli in Children. *Brain and Language*., 76, 332–339. <https://doi.org/10.1006/brln.2000.2426>.

Kraus, N., & Nicol, T. (2003). Aggregate neural responses to speech sounds in the central auditory system. *Speech Communication*, 41(1), 35-47. [https://doi.org/10.1016/S0167-6393\(02\)00091-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6393(02)00091-2).

Kujala, T. & Näätänen, R. (2010). The adaptive brain: a neurophysiological perspective. *Progress in Neurobiology*, 91 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2010.01.006>.

Leite, R. A., Wertzner, H. F., & Matas, C. G. (2010). Potenciais evocados auditivos de longa latência em crianças com transtorno fonológico. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 22(4), 561-566. <https://doi.org/10.1590/S0104-56872010000400034>

Leite, R. A., Wertzner, H. F., Gonçalves, I. C., Magliaro, F. C. L., & Matas, C. G. (2014). Auditory evoked potentials: predicting speech therapy outcomes in children with phonological disorder. *CLINICS*, 69(3), 212-218. [https://doi.org/10.6061/clinics/2014\(03\)12](https://doi.org/10.6061/clinics/2014(03)12)

Luna, A. C., Silva, L. A. F., Barrozo, T. F., Leite, R. A., Wertzner, H. F., & Matas, C. G. (2021). Plasticidade neuronal da via auditiva em crianças com transtorno dos sons da fala: estudo dos Potenciais Evocados Auditivos de Longa Latência. *Communication*

Disorders, Audiology and Swallowing, 33(4), e20200145.

<https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202020145>

Lunardelo, P. P., Fukuda, M. T. H., Zuanetti, P. A., Pontes-Fernandes, A. C., Ferretti, M. I., & Zanchetta, S. (2021). Cortical auditory evoked potentials with different acoustic stimuli: Evidence of differences and similarities in coding in auditory processing disorders. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 151, 110944. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2021.110944>

Lunardelo, P.P., Simões, H. O., & Zanchetta, S. (2019). Diferenças e similaridades no registro do potencial evocado auditivo P1-N1 para distintos estímulos sonoros. *Revista CEFAC*, 21(2), e18618. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0216/201921218618>

Modesti, P. A., Reboldi, I., Cappuccio, F. P., Agyemang, C., Remuzzi, G., Rapi, S., Perruolo, E. & Parati, G. (2016). Panethnic Differences in Blood Pressure in Europe: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plos One*, 11, e0147601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147601>

Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Näätänen, R.; Paavilainen, P.; Rinne, T.; Alho, K. (2007). A review of the mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing. *Clin Neurophysiol*. Dec;118(12):2544-90.

Näätänen, R., Kujala, T., Escera, C., Baldeweg, T., Kreegipuu, K., Carlson, S. & Ponton, C. (2012). The Mismatch Negativity (MMN) - a unique window to disturbed central auditory processing in aging and different clinical conditions. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 123, 424–458. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.09.020>.

Oppitz, S., Didoné, D. D., Silva, D. D., Gois, M., Folgearini, J., Ferreira, G. C., & Garcia, M. V. (2015). Long-latency auditory evoked potentials with verbal and nonverbal stimuli. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 2015;81(6):647-652.

<https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2014.10.005>

Paquette, N., Vannasing, P., Lefrançois, M., Lefebvre, F., Roy, M. S., McKerral, M., Lepore, F., Lassonde, M. & Gallagher, A. (2013). Neurophysiological correlates of auditory and language development: a mismatch negativity study, *Developmental Neuropsychology.*, 38, 386–401. <https://10.1080/87565641.2013.805218>.

Shafer, V. L., Morr, M. L., Kreuzer, J. A. & Kurtzberg, D. (2000). Maturation of mismatch negativity in school-age children. *Ear and Hearing*, 21, 242–251.

<http://doi.org/10.1097/00003446-200006000-00008>.

Silva, L. A. F., Magliaro, F. C. L., Carvalho, A. C. M. & Matas, C. G. (2017).

Maturação dos potenciais evocados auditivos de longa latência em crianças ouvintes: revisão sistemática. *Communication Disorders, Audiology and Swallowing*, 29, e20160107. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20172016107>.

Sittiprapaporn, W., Chindaduangratn, C., Tervaniemi, M. & Khotchabhakdi, N.

(2003). Preattentive processing of lexical tone perception by the human brain as indexed by the mismatch negativity paradigm. Finland. *Annals New York Academy of Sciences*, 199-203. <http://doi.org/10.1196/annals.1284.029>.

Souza, A. E. H., Pinto, J. D., Mezommo, C. L. & Vieira Biaggio, E. P. (2020).

Mismatch Negativity in children with Phonological Disorders. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 110445. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110445>.

Uribe-Escamilla, R., Peñaloza-López, Y. R., Durand-Rivera, J. A., García-Pedroza, F., & Villarruel, C. (2006). Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral y potenciales de vértice en niños de 5 años con fallos articulatorios para los fonemas /l/, /r/, /rr/ y /s/. *Revista de neurología*, 43(6), 330-334. DOI: <https://doi.org/10.33588/rn.4306.2005482>

Wang, J., Hui, S., Wei, X. & Shengyuan, Y. (2017). Mobile Phone Use and the Risk of Headache: A Systematic Review and Meta-analysis of Cross-sectional Studies. *Scientific Reports*, 7, 1–7.

Wertzner, H. F., & Pagan-Neves, L. O. (2014). Avaliação e diagnóstico do distúrbio fonológico. In IQ Marchesan, HJ Silva, MC Tomé (eds), *Tratado das especialidades em fonoaudiologia* (pp. 593-599). São Paulo: Rocca.

Włodarczyk, E., Szkiełkowska, A., Skarżyński, H. & Piłka, A. (2011). Assessment of the efficiency of the auditory training in children with dyslalia and auditory processing disorders. *Polish Journal of Otolaryngology*, 65(5), 339-44. [doi:10.1016/S0030-6657\(11\)70723-5](https://doi.org/10.1016/S0030-6657(11)70723-5)

APLICATIVO

Este capítulo apresenta a concepção do aplicativo “Triagem de Fala” que foi desenvolvido como um dos produtos desta tese. O contexto se fundamenta no fato de que esta tese de doutorado faz parte de um programa de voltado para biotecnologia em saúde e, levando em consideração, a prevalência dos transtornos dos sons da fala na população infantil, surgiu a ideia de desenvolver um aplicativo que pudesse contribuir para identificação precoce desse distúrbio de comunicação.

A comunicação entre os seres humanos é uma habilidade inata e, por meio dela, as pessoas interagem, se integram e ampliam seus conhecimentos adquirindo novas experiências. A linguagem oral é forma mais comum de comunicação entre as pessoas e envolve tanto a fala quanto a percepção auditiva (TERTO e LEMOS, 2011).

A percepção auditiva da fala permite que a criança, por meio de um processo ativo, organize suas representações internas da língua a que estão expostos para produzir os sons desta língua (WERTZNER et al., 2017). Assim, para a aquisição fonológica, é essencial a habilidade de perceber diferenças mínimas entre as características distintivas que acontecem pelo estabelecimento das oposições binárias (FREITAS, 2015).

Quando a criança falha no processo de aquisição fonológica, estamos diante de um quadro de transtorno dos sons da fala (TSF). Segundo o Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais (DSM-V) trata-se de uma dificuldade persistente para produção da fala que interfere na inteligibilidade ou dificulta a comunicação verbal causando limitações na comunicação eficaz, que interferem na participação social, no sucesso acadêmico ou no desempenho profissional, individualmente ou em qualquer combinação. Habitualmente o início dos sintomas ocorre precocemente no período do desenvolvimento (DSM-V, 2014).

Esse transtorno representam o distúrbio da comunicação humana mais frequente na infância. Os estudos realizados no Brasil descrevem que essa alteração afeta entre 8,37% e 55% na população com idade entre 5 e 11 anos, sendo mais frequente na idade aos 5 anos (57%), com maior predomínio entre os meninos (CALDEIRA et al., 2013; INDRUSIAK e ROCKENBACH, 2012; ROSSI-BARBOSA et al., 2011; PATAH e TAKIUCHI, 2008; GOULART e CHIARA, 2007).

É importante que crianças escolares e pré-escolares com TSF sejam identificadas o mais cedo possível e inseridas em programas de intervenção que estimulem não apenas a fala em si, mas a consciência fonológica, a fim de evitar futuras dificuldades no desenvolvimento da escrita (SANTOS e BARRERA, 2017). Pesquisa realizada com pais de crianças com problemas na fala identificou que além dos problemas escolares, os pais relatam preocupações com o bullying que frequentemente atinge as crianças (MELO et al., 2015).

É importante considerar que as repercussões que os distúrbios da comunicação podem gerar no próprio sujeito ou em seus familiares são de difícil mensuração. Comunicar-se efetivamente é um fator importante, pois a demanda por comunicação rápida e efetiva é cada vez maior e as alterações da comunicação oral podem influenciar, inclusive, na inserção e ascensão social dos indivíduos (GOULART e CHIARI, 2007).

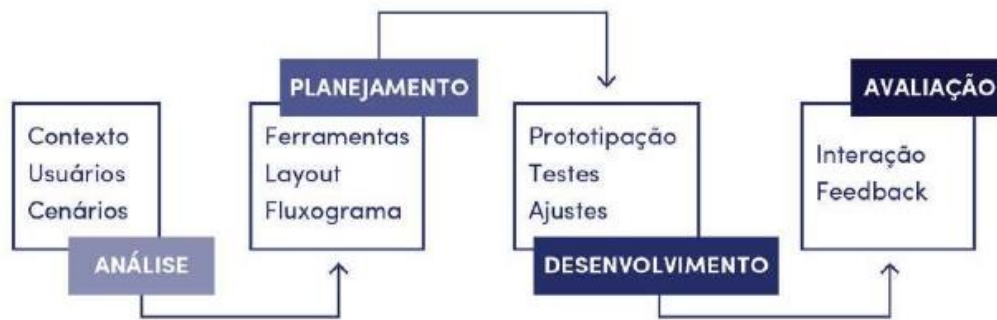
Diante de todas as dificuldades que a alteração na fala pode ocasionar a vida de uma criança, o presente estudo desenvolveu um aplicativo denominado “Triagem de Fala” que tem como objetivo identificar precocemente crianças com possíveis atrasos na aquisição fonológica. O princípio que fundamenta esta ferramenta se baseia em estabelecer uma relação entre a idade cronológica da criança e os fonemas que a criança não realiza adequadamente, seja por omissão ou substituição, indicando assim, se o desenvolvimento está adequado ou inadequado.

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) relacionadas à área da saúde estão sendo amplamente utilizadas por profissionais e pacientes, colaborando com a evolução e melhoria das profissões da saúde (GOMES et al., 2019). Neste contexto, o aplicativo estará disponível como uma ferramenta que pode contribuir com a prática dos profissionais da saúde.

Entretanto, é importante salientar que o aplicativo desenvolvido não é capaz de realizar uma avaliação fonoaudiológica para fins diagnósticos, a proposta é realizar uma triagem da fala da criança. Nesta perspectiva, fonoaudiólogos e outros profissionais que acompanham o desenvolvimento infantil, como pediatras, professores, terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas, psicólogos, odontopediatras, neuropediatras, neuropsicólogos, entre outros, poderão se beneficiar com a utilização do aplicativo, pois terão um recurso capaz de alertar sobre possíveis problemas de fala para que as crianças sejam devidamente encaminhadas para avaliação fonoaudiológica específica, possibilitando o diagnóstico e a intervenção precoce.

O aplicativo “Triagem de Fala” foi desenvolvido segundo as etapas estabelecidas por Foresti e Oliveira (2020), conforme observado na Figura 1.

Figura 1. Etapas de desenvolvimento de aplicativo



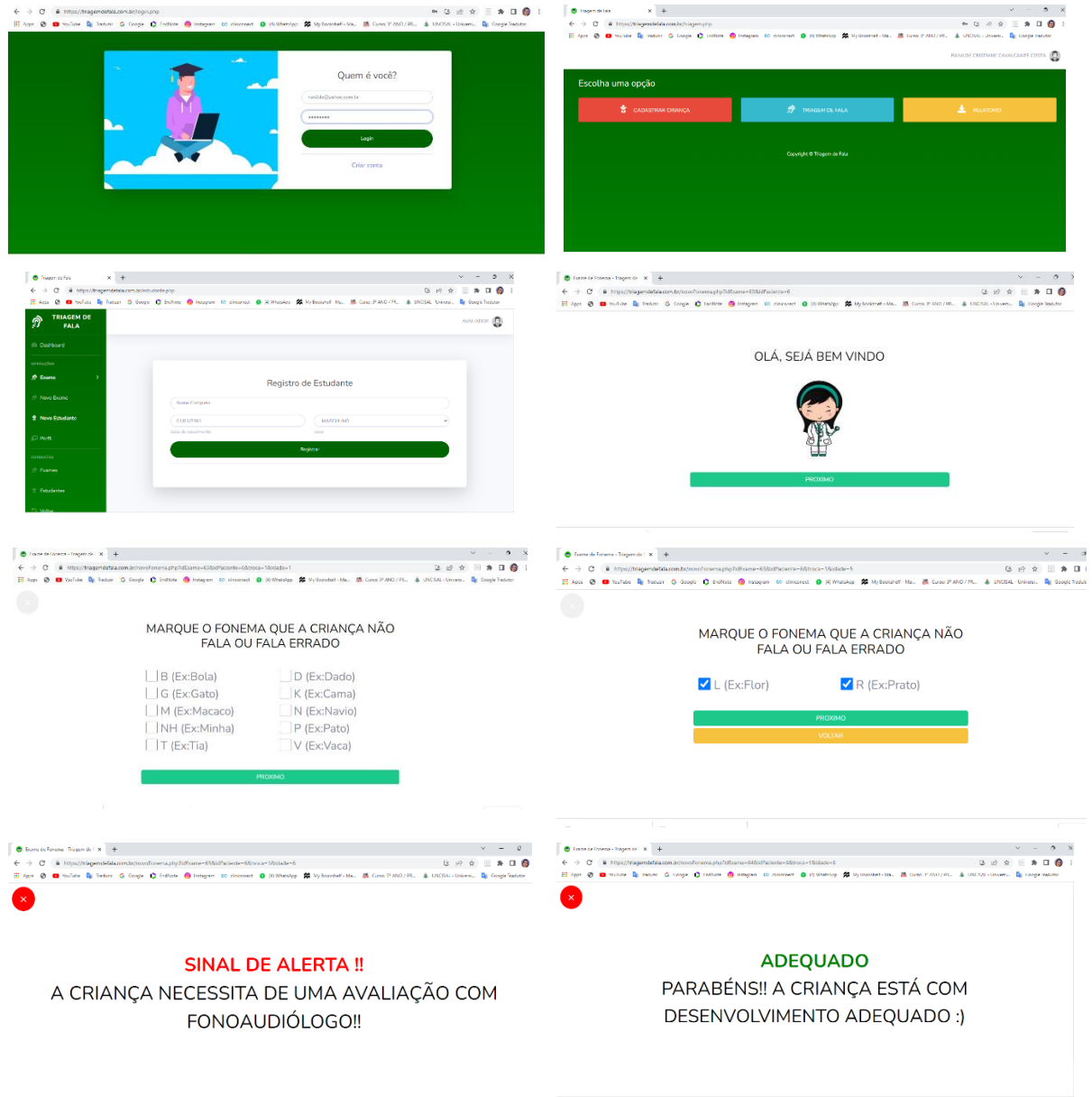
Fonte: Foresti, Oliveira (2020)

Assim, foi iniciada uma etapa de planejamento do aplicativo. A ideia da criação começou a ser desenvolvida na disciplina de “Desenvolvimento de Bioprodutos”. Durante as aulas, fomos estimulados a criar um aplicativo e desenvolver as suas telas iniciais, prevendo o seu funcionamento e aplicabilidade. Finalizada a disciplina, com a ideia elaborada, foi realizada uma reunião com um profissional de tecnologia da informação, com experiência no desenvolvimento de aplicativos para área de saúde, para que pudesse ser avaliado a viabilidade do projeto. O profissional avaliou a proposta e considerou a ideia executável.

Dessa maneira, teve início a etapa de desenvolvimento. O protótipo do aplicativo começou a funcionar em setembro de 2021. Duas fonoaudiólogas, especialistas em linguagem e com experiência de 20 anos no atendimento a crianças com transtorno dos sons da fala, realizaram simulações e concluíram que o aplicativo estava funcionando adequadamente. Ajustes foram propostos a partir do protótipo inicial até que a versão final que ficou pronta em agosto de 2022.

Com versão finalizada, foi sugerido pelo programador que um domínio fosse adquirido para hospedar o aplicativo. Foi identificado a disponibilidade do domínio triagem de fala, que foi prontamente adquirido e, atualmente, o dispositivo pode ser localizado em www.triagemdefala.com.br. Segue para ilustração algumas telas do aplicativo na Figura 2.

Figura 2. Telas do aplicativo “Triagem de Fala”.



Com o aplicativo em funcionamento no seu domínio, o programador informou o código *hash* (código fonte exclusivo do software) que identifica o referido aplicativo para iniciar a etapa de registro no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), por meio da Coordenação de Inovação e Empreendedorismo da Universidade Federal de Alagoas.

A etapa de avaliação seguiu com a utilização do *System Usability Scale (SUS)*, desenvolvida por Brooke (1996) Trata-se de uma escala composta por dez itens que oferece uma visão global sobre a usabilidade. A pontuação vai de 0 a 100 pontos e a média é 68 pontos. Esta avaliação permite analisar a efetividade, eficiência e

satisfação. Os avaliadores foram orientados a usar o aplicativo e preencher o formulário de avaliação com total e plena liberdade de expressão.

Para compor a banca de avaliadores foram convidados 10 fonoaudiólogos, os quais não possuíam conflitos de interesses com os autores, que tivessem pós-graduação *latu* ou *stricto sensu* na área de linguagem e/ou tivessem o título de especialista em linguagem pelo Conselho Federal de Fonoaudiologia. Além disso, os profissionais deveriam ter experiência, de no mínimo 5 anos, no atendimento à população infantil, incluindo crianças com transtorno dos sons da fala.

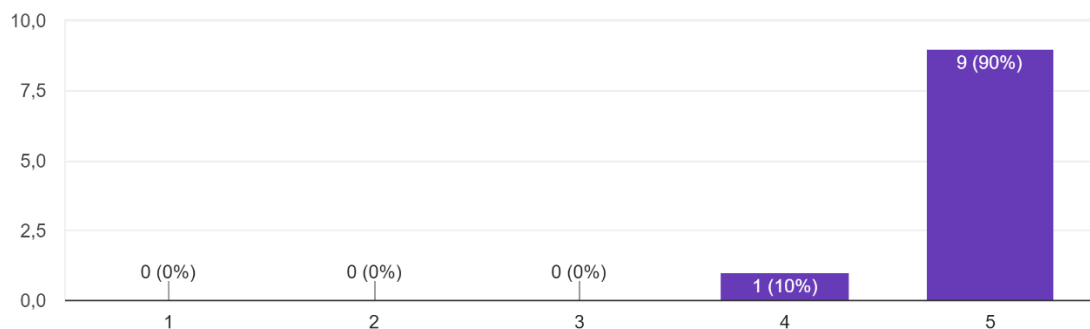
Os avaliadores apresentaram em média 11 anos e 4 meses de experiência profissional. Entre eles, 20% eram doutores, 20% mestres e 60% especialista. A pontuação média obtida com os avaliadores com a escala *SUS* foi 96,25%. Esse resultado indica um alto índice de usabilidade que reflete a eficácia, eficiência e satisfação dos avaliadores na experiência com o aplicativo.

Segue abaixo o resultado obtido com os avaliadores para as 10 questões que compõe o *System Usability Scale (SUS)*, confoem pode ser observado na Figura 3.

Figura 3. Resultado da avaliação com *System Usability Scale (SUS)*

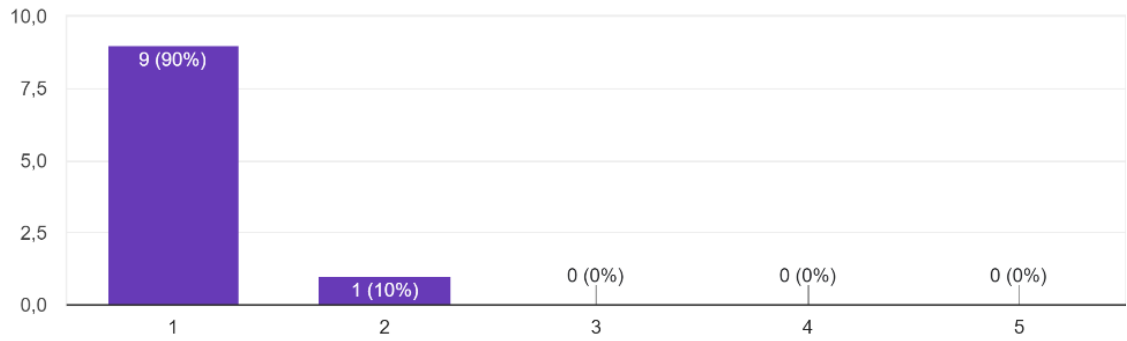
1. Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.

10 respostas



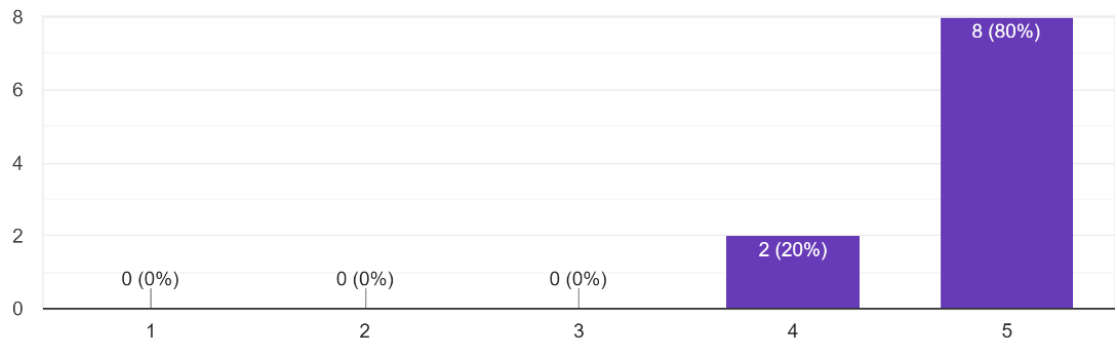
2. Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.

10 respostas



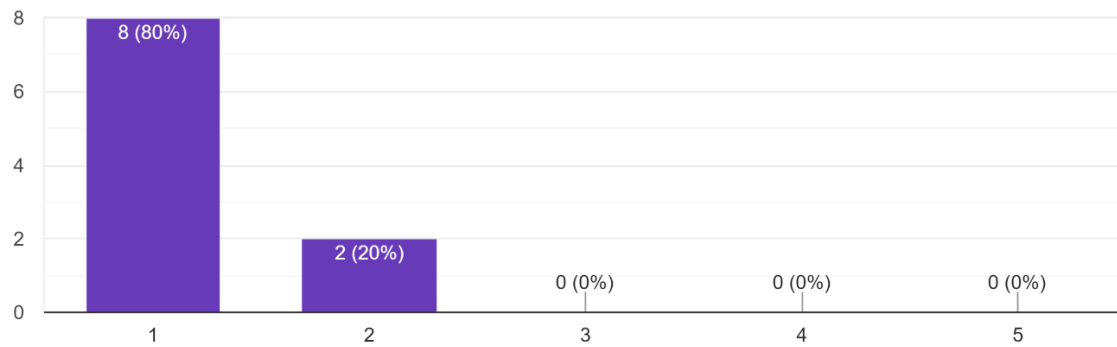
3. Eu achei o sistema fácil de usar.

10 respostas



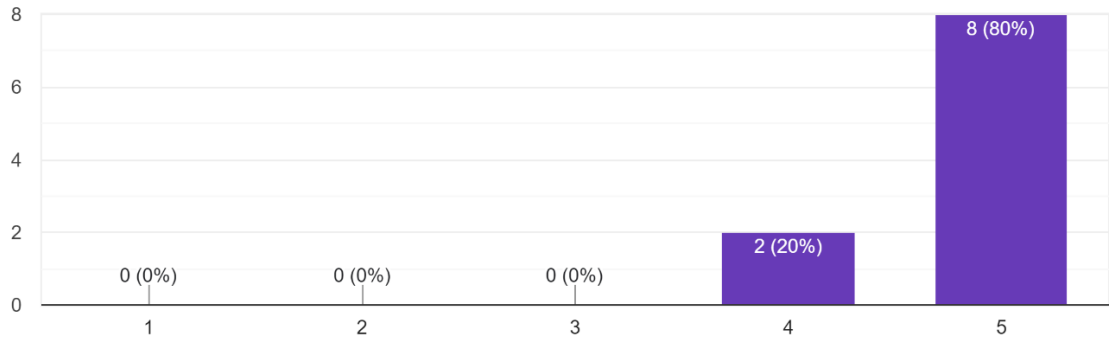
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.

10 respostas



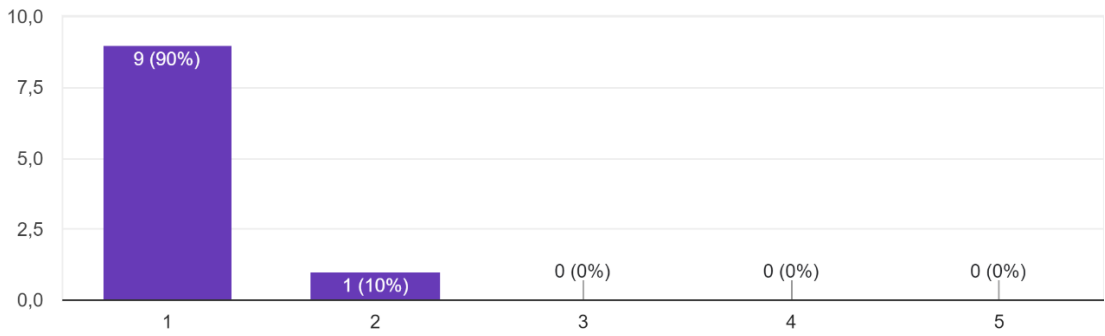
5. Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.

10 respostas



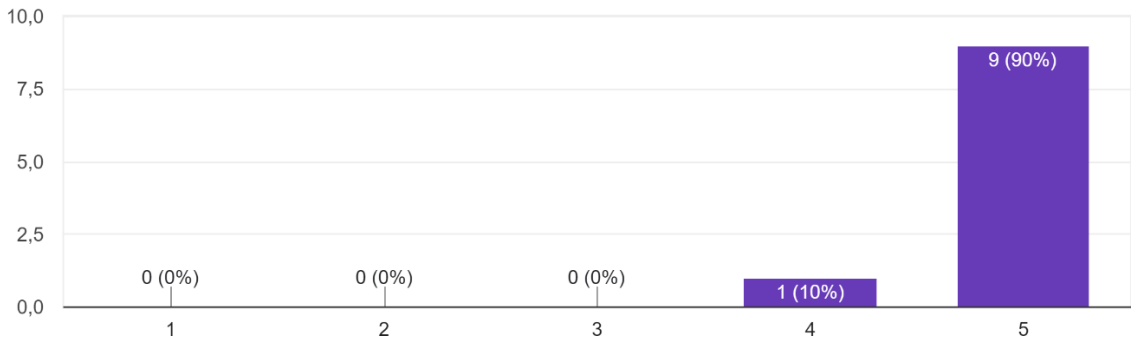
6. Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.

10 respostas



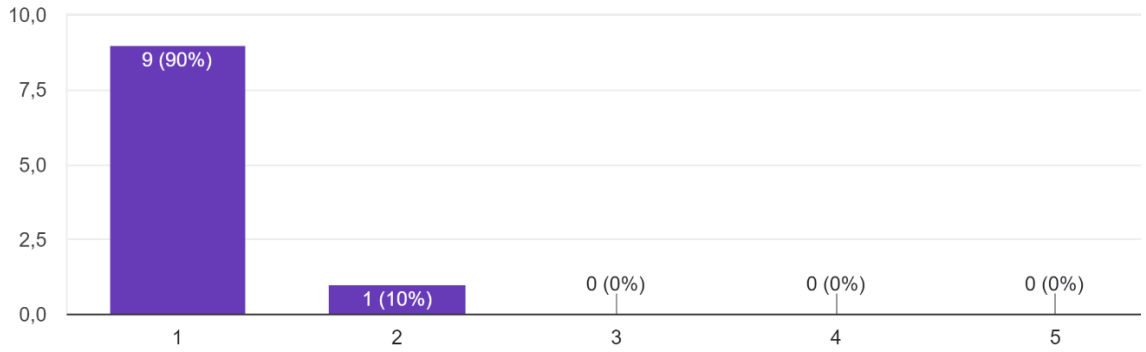
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.

10 respostas



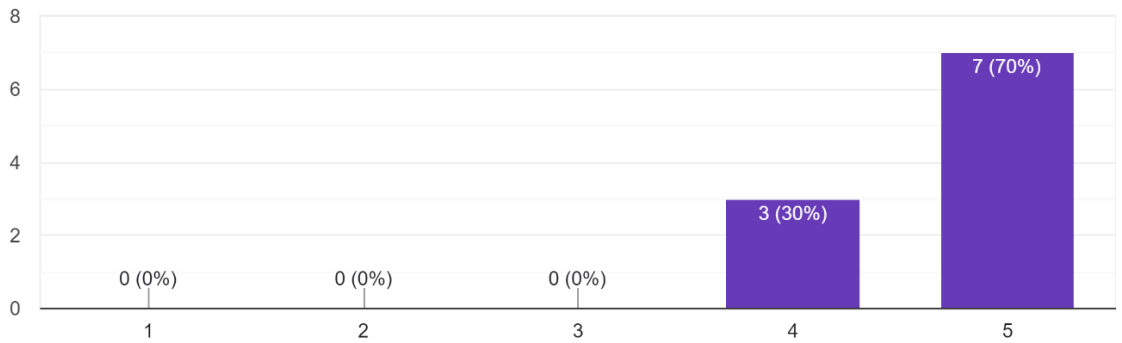
8. Eu achei o sistema atrapalhado de usar.

10 respostas



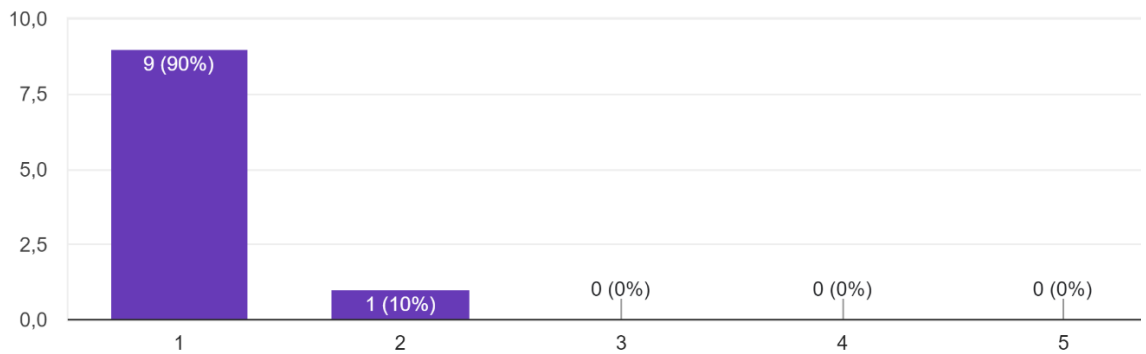
9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.

10 respostas



10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

10 respostas



Diante da avaliação inicial satisfatória, serão conduzidos testes de satisfação com os outros profissionais de saúde que podem utilizar o aplicativo. Após essa análise, o aplicativo será testado em pesquisa clínica, comparando a utilização do aplicativo “Triagem de Fala”, com testes consagrados na literatura para avaliação da aquisição fonológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROOKE, J. (1996). SUS: A “quick and dirty” usability scale. In P. Jordan, B. Thomas, & B. Weerdmeester (Eds.), **Usability evaluation in industry** (pp. 189–194). London, UK: Taylor & Francis.

CALDEIRA, H. J. M. et al. Prevalência de alterações de fala em crianças por meio de teste de rastreamento. *Rev. CEFAC.*, vol, 15, n. 1, p. 144-152. 2013.

DSM-5 - Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais. [American Psychiatric Association; tradução: Nascimento MIC, et al.]. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 923p.

FORESTI, T.; OLIVEIRA, B. F. Design e tecnologia para a saúde: projeto de aplicativo para detectar e prevenir a perda auditiva. In.: Oliveira GG, Núñez GJZ. **Design em pesquisa**. Porto Alegre: Marcavisual, 2020.

FREITAS, C. R.; MEZZOMO, C. L.; VIDOR, D. C. G. M. Discriminação fonêmica e a relação com os demais níveis linguísticos em crianças com desenvolvimento fonológico típico e com desvio fonológico evolutivo. **CoDAS**, vol. 27, n. 3, p. 236-241. 2015.

GOMES, M. L. et al. Avaliação de aplicativos móveis para promoção da saúde de gestantes com pré-eclâmpsia. **Acta Paul Enferm.**, vol. 32, n. 3, p. 275-281. 2019.

GOULART, B. N. G.; CHIARA, B. M. Prevalência de desordens de fala em escolares e fatores associados. **Rev Saúde Pública**, vol. 41, n. 5, p. 726-731. 2007.

INDRUSIAK, C. S.; ROCKENBACH, S. P. Prevalência de desvio fonológico em crianças de 4 a 6 anos de escolas municipais de educação infantil de Canoas RS. **Rev. CEFAC**, vol. 14, n. 5, p. 943-951. 2012.

MELO, R. M.; BACKES, F. T.; MOTA, H. B. Percepções de pais/responsáveis de crianças com desvio fonológico acerca do desvio fonológico e da terapia fonoaudiológica. **Rev. CEFAC**, vol. 17, n. 6, p.1802-1813. 2015.

PATAH, L. K.; TAKIUCHI, N. Prevalência das alterações fonológicas e uso dos processos fonológicos em escolares aos 7 anos. **Rev CEFAC**, v.10, n.2, p. 158-167. 2008.

ROSSI-BARBOSA, L. A. R. et al. Prevalência de transtornos fonológicos em crianças do primeiro ano do ensino fundamental. **Rev Soc Bras Fonoaudiol.**, vol. 16, n. 3, p. 330-336. 2011.

SANTOS, M. J.; BARRERA, S. D. Impacto do treino em habilidades de consciência fonológica na escrita de pré-escolares. *Psicol Esc Educ.*, vol. 21, n. 1, p. 93-102. 2017.

TERTO, S. S. M.; LEMOS, S. M. A. Aspectos temporais auditivos: produção de conhecimento em quatro periódicos nacionais. *Rev. CEFAC*, vol. 13, n. 5, p. 926-936. 2011.

WERTZNER, H. F. et al. Evidence for Speech Sound Disorder (SSD) Assessment. IN.: FERNANDES, F. D. M. (ed). **Advances in Speech-language Pathology**. London: IntechOpen, 2017. Pag. 275-298. E-book. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/56414>. Acessado em 10 outubro 2022.

CONCLUSÕES

Ao estudar os potenciais evocados auditivos corticais com estímulos de fala que se diferenciam por um, dois e três traços distintivos foi possível perceber que adultos e crianças sem alteração auditiva ou de fala são capazes de discriminar os três pares de sílabas apresentados, ou seja, não foi possível estabelecer níveis de discriminação auditiva na população estudada.

Nos adultos, observamos uma maior amplitude no componente P2 para o par de estímulo que se diferencia por dois traços distintivos. Nas crianças não foi observada nenhuma diferença. A comparação dos PEAC entre adultos e crianças mostrou evidências que caracterizam o processo de maturação do sistema auditivo.

O estudo apresenta intervalos de referência dos componentes de onda dos PEAC, para a latência e a amplitude, considerando a média de todos os estímulos de fala, em adultos e crianças com desenvolvimento típico. Os valores encontrados se aproximam dos descritos na literatura.

A revisão sistemática com metanálise não identificou diferença de desempenho dos potenciais evocados auditivos de longa latência em crianças com transtorno fonológico, quando comparado com crianças que apresentam desenvolvimento típico de fala.

O aplicativo em desenvolvimento representa um instrumento capaz de identificar crianças com risco de alteração de fala, proporcionando um encaminhamento precoce para avaliação e intervenção fonoaudiológica especializada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUNG, K. *et al.* The use of cortical auditory evoked potentials to evaluate neural encoding of speech sounds in adults. **J Am Acad Audiol.**, vol. 17, p. 559–572. 2006.

ALAIN, C; TREMBLAY, K. The Role of Event-Related Brain Potentials in Assessing Central Auditory Processing. **J Am Acad Audiol**, vol.18, p. 592-608. 2007.

ALMEQBEL, A. Speech-evoked cortical auditory responses in children with normal hearing. *S Afr J Commun Disord.*, vol. 60, p. 38-43. 2013.

ALVARENGA, K. F. *et al.* The influence of speech stimuli contrast in cortical auditory evoked potentials. **Braz J Otorhinolaryngol.**, vol. 79, n. 3, p. 336-341. 2013.

ASHA - American Speech-Language-Hearing Association. Speech Sound Disorders- Articulation and Phonology. Rockville (EUA): ASHA. Disponível em: <https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/articulation-and-phonology/>. Acesso em 20 outubro 2022.

BERTI, L. C. *et al.* Desempenho perceptivo-auditivo de crianças na identificação de contrastes fonológicos entre as oclusivas. *J Soc Bras Fonoaudiol.*, vol. 24, n. 4, p. 348-354. 2012.

CANTONI, M. M.; OLIVEIRA, B. G.; NEVADO, H. M. Introdução à análise acústica da fala com o Praat. *Texto Livre*, vol. 15, p. e37947. 2022.

CHOMSKY, N.; HALLE, M. **The sound pattern of english**. New York: Harper & Row. 1968. 470 p.

CONE, B. K. Infant Cortical Electrophysiology and Perception of Vowel Contrasts. *Int J Psychophysiol*, vol. 95, n. 2, p. 65-76. 2015.

CONE-WESSON, B.; WUNDERLICH, J. Auditory evoked potentials from the cortex: audiology applications. **Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.**, vol. 11, n. 5, p. 372-377. 2003.

DELATTRE, P. et al. An experimental study of the acoustic determinants of vowel color; observations on one- and two-formant vowels synthesized from spectrographic patterns. **Word**, v. 8, p. 199-210. 1952.

DIDONÉ, D.D. et al. Auditory Evoked Potentials with different speech stimuli: a comparison and standardization of values. **Int Arch Otorhinolaryngol**, vol. 20, n. 2, p. 99-104. 2016.

DIGESER, F.M.; WOHLBEREDT, T.; HOPPE, U. Contribution of Spectrotemporal Features on Auditory Event-Related Potentials Elicited by Consonant-Vowel Syllables. **Ear & hearing.**, v. 30, n. 6, p. 704-712. 2009.

EGGERMONT, J. J.; PONTON, C. W. Auditory-evoked Potential Studies of Cortical Maturation in Normal Hearing and Implanted Children: Correlations with Changes in Structure and Speech Perception. **Acta Otolaryngol.**, vol. 123, p. 249-252. 2003.

ELANGOVAN, S.; STUART, A. A cross-linguistic examination of cortical auditory evoked potentials for a categorical voicing contrast. **Neurosci. Lett.**, v. 490, p. 140-144. 2011.

FITZROY, A. B. et al. Longitudinal maturation of auditory cortical function during adolescence. **Front. Hum. Neurosci**, v. 9, p. 1-13. 2015.

FRIZZO, A. C. F.; ADVÍCULA, K. Potenciais evocados auditivos de longa latência: conceitos e aplicações clínicas. In.: MENEZES, P. L. et al. **Tratado de eletrofisiologia para fonoaudiologia**. Ribeirão Preto: Booktoy, 2018. p. 139-150.

FRIZZO, A. C. F. Potenciais evocados auditivos corticais. In.: MENEZES, P. L. et al. **Manual de eletrofisiologia e eletroacústica: um guia para clínicos**. Ribeirão Preto: Booktoy, 2021, p. 235-250.

HE, S; GROSE, J.H.; BUCHMAN, G. A. Auditory Discrimination: The Relationship Between Psychophysical and Electrophysiological Measures. **Int J Audiol.**, vol. 51, n. 10, p. 771-782. 2012.

JOHNSON, K. L.; NICOL, T.; ZECKER, S. G.; KRAUS, N. Developmental plasticity in the human auditory brainstem. **J Neurosci**, vol. 28, n. 15, p. 4000-4007. 2008.

KENT, R. D.; READ, C. **Análise acústica da fala**. São Paulo: Cortez, 2015. 499 p.

- KEY, A. P.; YODER, P. J. Equiprobable and oddball paradigms: two approaches for documenting auditory discrimination. **Dev Neuropsychol.**, vol. 38, n. 6, p. 402-417. 2013.
- KIM, C. et al. Acoustic Features and Cortical Auditory Evoked Potentials according to Emotional Statues of /u/, /a/, /i/ Vowels. **J Audiol Otol.**, vol. 22, n. 2, p. 80-88. 2018.
- KOERNER, T. K. et al. Neural indices of phonemic discrimination and sentence-level speech intelligibility in quiet and noise: a P3 study. **Hearing Res**, vol. 350, p. 58-67. 2017.
- KRAUS, N.; NICOL, T. Aggregate neural responses to speech sounds in the central auditory system. **Speech Commun**, vol. 41, p. 35-47. 2003.
- KUMMER, P. et al. Cortical auditory evoked potentials to acoustic changes in speech stimuli in children. **Folia Phoniatr Logop.**, vol. 59, p. 273-280. 2007.
- LUNARDELO, P.P.; SIMÕES, H. O.; ZANCHETTA, S. Diferenças e similaridades no registro do potencial evocado auditivo P1-N1 para distintos estímulos sonoros. **Rev. CEFAC**, vol 21, n. 2, p. e18618. 2019.
- MATAS, C. G. *et al.* Potenciais evocados auditivos de longa latência em campo sonoro em crianças audiológicamente normais. **Audiol Commun Res.**, vol. 20, n. 4, p. 305-312. 2015.
- MATZENAUER, C. L. B. Bases para a o entendimento da aquisição fonológica. IN.: LAMPRECHT, R. R. **Aquisição fonológica do português brasileiro**. Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 33-58.
- MCPHERSON, D. L. **Late potentials of the auditory system**. San Diego: Singular Press, 1996.
- MELO, A. et al. Potenciais evocados auditivos corticais em neonatos nascidos a termo e pré-termo. **CoDAS**, vol. 28, n. 5, p. 491-496. 2016.
- MUKARI, S. Z. S. et al. Effects of age and type of stimulus on the cortical auditory evoked potential in healthy malaysian children. **J Audiol Otol.**, vol. 24, n. 1, p. 35-39. 2020.

MURPHY, C. R. B. et al. Análise acústica de características temporais de consoantes no Português Brasileiro. **Rev Soc Bras Fonoaudiol.**, vol. 14, n. 3, p. 300-304. 2009.

NAGAO, D. E.; MATAS, C. G. Audiometria de tronco encefálico: utilização de “toneburst” em jovens adultos audiológicamente normais. **Acta AWHO**, vol. 20, n. 4, p. 206-210. 2001.

OPPITZ, S. J. et al. Long-latency auditory evoked potentials with verbal and nonverbal stimuli. **Braz J Otorhinolaryngol**, vol. 81, n. 6, p. 647-652. 2015.

PERSON, O. C. *et al.* A utilização dos potenciais evocados auditivos como método diagnóstico em medicina. **Arq. Med. ABC.**, vol. 30, n. 1, p. 5-10. 2005.

PICTON, T. W. et al. Human auditory evoked potentials: I evaluation of components. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol.**, vol. 36, p. 179-189. 1974.

REGAÇONE, S. F. et al. Potenciais evocados auditivos de longa latência em escolares com transtornos específicos de aprendizagem. **Audiol Commun Res.**, vol. 19, n. 1, p. 13-18. 2014.

REGAÇONE, S. F.; GUÇÃO, A. C. B.; FRIZZO, A. C. F. Eletrofisiologia: perspectivas atuais de sua aplicação clínica em fonoaudiologia. **Verba Volante**, vol 4, n. 1, p. 1-20. 2013.

REIS, A. C. M.; FRIZZO, A. C. F. Potencial Evocado Auditivo Cognitivo. In: MENEZES, P. L. et al. **Tratado de eletrofisiologia para fonoaudiologia**. Ribeirão Preto: Booktoy, 2018. p. 140-150.

SAMSON, F. et al. Stimulus complexity and categorical effects in human auditory cortex: an activation likelihood estimation meta-analysis. **Front Psychol.**, vol. 1, p. 1-23. 2011.

SEARA, I. C.; NUNES, V. G.; LAZZAROTTO-VOLCÃO, C. **Para conhecer fonética e fonologia do português brasileiro**. São Paulo: Contexto, 2015, 199p.

SILVA, L. S. et al. Potenciais corticais auditivos: uso de diferentes estímulos de fala em populações infantis. **Audiol Commun Res.**, vol. 22, p. e1788. 2017.

SOARES, E. P. M. A geometria de traços e suas contribuições aos estudos fonológicos. **Acta Semiót. Lingvist.**, vol. 25, n. 21, p. 29-40. 2020.

SONG, H. et al. Effects of natural versus synthetic consonant and vowel stimuli on cortical auditory-evoked potential. **J Audiol Otol.**, vol. 26, n. 1, p. 68-75. 2022.

SOUZA, A. E. H. *et al.* Potencial evocado auditivo de longa latência em crianças com desenvolvimento típico. **Distúrb Comun.**, São Paulo. 2018; 30(3): 585-594.

SWINK, S.; STUART, A. Auditory long latency responses to tonal and speech stimuli. **J Speech Lang Hear Res**, vol. 55, n. 2, p. 447-59. 2012.

UPPENKAMP, S. et al. Locating the initial stages of speech–sound processing in human temporal cortex. **Neuroimage**, vol. 31, p. 1284-1296. 2006.

VENTURA, L. M. P.; COSTA FILHO, O. A.; ALVARENGA, K. F. Maturação do sistema auditivo central em crianças ouvintes normais. **Pró-Fono: Rev de Atual Cient.** 2009; 21(2):101-106.

WAGNER, M. et al. The effect of native-language experience on the sensory-obligatory components, the P1–N1–P2 and the T-complex. **Brain Res.**, vol. 1522, p. 31–37. 2013.

Apêndice

Apêndice A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

(Em 2 vias, firmado por cada participante voluntário(a) da pesquisa e pelo responsável)

“O respeito devido à dignidade humana exige que toda pesquisa se processe após o consentimento livre e esclarecido dos sujeitos, indivíduos ou grupos que por si e/ou por seus representantes legais manifestem a sua anuência à participação na pesquisa”

1. O(a) Senhor(a) está sendo convidado(a) a participar como voluntário(a) ou autorizar a participação do menor pelo(a) qual você é responsável a participar do estudo “Desenvolvimento de teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais”, que será realizado no Serviço de Fonoaudiologia do Centro Especializado em Reabilitação (CER III) e no Laboratório de Audição e Tecnologia (LATEC) da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (UNCISAL), recebi da Sra. Ranilde Cristiane Cavalcante Costa, fonoaudióloga, professora da UNCISAL, responsável pela execução desta pesquisa. Recebi as seguintes informações abaixo, que me fizeram entender sem dificuldades e sem dúvidas os seguintes aspectos:
2. Este estudo vai desenvolver um teste para identificar diferentes níveis de discriminação auditiva com o exame de potenciais evocados auditivos corticais. Com o estudo será possível realizar um diagnóstico novo e mais correto das pessoas com problema em diferenciar os sons que escuta.
3. Você ou o(a) menor pelo qual é responsável, participará do estudo da seguinte maneira: serão feitas perguntas sobre como você escuta, o pesquisador vai olhar seu ouvido e verificar se você escuta bem com um exame que você vai colocar um fone de ouvido e levantar a mão toda vez que escutar um som. Esse exame é realizado dentro de uma cabine. Depois vai verificar se você fala direito, pedindo para você dizer o nome de umas figuras e repetir umas palavras. Por último, vai testar se você consegue perceber a diferença entre dos sons. Para isso, o pesquisador vai limpar sua pele, colocar uns fios (eletrodos) e você vai assistir um pequeno filme, enquanto fica deitado numa cadeira, bem quieto.
4. Os riscos da pesquisa são: pode acontecer de sentir desconforto quando estiver dentro da cabine, mas a possibilidade de isso acontecer é pequena porque a cabine é grande, fica dentro de uma sala com ar condicionado e o exame é rápido. Caso o participante sinta qualquer desconforto vamos parar o exame. Além disso, pode sentir desconforto quando o pesquisador limpar a pele, mas isso será feito com cuidado e com um creme especial para não machucar. O pesquisador se responsabilizará por qualquer dano causado pela pesquisa, mesmo que este dano não tenha sido causado pela pesquisa.
5. Os benefícios são receber todos os resultados dos exames que serão realizados. Além disso, se for identificado qualquer problema com a sua audição, receberá

tratamento no CER III da UNCISAL sem pagar nada para entrar no programa para receber aparelho de audição, tendo a fonoaudióloga do CER III Kelly Cristina Lira Andrade como responsável por esse serviço.

6. Durante todo o estudo, a qualquer momento que você precise, serão dadas informações sobre cada uma das etapas do estudo.

7. A qualquer momento, o(a) Senhor(a) poderá não querer continuar participando do estudo e, retirar sua autorização, sem ter qualquer prejuízo. Seu nome não vai ser informado e, apenas os pesquisadores terá essa informação. A divulgação dos resultados será realizada somente entre profissionais e sem dizer o nome de qualquer participante.

8. O(a) Senhor(a) deverá ser ressarcido(a) por qualquer gasto que venha a ter com a sua participação nesse estudo e, também, indenizado por todos os danos que venha a sofrer. O pesquisador garante a existência de recursos.

9. O(a) Senhor(a) tendo entendido o que lhe foi dito sobre a sua participação voluntária no estudo “Desenvolvimento de teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais”, consciente dos seus direitos, das suas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que terá com a sua participação, concordará em participar da pesquisa mediante a sua assinatura deste Termo de Consentimento.

Ciente, _____ DOU O
MEU CONSENTIMENTO SEM QUE PARA ISSO EU TENHA SIDO FORÇADO OU
OBRIGADO.

Endereço do(a) participante voluntário(a):

Residência: _____ N. _____,
complemento: _____ Bairro: _____
Cidade/Estado: _____ CEP: _____ Telefone: _____

ATENÇÃO: Para informar ocorrências irregulares ou danosas, dirija-se ao Comitê de Ética em Pesquisa, pertencente UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE - UNCISAL: Rua Dr Jorge de Lima, 113. Trapiche da Barra, CEP.: 57010-382. Sala 203, segundo andar, Prédio Sede. Telefone: 3315 6787. Correio eletrônico: comitedeeticaucisal@gmail.com . Website: <https://cep.uncisal.edu.br/>

Maceió, _____ de _____ de _____

**Assinatura do pesquisador
principal**
(rubricar as demais folhas)

**Assinatura ou impressão digital do(a)
voluntário(a) ou responsável legal**
(rubricar as demais folhas)

Apêndice B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE)

Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Desenvolvimento de teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais”. Seus pais permitiram que você participe.

Queremos identificar diferentes níveis de discriminação auditiva com o exame de potenciais evocados auditivos corticais.

As crianças que irão participar desta pesquisa têm de 7 a 12 anos de idade.

Você não precisa participar da pesquisa se não quiser, é um direito seu e não terá nenhum problema se desistir.

A pesquisa será feita no Centro Especializado de Reabilitação (CER III) e no Laboratório de Audição e Tecnologia (LATEC), ambos na Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (UNCISAL), onde as crianças irão passar pelos seguintes procedimentos: o pesquisador vai olhar seu ouvido e verificar se você escuta bem com um exame que você vai colocar um fone de ouvido e levantar a mão toda vez que escutar um som. Esse exame é realizado dentro de uma cabine. Depois vai verificar se você fala direito, pedindo para você dizer o nome de umas figuras e repetir umas palavras. Por último, vai testar se você consegue perceber a diferença entre dos sons. Para isso, o pesquisador vai limpar sua pele, colocar uns fios (eletrodos) e você vai assistir um pequeno filme, enquanto fica deitado numa cadeira, bem quieto.

Todo procedimento é considerado seguro, mas pode acontecer de sentir desconforto quando estiver dentro da cabine, mas a possibilidade de isso acontecer é pequena porque a cabine é grande, fica dentro de uma sala com ar condicionado e o exame é rápido. Caso sinta qualquer desconforto vamos parar o exame. Além disso, pode sentir desconforto quando o pesquisador limpar a pele, mas isso será feito com cuidado e com um creme especial para não machucar. O pesquisador se responsabilizará por qualquer dano causado pela pesquisa, mesmo que este dano não tenha sido causado pela pesquisa.

Caso aconteça algo errado, você pode nos procurar pelos telefones 3315.6811 da pesquisadora Ranilde Cristiane Cavalcante Costa.

Mas há coisas boas que podem acontecer como receber todos os resultados dos exames que serão realizados. Além disso, se for identificado qualquer problema com a sua audição, receberá tratamento no CER III da UNCISAL sem pagar nada para entrar no programa para receber aparelho de audição, tendo a fonoaudióloga do CER III Kelly Cristina Lira Andrade como responsável por esse serviço.

Ninguém saberá que você está participando da pesquisa; não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der. Os resultados da pesquisa vão ser publicados, mas sem identificar as crianças que participaram.

Quando terminarmos a pesquisa vamos dizer em um trabalho se conseguimos ou não identificar os níveis de discriminação auditiva.

Se você tiver alguma dúvida, você pode me perguntar. Eu escrevi os telefones na parte de cima deste texto.

CONSENTIMENTO PÓS INFORMADO

Eu _____ aceito participar da pesquisa “Desenvolvimento de teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais”.

Entendi as coisas ruins e as coisas boas que podem acontecer.

Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir e que ninguém vai ficar furioso.

Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis.

Recebi uma cópia deste termo de assentimento e li e concordo em participar da pesquisa.

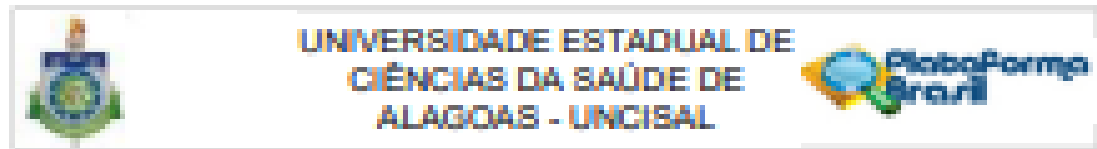
Maceió, _____ de _____ de _____

Assinatura do pesquisador principal
(rubricar as demais folhas)

Assinatura da criança
(rubricar as demais folhas)

ANEXOS

Anexo A - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais

Pesquisador: RAFAEL CRISTIANI CAVALCANTE COSTA

Área Temática:

Versão: 3

CAMÉ: 03/01718.8.2020.9011

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE ALAGOAS -

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.157.899

Apresentação do Projeto:

A discriminação auditiva refere-se à capacidade que o ser humano possui para diferenciar dois ou mais sons. O exame de Potenciais Evocados Auditivos Corticais (PEAC) é utilizado para caracterizar a discriminação de sons, a partir de diferentes estímulos, podendo ser tom puro ou fala. Diferentes estímulos de fala são usados para investigar a discriminação auditiva, sem analisar semelhanças ou diferenças entre os fonemas usados. Diante dessa realidade, surgiu a necessidade de desenvolver diferentes estímulos de fala, considerando os traços distintivos que os fonemas compartilham, estabelecendo diferentes níveis de dificuldades de discriminação. **Objetivo:** desenvolver um teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais. **Método:** o estudo será realizado em duas etapas: Etapa I - Desenvolvimento de tecnologia e Etapa II - Pesquisa com seres humanos. Na etapa I serão desenvolvidos os estímulos de fala /ka/ e /ka/, /ka/ e /ka/, /ga/ e /ka/, o distrator e o protocolo inédito para definir níveis de discriminação auditiva. Na etapa II será realizada uma pesquisa, composta por uma amostra de 36 participantes, distribuídos em dois grupos pesquisas (GP), sendo GP1, formado por 17 adultos jovens na faixa etária entre 18 anos e 25 anos e GP 2, formado por crianças, na faixa etária entre 7 anos e 10 anos. Os dois grupos serão formados por pessoas de ambos os sexos, sem alteração auditiva e sem alteração de fala. Serão aplicados os procedimentos de anamnese, otoscopia, imitanciométria, audiometria tonal e vocal, prova de fonologia do Teste de Linguagem Infantil ARIPE e PEAC. Os resultados serão analisados estatisticamente. A normalidade

Endereço: Rua Jorge de Lima, 113

Bairro: PARQUE

CEP: 57015-200

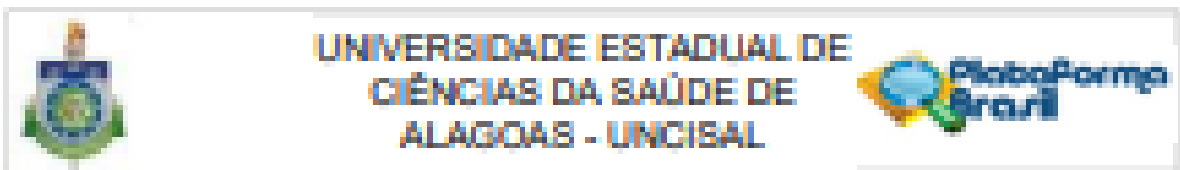
UF: AL

Município: MACEIO

Telefone: (32)3215-2797

Fax: (32)3215-2797

Email: comite@uncisal@gmail.com



Contato: (31) 3511-1111

da amostra será observada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Para detectar diferenças entre os três estímulos, numa análise intragrupo, serão usados os testes teste ANOVA two-way, com o teste post hoc de Tukey ou o teste Friedman, com o Wilcoxon, a depender da normalidade da amostra. Para avaliação da sensibilidade e especificidade será traçada a curva de Características de Operação do Receptor (Curva ROC – Receiver Operating Characteristic). Os valores de p serão considerados significativos quando menores que 0,05 e o valor de beta estabelecido será de 0,1. O software utilizado para a obtenção dos cálculos será o Statistical Package for Social Sciences (SPSS), versão 23.0.

Objetivo da Pesquisa:

Geral:

- Desenvolver um teste diagnóstico para identificação dos níveis de discriminação auditiva com potenciais evocados auditivos corticais.

Específicos:

- Desenvolver um novo padrão de estímulo de fala para evocar os potenciais auditivos corticais a partir dos traços distintivos;
- Desenvolver um dicitador para ser usado durante o teste;
- Verificar a presença de níveis de discriminação auditiva a partir dos estímulos /ba/ e /ba:/, /ba/ e /ba:/ e /ga/ e /ga:/;
- Desenvolver protocolo inédito de avaliação para a discriminação auditiva, por meio de um teste piloto;
- Padronizar o novo teste, com a aplicação em adultos e crianças, ambos os grupos com audição normal e sem alteração de fala;
- Analisar a sensibilidade e a especificidade do novo teste.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: apesar de não serem descritos riscos à saúde física do participante, os riscos presumíveis são: identificação do participante da pesquisa, mas este risco será minimizado pois os dados dos exames serão identificados por código em um computador protegido com senha de acesso; durante a pesquisa do limiar audiométrico, realizado dentro da cabine, existe a possibilidade remota de o participante apresentar fobia devido à abertura a lugares fechados. Para minimizar esse risco, o exame será interrompido e a cabine será aberta para melhorar a ventilação até o participante se

Endereço: Rua Jorge de Lima, 111

Bairro: PRADO

UF: AL

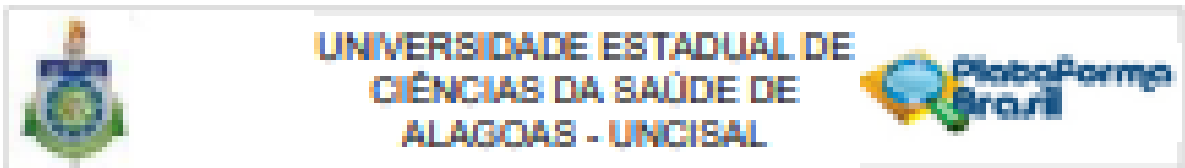
Telefone: (31)3511-1111

Município: MACEIO

Fax: (31)3511-1170

CNPJ: 07.043.338

E-mail: comiteetetic@uncisal.com.br



Contato: (30) 3161-1000

sentir melhor, além disso a cabine é grande e fica em uma sala refrigerada, diminuindo a probabilidade que isso aconteça. Destaca-se que é um exame mais frequente realizado dentro da avaliação de audição. Também existe a possibilidade de desconforto ou ardor no momento da limpeza de regiões da face para a colocação dos eletrodos. Para diminuir a possibilidade de desconforto ou ardor na colocação dos eletrodos, será utilizada a pasta Nuprep, específica para esse fim. Salienta-se que a colocação de eletrodos para realização de potenciais auditivos é um procedimento que é realizado também em bebês, cuja a pele é mais delicada sem nenhum dano permanente. O pesquisador assume a responsabilidade de dar assistência integral às complicações e danos decorrentes dos riscos previstos. Os procedimentos da pesquisa são indolores, não gerando qualquer tipo de desconforto.

Benefícios: os participantes da pesquisa serão beneficiados de forma direta, pois receberão cópias de todos os exames auditivos realizados. Além disso, caso seja identificada qualquer perda auditiva, os participantes serão encaminhados para o setor de fonoaudiologia do Centro Especializado de Reabilitação (CER III) da UNICISAL, com a garantia de proteseção e reabilitação auditiva, realizadas pela Fga. Kelly Cristina Lira Andrade, responsável pelo setor de aparelho auditivo no CER III. Como benefícios indiretos, pode-se citar o avanço no diagnóstico diferencial das habilidades auditivas, que contribui para o diagnóstico para os distúrbios de comunicação humana, especialmente no que se refere às alterações de linguagem e fala.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O presente estudo se encontra de acordo com a Resolução 466/12.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Termos e declarações de acordo com o solicitado no parecer número 3.008.167.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

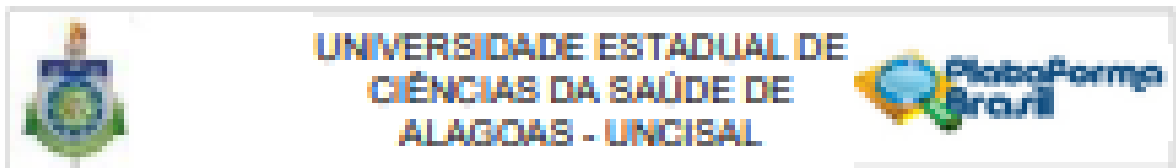
Sem pendências adicionais.

Considerações Finais e critério do CEP:

Nesta oportunidade, lembramos que o pesquisador tem o dever de durante a execução do experimento, manter o CEP informado através do envio a cada seis meses, de relatório comsubstanciado acerca da pesquisa, seu desenvolvimento, bem como qualquer alteração, problema ou interrupção da mesma.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Rua Jorge de Lima, 113	CEP: 37.215.000
Bairro: PRADO	
UF: AL	Município: MACEIO
Telefone: (30)3161-1000	Fax: (30)3161-0767
E-mail: comitetal@uncisal@gmail.com	



Contato: (36) 3101-4000

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PE_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_188468.pdf	28/12/2018 13:54:21		Arquivo
Formulário Avaliador	PE_PARCERELAS_CONSOLIDANDO_CIP.pdf	28/12/2018 13:54:27	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Carta	Instrumento_pesquisa_atualizado.docx	28/12/2018 13:55:02	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Carta	carta_pesquisadora	28/12/2018 13:55:18	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Carta	carta_ameixa_atualizada.pdf	28/12/2018 13:55:27	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Assentimento	TCLE_ameixa_atualizada.docx	28/12/2018 13:57:11	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE COSTA	Arquivo
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Assentimento	Termo_assentimento_atualizado.docx	28/12/2018 13:58:01	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE COSTA	Arquivo
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Assentimento	TCLE_responsavel_atualizado.docx	28/12/2018 13:59:39	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE COSTA	Arquivo
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Ranilde_atualizado.docx	28/12/2018 13:57:48	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Cronograma	Cronograma_Atualizado.docx	28/12/2018 13:55:28	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Carta	Check_List.pdf	08/08/2018 17:02:28	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Declaração de Pesquisadores	Termo_Responsabilidade_Compromisso_Pesquisador.pdf	08/08/2018 18:58:58	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Folha de Rosto	Folha_Rosto.pdf	08/08/2018 18:52:23	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Carta	convocacao_Rolly.pdf	20/07/2018 20:18:40	RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE	Arquivo
Carta	carta_ameixa.pdf	20/07/2018 20:28:17	RANILDE CRISTIANE	Arquivo

Endereço: Rua Jorge de Lima, 113

Bairro: PRADO

CEP: 57010-000

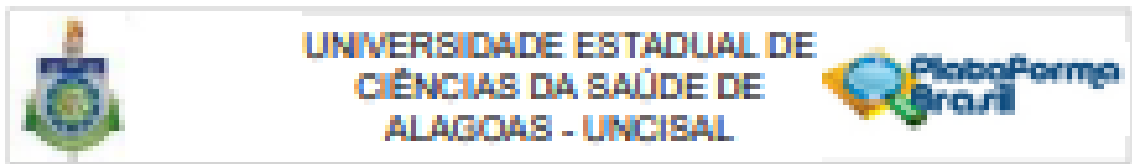
UF: AL

Município: MACEIO

Teléfono: (36)3101-4000

Fax: (36)3101-4797

E-mail: comitebioeticos@uncisal.com.br



Situação do Parecer: 0 02/2018

Dúvidas	Carta_justificativa.pdf	2017/02/18 22:58:17	CÓDIGO	Ação
Dedicação de Instituição e Infraestrutura	Infraestrutura.pdf	2017/02/18 22:58:44	PARLDE CRISTIANE CAVALCANTE	Ação
Dedicação de Instituição e Infraestrutura	Autorização_CIR.pdf	2017/02/18 22:59:08	PARLDE CRISTIANE CAVALCANTE	Ação
Dedicação de Instituição e Infraestrutura	Autorização_LATAC.pdf	2017/02/18 21:54:27	PARLDE CRISTIANE CAVALCANTE	Ação
Dúvidas	Plataforma_pesquisa.pdf	2017/02/18 21:55:54	PARLDE CRISTIANE CAVALCANTE	Ação
Organograma	Organograma.pdf	2017/02/18 00:49:45	PARLDE CRISTIANE CAVALCANTE	Ação
Cronograma	Cronograma.pdf	2017/02/18 00:50:12	PARLDE CRISTIANE CAVALCANTE	Ação

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

MACÉIO, 20 de Fevereiro de 2018

Assinado por:

MARIA DO CARMO BORGES TEIXEIRA
(Coordenadora)

Endereço: Rua Jorge de Lima, 111
 Bairro: PARADO CEP: 57105-000
 UF: AL Município: MACÉIO
 Telefone: (33)3354-0107 Fax: (33)3354-0107 E-mail: coordenador@uncisal.com

Anexo B - Submissão de protocolo de revisão sistemática



To enable PROSPERO to focus on COVID-19 submissions, this registration record has undergone basic automated checks for eligibility and is published exactly as submitted. PROSPERO has never provided peer review, and usual checking by the PROSPERO team does not endorse content. Therefore, automatically published records should be treated as any other PROSPERO registration. Further detail is provided [here](#).

Citation

Ravide Cristine Cavalcante Costa, Thais Nobre Lúcia Sousa, Aline Tenório Lima Carneiro, Kelly Cristina Lima de Andrade, Pedro de Lencos Menezes. Cortical auditory evoked potentials in children with phonological disorder: a systematic review with meta-analysis. PROSPERO 2021; CRD42021271176. Available from: https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?ID=CRD42021271176

Review question

There is a difference in auditory evoked potentials in children with and without phonological disorder?

Searches

MEDLINE via Pubmed, Virtual Health Library, SciELO, Embase, Web of Science, Scopus. There will be no restrictions on language and period of publication.

Search strategy

https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/FILESD071176_STRATEGY_20210711.pdf

Types of study to be included

Articles published in full in scientific journals, from original studies, that have performed the cortical auditory evoked potentials of children with phonological disorder compared to children with typical speech development. Studies of integrative or systematic review will not be included

Condition or domain being studied

Phonological disorder is a speech disorder characterized by substitutions, omissions and/or distortions of sounds. These alterations may be related to difficulties with the organization of the phonological rules of the language, with the auditory perception of sounds and/or with their production. During the acquisition process, the child gradually masters auditory perception and the production of speech sounds. It is through this perception that the child, in an active process, organizes the internal representations about the native language to produce the sounds of a certain language. Thus, aspects related to auditory information processing may be associated with speech problems.

Participants/population

Children with phonological disorder

Intervention(s), exposure(s)

The cortical auditory evoked potentials of children with phonological disorder will be compared with children with typical speech development

Comparator(s)/control

Children with typical speech development

Main outcome(s)

The main results to be analyzed are the mean values and standard deviation of latency and amplitude of the cortical auditory evoked potentials with comparing children with phonological disorder with children with typical development

Additional outcome(s)

None

Data extraction (selection and coding)

The selection of studies will be conducted by two authors of the review, who will read independently,

distributed in three stages: reading all titles, followed by abstracts and, finally, reading in full the studies identified through the search strategy. Disagreement cases will be discussed until a consensus and in case of persistence of disagreement, a third reviewer will be asked to arbitrate. The data will also be extracted independently and tabulated in a spreadsheet for further analysis. Data regarding amplitude and latency of cortical auditory evoked potentials will be extracted comparing children with phonological disorder with children with typical development.

Risk of bias (quality) assessment

The risk of bias assessment will be carried out according to the Cochrane risk of bias tool. The following characteristics will be considered: Adequate sequence generation; allocation concealment; blinding of the outcome assessor; incomplete data handling, especially if the drop-out rates were high enough to compromise the results and if there were any strategy to overcome this issue such as the use of intention-to-treat analysis; selective outcome reporting and, finally, baseline imbalances between the groups. Blinding of the participants and of the study personnel will not be sought because of the nature of the intervention. Two review authors will assess the risk of bias independently and disagreements will be resolved by consensus, with the involvement of a third author if necessary. We plan to perform sensitivity analysis based on the risk of bias assessment, using subgroups of studies considered to be at low risk of bias and of studies that used the principle of intention-to-treat analysis. These two variables will also be used in a meta-regression approach.

Strategy for data synthesis

The aggregate participant data of each study will be considered. We plan to describe the included studies in a qualitative approach, based on a table with the main characteristics of the studies, which are as following: the length of follow-up, the characteristics of all the intervention groups, the groups chosen for analysis, the country where the study was conducted, the drop-out rate of the study and a summary of intervention effects of the study. Regarding the participants, we plan to show concomitantly, the number of individuals allocated to the chosen groups and the mean age. As we expect some sort of heterogeneity in our results due to the variability between treatments and individuals across studies, we plan to use a random-effects meta-analysis with weighted mean differences for the outcomes, which are all continuous, and calculate 95% confidence intervals and two-sided P values for each outcome. Heterogeneity will be assessed using both the Cochran's Q test and the I² statistic, in which values greater than 30% will be used as indicative of moderate heterogeneity, which will be explored by means of sensitivity analysis, meta-regression and subgroup analysis. We also aim to evaluate the publication bias by means of the contour-enhanced funnel plot of each outcome using each trial's effect size against the standard error. The Egger test will be used to assess small-study effects and a significant publication bias will be considered if the p-value is less than 0.10.

Analysis of subgroups or subsets

We will explore heterogeneity with two different strategies. First, we will itemize the meta-analysis removing one study at a time to check if a particular study explains heterogeneity. Second, stepwise meta-regression analyses will be carried out. We will assess, in a univariate fashion, the following clinical and methodological variables that we expect to influence the outcomes: the study risk of bias (low risk vs. high risk), the length of the study (in months), the use of intention-to-treat analysis (yes vs. no) and the presence of concomitant (yes vs. no). After that, we will conduct a multivariate meta-regression where we will include the variables that showed a p-value of less than 0.10 in the univariate analysis.

Contact details for further information

Ranilda Cristina Cavalcante Costa
ranilda.cristina@unccel.edu.br

Organisational affiliation of the review

Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas

Review team members and their organisational affiliations

Professor Ranilda Cristina Cavalcante Costa, Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas
Mrs Thaís Nobre Lichôa Souza, Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas
Professor Alnei Terezo Lina Carneiro, Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas
Professor Kelly Cristina Lira de Andrade, Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas
Professor Pedro de Lencos Menezes, Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas

Type and method of review

Meta-analysis, Systematic review

Anticipated or actual start date

31 July 2021

Anticipated completion date

31 October 2021

Funding sources/sponsors

None

Conflicts of interest

Language

Portuguese-Brazil (there is not an English language summary)

Country

Brazil

Stages of review

Review Ongoing

Subject index terms status

Subject indexing assigned by CRD

Subject index terms

MeSH headings have not been applied to this record

Date of registration in PROSPERO

31 August 2021

Date of first submission

31 July 2021

Stages of review at time of this submission

The review has not started

Stage	Started	Completed
Preliminary searches	No	No
Piloting of the study selection process	No	No
Formal screening of search results against eligibility criteria	No	No
Data extraction	No	No
Risk of bias (quality) assessment	No	No
Data analysis	No	No

The record owner confirms that the information they have supplied for this submission is accurate and complete and they understand that deliberate provision of inaccurate information or omission of data may be construed as scientific misconduct.

The record owner confirms that they will update the status of the review when it is completed and will add publication details in due course.

Versions

31 August 2021

31 August 2021

Anexo C - Comprovante de submissão do artigo de revisão sistemática

Journal of Speech, Language, and Hearing Research
Long latency auditory evoked potentials in phonological disorder: systematic review
with meta-analysis
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	JSLHR-22-00659
Full Title:	Long latency auditory evoked potentials in phonological disorder: systematic review with meta-analysis
Article Type:	Review Article
Section/Category:	Hearing
Corresponding Author:	Thais Nobre Uchôa Souza, M.Sc. Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas Maceió, Alagoas BRAZIL
Other Authors:	Ranilde Cristiane Cavalcante Costa, M.Sc. Luis Gustavo Gomes da Silva, M.A. Aline Tenorio Lira Carneuba, Ph.D. Maria Cecília dos Santos Marques, M.Sc. Kelly Cristina Lira de Andrade, Ph.D. Ana Claudia Figueiredo Frizzo, Ph.D. Pedro de Lencos Marzozes, Ph.D.
Funding Information:	
Keywords:	Electrophysiology; Auditory Evoked Potentials; Speech Sound Disorder
Manuscript Classifications:	Audiology; Electrophysiology; Speech; Speech perception; Speech sound disorders; Systematic review
Abstract:	<p>Purpose</p> <p>To verify if children with phonological disorder present long latency auditory evoked potentials responses different from neurotypical children. Methods: this is a systematic review with meta-analysis, in which the following databases were searched: Medline (via Pubmed), Embase, Lilacs (via BYS), Web of Science, Scopus and Science Direct, as well as gray literature OpenGrey.eu. The review sought to answer two guiding questions: (1) "Do children with phonological disorders have different Cortical Auditory Evoked Potentials values than neurotypical children?" and (2) "Do children with phonological disorders have different Mismatch Negativity values than neurotypical children?". Results: For question one, of the of the 447 articles initially found, 201 were excluded for duplicity, 233 were excluded after reading the titles, and 9 after reading the abstracts; and 4 articles were read in full. For question two, of the 465 articles initially found, 163 were excluded for duplicity, 251 were excluded after reading the titles, and 20 after reading the abstracts; and 11 articles were read in full. Of these, four articles were included in this systematic review. The study verified great variability of sample characteristics and protocols used. The results of the meta-analysis showed no difference in Cortical Auditory Evoked Potentials and Mismatch Negativity between children with phonological disorder and neurotypical children in the combination of studies. Conclusion: the present meta-analysis demonstrates that children with phonological disorder have long latency auditory evoked potentials responses similar to neurotypical children.</p>

Anexo D – Comprovante do registro do aplicativo “Triagem de Fala”



Pedido de Registro de Programa de Computador - RPC

Número do Processo: 512022003272-4

Dados do Titular

Titular 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 24464109000148

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57072-970

País: Brasil

Telefone: 82-3214-1064

Fax: 82-3214-1035

Email: nit@propep.ufal.br

Dados do Programa

Data de Criação: 08/08/2022

- § 2º do art. 2º da Lei 9.609/98: "Fica assegurada a tutela dos direitos relativos a programa de computador pelo prazo de cinquenta anos contados a partir de 1º de janeiro do ano subsequente ao da sua publicação ou, na ausência desta, da sua criação"

Título: Triagem de Fala

Algoritmo hash: Outros

Nome do Algoritmo: MD5

Resumo digital hash: 835875abed594378ac074359937e2463840be224792b8bb11693e2e64334bd1e7c6fb21fcdcc3242568305e26849ea3de832e6567502c4ab4859c380c37382d1

§1º e Incisos VI e VII do §2º do Art. 2º da Instrução Normativa: O titular é o responsável único pela transformação, em resumo digital hash, dos trechos do programa de computador e demais dados

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 25/11/2022 às 15:35, Petição 870220109553

considerados suficientes para identificação e caracterização, que serão motivo do registro. O titular terá a inteira responsabilidade pela guarda da informação sigilosa definida no inciso III, § 1º, art. 3º da Lei 9.609 de 19 de fevereiro de 1998.

Linguagem: PHP

Campo de Aplicação: SD09-ENGENHARIA BIOMÉDICA, CIÊNCIAS PARAMÉDICAS
(BIOENGENHARIA, BIOTECNOLOGIA, ENFERMAGEM,
OPTOMETRIA, FONOAUDIOLOGIA)

Tipo de Programa: TC01 - APLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

Dados do Autor**Autor 1 de 6****Nome:** RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE COSTA**CPF:** 02604077477**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Outras ocupações não especificadas anteriormente**Endereço:** RUA JOÃO GUALBERTO PEREIRA DO CARMO, 343, APT. 1006 –
PONTA VERDE**Cidade:** Maceió**Estado:** AL**CEP:** 57035-270**País:** BRASIL**Telefone:** (82) 999 486161**Fax:****Email:** ranilde@yahoo.com.br**Autor 2 de 6****Nome:** THAIS NOBRE UCHÔA SOUZA**CPF:** 03269578474**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Outras ocupações não especificadas anteriormente**Endereço:** RUA MANOEL RIBEIRO DA ROCHA, 26, APT. 101 – PONTA
VERDE**Cidade:** Maceio**Estado:** AL**CEP:** 57035-395**País:** BRASIL**Telefone:** (82) 991 044202**Fax:****Email:** thaisnobre@hotmail.com**Autor 3 de 6**

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 25/11/2022 às
15:35, Petição 870220109553

Nome: PEDRO DE LEMOS MENEZES

CPF: 02184867403

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: RESIDENCIAL GRANVILLE, LOTE 19, QUADRA D

Cidade: Marechal Deodoro

Estado: AL

CEP: 57160-000

Pais: BRASIL

Telefone: (82) 991 112786

Fax:

Email: pedrodelemosmenezes@gmail.com

Autor 4 de 6

Nome: LUÍS GUSTAVO GOMES DA SILVA

CPF: 11149165448

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Outras ocupações não especificadas anteriormente

Endereço: Av. Enf. Noraci Pedrosa, 150 - Antares

Cidade: maceio

Estado: AL

CEP: 57086-060

Pais: BRASIL

Telefone: (82) 991 025728

Fax:

Email: luis.gomes@academicos.uncisal.edu.br

Autor 5 de 6

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 25/11/2022 às 15:35, Petição 870220109553

Nome: ALINE TENÓRIO LINS CARNAÚBA

CPF: 05844748492

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Rua Desembargador Tenório, 226, Edf. Residencial Vista do Mar,
apt. 903

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57050-050

País: BRASIL

Telefone: (82) 331 56703

Fax:

Email: alinel.tenorio@gmail.com

Autor 6 de 6

Nome: KELLY CRISTINA LIRA DE ANDRADE

CPF: 04709213402

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: R. HÉLIO PRADINES, 766, APT. 602

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57035-220

País: BRASIL

Telefone: (82) 999 808986

Fax:

Email: kellyclandrade@gmail.com

Declaração de Veracidade - DV

Nome: DECLARAÇÃO_DE_VERACIDADE(9).pdf

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 25/11/2022 às 15:35, Petição 870220109553

Nome: ALINE TENÓRIO LINS CARNAÚBA

CPF: 05844748492

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Rua Desembargador Tenório, 226, Edf. Residencial Vista do Mar,
apt. 903

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57050-050

País: BRASIL

Telefone: (82) 331 56703

Fax:

Email: alinel.tenorio@gmail.com

Autor 6 de 6

Nome: KELLY CRISTINA LIRA DE ANDRADE

CPF: 04709213402

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: R. HÉLIO PRADINES, 766, APT. 602

Cidade: Maceió

Estado: AL

CEP: 57035-220

País: BRASIL

Telefone: (82) 999 808986

Fax:

Email: kellyclandrade@gmail.com

Declaração de Veracidade - DV

Nome: DECLARAÇÃO_DE_VERACIDADE(9).pdf

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 25/11/2022 às 15:35, Petição 870220109553

Anexo E – Certificado do registro do aplicativo “Triagem de Fala”






REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
 MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
 DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: BR512022003272-4

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 05/03/2022, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Triagem de Fala

Data de criação: 05/03/2022

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

Autor(es): KELLY CRISTINA LIRA DE ANDRADE; PEDRO DE LEMOS MENEZES; ALINE TENÓRIO LINS-CARNAUBA; THAIS NOBRE UCHOA SOUZA; RANILDE CRISTIANE CAVALCANTE COSTA; LUIS GUSTAVO GOMES DA SILVA

Linguagem: PHP

Campo de aplicação: SD-09

Tipo de programa: TC-01

Algoritmo hash: OUTROS

Resumo digital hash:
 035075abed594378ac074389637e246390be224752985b11693e29e64334bd1e7c6f021faddd3242560305e26849e30e
 032e6667502c4ab4859c380c07382d1

Expedido em: 29/11/2022



15 de Novembro
REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
de 1889

Aprovado por:
 Celso Alexandre Fernandes Silva
 Chefe da DIPTO