



ISSN: 2595-1661

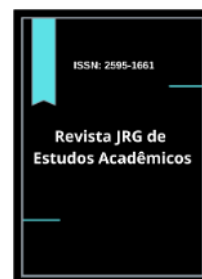
ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](https://portaldeperiodicos.capes.gov.br)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



Características perceptivoauditivas e acústicas da voz de surdos usuários de implante coclear

Auditory-perceptual and acoustic characteristics of the voice of deaf adults using cochlear implants



DOI: 10.55892/jrg.v8i19.1864

ARK: 57118/JRG.v8i19.1864

Recebido: 05/02/2025 | Aceito: 18/09/2025 | Publicado on-line: 24/11/2025

Daniela Malta de Souza Medved¹

<https://orcid.org/0000-0003-1637-3234>

<http://lattes.cnpq.br/1380055875090649>

Universidade de Brasília, DF, Brasil

E-mail: fonodanimalta@gmail.com

Ana Cristina de Castro Coelho²

<https://orcid.org/0000-0002-2919-5468>

<http://lattes.cnpq.br/0484744506013864>

Universidade de Brasília, DF, Brasil

E-mail: anacriscoelho@yahoo.com

Ana Carolina Nascimento Fernandes³

<https://orcid.org/0000-0002-2363-0182>

<http://lattes.cnpq.br/0295477918773719>

Universidade de Brasília, UF, Brasil

E-mail: anacarolinafernandes@gmail.com

Lucieny Silva Martins Serra⁴

<https://orcid.org/0000-0002-8113-7222>

<http://lattes.cnpq.br/2086630535041472>

Universidade de Brasília, DF, Brasil

E-mail: lucienymsserra@gmail.com

Pablo Arantes⁵

<https://orcid.org/0000-0001-9707-8493>

<http://lattes.cnpq.br/9358415148282183>

Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil

E-mail: pabloarantes@ufscar.br

Aveliny Mantovan Lima⁶

<https://orcid.org/0000-0002-4305-4864>

<http://lattes.cnpq.br/2322575044482974>

Universidade de Brasília, DF, Brasil

E-mail: avelinylima@gmail.com

Eduardo Magalhães da Silva⁷

<https://orcid.org/0000-0001-5132-8370>

<http://lattes.cnpq.br/9070924164465319>

Universidade de Brasília, DF, Brasil

E-mail: edmagalhaes@gmail.com

André Luiz Lopes Sampaio⁸

<https://orcid.org/0000-0001-7611-1303>

<http://lattes.cnpq.br/7285935682660274>

Universidade de Brasília, DF, Brasil

E-mail: andremarjy@uol.com.br

¹ Doutora em Ciências Médicas pela Universidade de Brasília, DF, Brasil.

² Doutora em Ciências da Saúde pela Universidade de Brasília, DF, Brasil.

³ Doutora em Ciências Médicas pela Universidade de Brasília, DF, Brasil.

⁴ Doutora em Ciências Médicas pela Universidade de Brasília, DF, Brasil.

⁵ Doutor em Linguística pela Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil.

⁶ Doutora em Linguística pela Universidade de Campinas, SP, Brasil.

⁷ Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil.

⁸ Doutor em Ciências da Saúde pela Universidade de Brasília, DF, Brasil.

Resumo

INTRODUÇÃO: A avaliação perceptivoauditiva (APA) da voz é realizada no contexto clínico e de pesquisa e é considerada padrão ouro na avaliação da voz, enquanto a análise acústica extrai medidas que quantificam a perturbação de curto prazo e o ruído, com a determinação clara dos ciclos glóticos. **OBJETIVO:** Explorar as características perceptivoauditivas e acústicas da voz de surdos adultos usuários de implante coclear (IC) em três tarefas de fala diferentes: emissão sustentada, fala encadeada e conversa espontânea. **MÉTODO:** Foi utilizado o banco de vozes de surdos adultos que compôs outro estudo da área. Os participantes foram divididos em 2 grupos: ouvintes ou controle (GC) e usuários de IC ou experimental (GE), pareados em faixa etária e sexo. Foi utilizado o Protocolo de Avaliação da Voz do Deficiente Auditivo (PAV-DA) para a APA, realizada por três profissionais especialistas e com experiência na análise de voz nos contextos clínico e de pesquisa, e o PRAAT, para a análise acústica e filtragem cepstral foram determinados os seguintes parâmetros: frequência fundamental (F0, em Hz), *jitter* ppq5 (em %), *shimmer* apq5 (em %), proporção harmônico-ruído (PHR, em dB), intensidade (em dB), os formantes F1, F2, F3 e F4 (em Hz), anti-formantes e formantes nasais. **RESULTADOS:** A APA difere a depender da tarefa fonatória analisada e do sexo. Não há diferenças entre o GC e o GE feminino na vogal sustentada. Os homens apresentam vozes mais tensas, hiponasais, com *pitch* e *loudness* mais elevados. Na fala encadeada, o grau geral de alteração vocal é percebido em ambos os sexos, com presença de tensão vocal. Foram encontradas mais características com diferença significativa entre as mulheres (ressonâncias laríngea, faríngea, hiponasal, hipernasal e anterior; instabilidade) que entre os homens (ressonâncias faríngea, hipernasal e posterior). Na conversa espontânea, o grau geral de alteração vocal é percebido em ambos os sexos, com presença de tensão vocal e instabilidade. São diferentes as características com diferença significativa entre as mulheres (ressonâncias faríngea, hipernasal e posterior; rugosidade e *loudness*) e, entre os homens (coordenação pneumofonoarticulatória, ressonâncias laríngea, hiponasal, hipernasal e posterior e soproidade). A frequência fundamental é mais aguda entre ambos os grupos (127,0Hz, $p=0,035$ entre os homens / 213,6Hz, $p = 0,011$ entre as mulheres), os demais parâmetros avaliados (*jitter*, *shimmer*, proporção harmônico-ruído, intensidade e formantes – F1, F2, F3 e F4) não mostraram diferenças entre os GC e GE, independente do sexo. Não foi observada a presença de antiformantes e/ou aumento das larguras de banda, sugestivos de nasalidade, na filtragem cepstral. **CONCLUSÃO:** A APA e a análise acústica apresentam caráter complementar na avaliação da voz dos surdos adultos usuários de IC, pois a ação conjunta dos articuladores favorece a identificação perceptiva de nasalidade percebida em suas vozes.

Palavras-chave: Qualidade da Voz; Acústica da Fala; Voz; Perda Auditiva; Implante Coclear.

Abstract

INTRODUCTION: Auditory-perceptual assessment (APA) of the voice is carried out in the clinical and research context and is considered the gold standard in voice assessment, while acoustic analysis extracts measures that quantify short-term disturbance and noise, with a clear determination of the glottic cycles. **OBJECTIVE:** To explore the auditory-perceptual and acoustic characteristics of the voice of deaf adults using cochlear implants (CI) in three different speech tasks: sustained emission, connected speech and spontaneous conversation. **METHOD:** A voice bank of deaf adults, which was part of another study in the area, was used. Participants were divided into 2 groups: listeners or control (CG) and CI adult users or experimental (GE), matched in age and sex. The Protocol for the Evaluation of Voice in Subjects with Hearing Impairment (PEV-SHI) was used by three specialist professionals with experience in voice analysis in clinical and research contexts, and the PRAAT, for acoustic analysis and cepstral filtering. The following parameters were determined: fundamental frequency (F0, in Hz), jitter ppq5 (in %), shimmer apq5 (in %), harmonic-noise ratio (PHR, in dB), intensity (in dB), the formants F1, F2, F3 and F4 (in Hz), anti-formants and nasal formants. **RESULTS:** APA differs depending on the phonatory task analyzed and the gender. There are no differences between the GC and the female GE in the sustained vowel. Men have more tense, hyponasal voices, with higher pitch and loudness. In connected speech, the general degree of vocal alteration is perceived in both genders, with the presence of vocal tension. More characteristics were found with significant differences between women (laryngeal, pharyngeal, hyponasal, hypernasal and anterior resonances; instability) than among men (pharyngeal, hypernasal and posterior resonances). In spontaneous conversation, the general degree of vocal alteration is perceived in both sexes, with the presence of vocal tension and instability. There are different characteristics with significant differences between women (pharyngeal, hypernasal and posterior resonances; roughness and loudness) and among men (pneumophonoarticulatory coordination, laryngeal, hyponasal, hypernasal and posterior resonances and breathiness). The F0 is higher among both groups (127.0Hz, $p=0.035$ among men / 213.6Hz, $p = 0.011$ among women), the other parameters evaluated (jitter, shimmer, harmonic-noise ratio, intensity and formants – F1, F2, F3 and F4) showed no differences between GC and GE, regardless of sex. The presence of anti-formants and/or increased bandwidth, suggestive of nasality, was not observed in cepstral filtering. **CONCLUSION:** APA and acoustic analysis have a complementary nature in evaluating the voice of deaf CI adult users, as the joint action of the articulators favors the perceptual identification of nasality perceived in their voices.

Keywords Voice Quality; Speech Acoustics; Voice; Hearing Loss; Cochlear implant.

1. Introdução

A avaliação perceptivoauditiva (APA) é realizada pelo profissional na rotina do contexto clínico, todavia na pesquisa científica são seguidos cuidados metodológicos para evitar potenciais fontes de erros relacionados a ela⁽¹⁾.

O Protocolo de Avaliação Perceptivoauditiva da Voz do Deficiente Auditivo Usuário de Implante Coclear (IC) (PAV-DA)⁽²⁾ é uma ferramenta validada, que descreve a severidade de atributos perceptivoauditivos da voz dessa população.

A análise acústica realiza a extração de medidas que quantificam⁽³⁾ a perturbação de curto prazo (*jitter* e *shimmer*) e o ruído (proporção harmônico-ruído), com a determinação clara dos ciclos glóticos, sendo mais provável de ser extraído em sinais vocais com desvios leves. A análise cepstral avalia sinais mais desviados, pois determina a F0 e produz estimativas de aperiodicidade e/ou ruído aditivo sem identificar o limite de ciclo individuais⁽⁴⁾.

A razão para a atual importância dada na utilização do *cepstrum* para a análise da voz pode residir no fato limitante de que vários métodos acústicos, até então utilizados, consideram a voz como um sinal produzido por um oscilador único com uma única frequência fundamental em uma frequência específica⁽⁵⁾.

Uma característica importante da análise dos parâmetros cepstrais é sua independência da técnica de registro e do volume da amostra de voz. E se sugere que o pico de proeminência cepstral consegue prever a presença de disфония com bastante sensibilidade, especificidade e valor preditivo, com elevada correlação à avaliação perceptivoauditiva da voz⁽⁶⁾. E estas medidas tendem a ser mais confiáveis, uma vez que a voz normal apresenta uma estrutura harmônica mais bem definida comparada com vozes alteradas⁽⁷⁾, nas quais além de uma estrutura harmônica pobre, pode-se encontrar mais de uma fonte sonora.

Por isso a Associação Americana de Fonoaudiologia (ASHA, sigla em inglês) incluiu a medida acústica, especificamente o pico de proeminência cepstral, nas recomendações do Protocolo de Avaliação Instrumental da Voz para a avaliação tanto do ruído quanto da qualidade da voz⁽⁸⁾, haja vista que uma grande quantidade de informações pode ser obtida pelo *cepstrum*, como frequência e variabilidade, de forma similar à análise no domínio do tempo.

O objetivo deste trabalho foi explorar os parâmetros acústicos e perceptivoauditivos e identificar a presença de formantes nasais na voz de surdos adultos usuários de IC em três tarefas de fala diferentes: emissão sustentada, fala encadeada e conversa espontânea.

2. Metodologia

Estudo descritivo, transversal e observacional, avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Brasília, sob parecer de nº 1.940.025.

Foi utilizado o banco de vozes gravadas de surdos adulto usuário de IC que compôs outro estudo⁽⁹⁾, cujos participantes eram usuários de IC, com perda auditiva sensorioneural bilateral, de grau severo a profundo, com ausência de distúrbios associados, participantes de um programa de reabilitação e com experiência de uso do dispositivo de pelo menos um ano.

As amostras foram divididas em Grupo Controle (GC), com 24 indivíduos normouvintes entre 18 e 46 anos e 11 meses, e Grupo Experimental (GE), com 24 indivíduos surdos usuários de IC entre 18 e 46 anos e 11 meses.

As vozes foram gravadas no programa *Sony Sound Forge* (*Sony Pictures Digital Inc* 10.0) com taxa de amostragem de 44.100 Hz, 16 Bit, Canal Mono, pré-

amplificador M-Audio *Fast Track Pro* e *notebook* com nível de ruído interno desprezível (abaixo de 0 dB). Os registros correspondiam à emissão sustentada da vogal /a/, com duração de 3 a 5 segundos, contagem de números de 1 a 10 e conversa espontânea, com duração média de 30 segundos, registradas em sala acusticamente tratada, com microfone tipo *headset* (AKG C512), posicionado a 45° e com distância de 3 cm da boca do indivíduo.

Para a APA foi utilizado o PAV-DA(9), validado para o português, protocolo constituído por 18 itens, que contemplam a análise de parâmetros segmentais e suprasegmentais da produção da voz e um item destinado às observações dos juízes. Todos os parâmetros foram marcados em escalas visuais analógicas de 100 mm, nas quais o juiz deveria marcar o ponto que quantificava a sensação do parâmetro que estava sendo avaliado.

A pontuação foi medida em milímetros a partir do começo da linha até onde o juiz efetuou a marcação e transformada em “pontos” para a leitura. O início e o fim da linha representavam respectivamente a ausência e o grau severo de alteração do parâmetro avaliado. Os pontos de corte definidos para o protocolo são: 30,5 pontos (voz normal), 49,0 pontos (desvio vocal discreto), 69,5 pontos (desvio vocal moderado), a partir do qual o desvio vocal é considerado intenso.

Três juízes, especialistas e com ampla experiência na análise de voz na clínica e para pesquisa, realizaram a APA das amostras de fala de ouvintes e surdos usuários de IC, de forma cega e randomizada. Os juízes participaram de sessões de treinamento e calibração para familiarização com o protocolo e ter o mesmo entendimento dos parâmetros avaliados em cada tarefa fonatória.

Após as sessões de treinamento e calibração, os avaliadores receberam cópias do protocolo de avaliação e o banco de vozes. As vozes foram apresentadas de forma cega e randomizada e APA foi realizada separadamente por emissão: todas as amostras de vogal sustentada, de fala encadeada e de conversa espontânea. Os avaliadores receberam informações de sexo e idade dos participantes para a realização da avaliação.

Em seguida, receberam as seguintes instruções:

- Usar fones de ouvido e escutar todas as vozes na mesma intensidade para análise confiável do *loudness*;
- Avaliar um número máximo de 20 vozes ao dia;
- Avaliar os parâmetros na ordem de apresentação do instrumento;
- Justificar nas observações, caso algum parâmetro não pudesse ser avaliado.

Após a entrega pelos avaliadores dos protocolos preenchidos, a pesquisadora realizou as medidas dos parâmetros com régua e a tabulação dos dados. Para o estabelecimento da confiabilidade intra-avaliador, 20% das amostras foram repetidas de forma aleatória.

A análise acústica incluiu a determinação dos parâmetros acústicos: frequência fundamental (F0, em Hz), *jitter* ppq5 (em %), *shimmer* apq5 (em %), proporção harmônico-ruído (PHR, em dB), intensidade (em dB), os formantes F1, F2, F3 e F4 (em Hz), anti-formantes, formantes nasais e inclinação espectral.

Para esta análise, a emissão sustentada da vogal /a/ foi utilizada. O primeiro segundo foi excluído e os três segundos subsequentes foram selecionados e etiquetados para facilitar a identificação, organização e a seleção manual do som. Os parâmetros acústicos foram extraídos por meio do *software* PRAAT, versão 6.0.37, no menu *voice report*.

Para identificação dos formantes orais, anti-formantes e formantes nasais foi realizada a filtragem cepstral. Foram identificadas no mínimo quatro palavras da

conversa espontânea de cada um dos participantes que tivessem a vogal /a/ nas posições tônica, pré-tônica e pré-tônica longe, em contexto oral e de ocorrência no início de palavras; consoante e vogal (CV); e consoante, vogal e consoante (CVC), precedidos ou sucedidos de consoantes vozeadas e não-vozeadas orais. Em seguida, foram excluídas as vogais que atendiam a esta condição, mas que se constituíam em ditongos, hiatos, palavras monossílabas, estavam antes ou após fonemas nasais e/ou no final de frases.

Utilizando-se fones de ouvido, os sinais sonoros das palavras selecionadas eram lidos e visualizados (menu *Read from file*) no software PRAAT, versão 6.0.37, no menu *View & Edit*, com janelamento de banda larga (*View range* = 0 a 5000Hz, *Window length* = 0,005s e *Dinamic range* = 40dB), os sons das vogais eram segmentados, etiquetados, extraídos e salvos. Esses sons foram agrupados em um *script* confeccionado para a análise de filtragem cepstral e da inclinação espectral, que tornou a mais automática possível a extração dos dados, reduzindo-se a possibilidade de erro humano.

Os dados dos GC e GE foram separados e foi realizado um janelamento destes dados a cada 100 Hz e extraído o espectro médio desses espectros (entre 30 e 46 espectros). O filtro cepstral escolhido foi de 1.000Hz, após comparação entre os filtros cepstrais de 500Hz, 1.000Hz, 1.500Hz e 2.000Hz, por preservar os movimentos mais importantes das curvas espectrais, sem perda de informações.

O teste ANOVA foi utilizado para comparação das emissões do GC e GE na APA. Foi utilizado o software PRISMA versão 5.0, para análise descritiva univariada por meio de valores de referência^{CITAR} e intervalos de variação.

Para a análise acústica, foi realizada uma avaliação comparativa de semelhança por tipificação de perda auditiva pré-lingual (PRL) e pós-lingual (POL) dos indivíduos surdos adultos usuários de IC por meio do teste de *Mann-Whitney*. Esta análise não mostrou diferença, sugerindo que ambas as condições poderiam ser unidas em apenas um grupo, denominado GE, para a análise realizada.

Os indivíduos dos GC e GE foram separados por sexo e os parâmetros foram avaliados quanto à normalidade de distribuição, por meio do teste *Kolmogorov-Smirnov*, para utilização dos testes comparativos *t* de *Student* para dados não pareados (dados paramétricos) e *Mann-Whitney* (dados não-paramétricos).

Para a avaliação da presença sistemática de nasalidade na condição experimental foi estabelecida a frequência de picos e a presença de formantes nasais e anti-formantes, e comparada esta informação entre os GC e GE por meio do teste Qui-Quadrado (X^2), respeitando-se as condições masculino *versus* feminino;ônico *versus* átono e surdo *versus* ouvinte. Os desvios padrões e a curtose dos GC e GE foram comparados com o teste *t* de *Student* para dados não pareados, para avaliar o aumento da variação (nasalidade).

Para o cálculo da inclinação espectral, os GC e o GE, foram avaliados dois intervalos de frequência em duas faixas espectrais: banda 1 (0-2.000Hz e 2.000Hz-4.000Hz) e banda 2 (4.000Hz-5.000Hz e 5.000Hz-6.500Hz). Os intervalos de frequência das bandas em GC e GE foram comparados com o teste *t* de *Student* para dados não pareados.

O nível de significância aplicado em todas as análises foi de 95%.

3. Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados da APA realizada com o protocolo PAV-DA. Pode-se observar que os resultados diferem entre homens e mulheres e são dependentes da tarefa fonatória avaliada.

A vogal sustentada não apresentou diferença significativa entre os parâmetros avaliados nas mulheres. Nos homens, houve predominância de ressonância hiponasal ($p=0,031$), tensão vocal ($p=0,038$), *pitch* ($p=0,024$) e *loudness* ($p=0,038$) elevados.

Na fala encadeada, em ambos os sexos houve diferença significativa entre o GC e o GE para o parâmetro de percepção do grau geral de alteração da voz ($p<0,000$, homens, e $p=0,001$, mulheres). As mulheres apresentaram maior quantidade de parâmetros (ressonâncias excessivamente laríngea, $p=0,001$, faríngea, $p=0,044$, hiponasal, $p=0,000$, hipernasal, $p=0,039$, e anterior, $p=0,049$; tensão, $p=0,000$, e instabilidade, $p=0,002$, vocais) com diferença significativa em relação ao GC do que os homens (ressonância excessivamente faríngea, $p=0,002$, hipernasal, $p=0,000$, e posterior, $p=0,004$, e tensão, $p=0,006$, vocal).

A conversa espontânea foi a tarefa fonatória com maior diferença entre os GC e GE. Os parâmetros com maior percepção de alteração foram o grau geral da voz ($p<0,000$, homens, e $p<0,000$, mulheres), coordenação pneumofonoarticulatória (CPFA) ($p=0,017$, homens, e $p=0,000$, mulheres), ressonâncias excessivamente laríngea ($p=0,007$, homens, e $p<0,000$, mulheres), hipernasal ($p<0,000$, homens, e $p=0,048$, mulheres) e posterior ($p=0,003$, homens, e $p=0,000$, mulheres), tensão ($p=0,021$, homens, e $p<0,001$, mulheres) e instabilidade ($p=0,001$, homens, e $p<0,000$, mulheres).

Tabela 1. Comparação intergrupos (GC *versus* GE) dos aspectos suprasegmentais da qualidade vocal, da CPFA, ressonância, fonação e percepção vocal geral da qualidade vocal na vogal sustentada, fala encadeada e conversa espontânea.

Parâmetro	Sexo	Vogal sustentada			Fala encadeada			Conversa espontânea		
		GC	GE	p	GC	GE	p	GC	GE	p
<u>Aspectos suprasegmentais da qualidade vocal</u>										
Inteligibilidade	M							0,00	16,08	NA
	F							0,00	13,55	NA
Articulação	M							0,00	32,38	NA
	F							0,00	33,18	NA
Entonação	M							-1,50	12,08	0,244
	F							0,00	6,36	NA
<u>Coordenação pneumofonoarticulatória</u>										
CPFA	M							9,50	27,92	0,017*
	F							11,14	38,09	0,000*
<u>Ressonância</u>										
Excessivamente	M	36.30	39.31	0.452	29.20	32.46	0.586	23.30	35.77	0.007*

laríngea

	F	30,14	28,45	0,456	18,64	36,64	0,001 *	21,43	36,64	<0,00 0*
Excessivamente faríngea	M	20,60	27,54	0,125	15,00	39,92	0,002 *	9,10	20,85	0,073
	F	15,43	24,09	0,143	12,21	24,18	0,044 *	16,43	27,64	0,048*
Excessivamente hiponasal	M	1,90	17,92	0,031 *	5,00	23,92	0,059	1,30	18,69	0,047*
	F	0,00	7,00	NA	1,07	27,82	0,000 *	0,00	31,91	NA
Excessivamente hipernasal	M	9,80	17,15	0,191	1,50	31,08	0,000 *	8,70	46,15	< 0,000*
	F	22,43	37,27	0,086	7,28	31,00	0,039 *	18,14	36,27	0,011*
Excessivamente anterior	M	2,70	0,00	NA	0,00	4,30	NA	0,00	0,00	NA
	F	9,21	13,36	0,646	8,78	6,00	0,049 *	6,35	19,09	0,115
Excessivamente posterior	M	13,40	23,46	0,156	10,60	36,85	0,004 *	8,20	32,38	0,003*
	F	3,07	8,63	0,299	0,00	21,73	NA	2,42	39,36	0,000*

Fonação

Tensão	M	35,70	44,31	0,038 *	21,50	35,75	0,006 *	21,40	37,28	0,021*
	F	30,21	35,55	0,175	18,21	39,55	0,000 *	20,71	43,64	<0,00 1*
Soprosidade	M	24,90	22,46	0,632	1,00	5,38	0,072	4,00	15,00	0,042*
	F	31,86	26,36	0,310	5,78	11,91	0,115	15,71	20,18	0,177
Rugosidade	M	35,40	40,62	0,239	18,50	20,54	0,619	26,30	36,31	0,081
	F	29,36	30,18	0,851	14,21	24,00	0,100	14,29	30,09	0,011*
Instabilidade	M	38,30	47,15	0,094	14,10	20,85	0,344	20,40	42,77	0,001*
	F	34,07	40,91	0,194	9,50	29,45	0,002 *	17,86	46,00	<0,00 0*
Pitch	M	-8,20	11,08	0,024 *	- 10,70	-0,84	0,254	-8,70	4,69	0,099
	F	7,35	14,64	0,269	6,42	6,09	0,774	9,21	12,50	0,822
Loudness	M	-3,50	9,69	0,038 *	0,00	-3,23	NA	0,00	9,07	NA

	F	-	-0,45	0,129	-3,85	4,45	0,062	-3,00	10,55	0,020*
			14,43							
<u>Percepção vocal geral</u>										
Grau geral	M	37,90	44,46	0,135	22,20	50,08	<0,000*	22,10	49,46	<0,000*
	F	35,74	43,73	0,065	21,43	43,91	0,001*	18,50	55,36	<0,000*

Legenda: M, masculino; F, feminino; GC, grupo controle; GE, grupo experimental; CPFA, coordenação pneumofonoarticulatória; p-valor, nível de significância de 95%; NA, não se aplica.

O parâmetro grau geral, do item percepção vocal geral, do PAV-DA, não mostrou diferença significativa na vogal sustentada entre os GC e o GE (Figura 1, gráficos A e D). Os escores do GC de ambos os sexos apresentaram diferenças máximo-mínimo menores que as do GE. No sexo masculino, o GE apresentou um intervalo interquartil menor que o GC e uma assimetria negativa, enquanto no feminino, o intervalo interquartil foi menor no GC, com assimetria positiva.

Na fala encadeada (Figura 1, gráficos B e E) e na conversa espontânea (Figura 1, gráficos C e F) houve diferenças entre os GC e o GE. Os escores do GC de ambos os sexos apresentaram diferenças máximo-mínimo menores que as do GE. Na conversa espontânea, os escores do GC de ambos os sexos foram mais baixos que os do GE. Em ambos os sexos e tarefas os intervalos interquartílicos dos GC foram menores que os do GE, com assimetria positiva no sexo masculino e negativa no feminino, na fala encadeada, e assimetria positiva, no sexo feminino, na conversa espontânea.

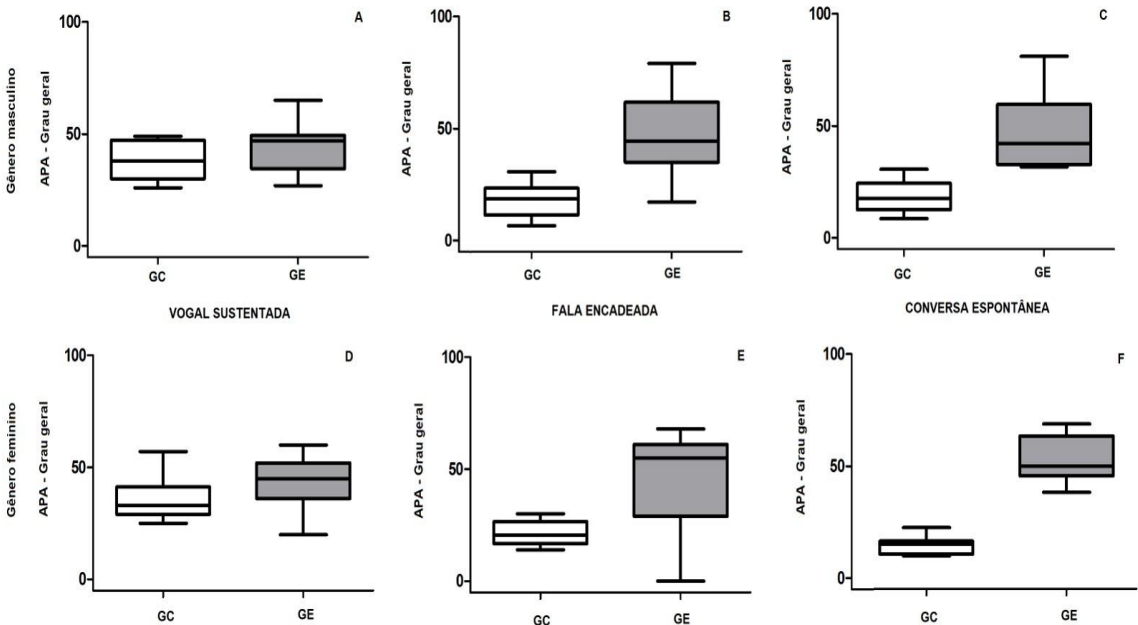


Figura 1. Apresentação em *boxplot* da distribuição dos valores do parâmetro grau geral do item percepção vocal geral nos sexos masculino (A, B, C) e feminino (D, E, F).

A Tabela 2 apresenta os valores de F0 com diferença significativa entre os GC e GE entre os sexos masculino ($p=0,035$) e feminino ($p=0,011$). Não houve diferença significativa entre os demais parâmetros definidos na análise acústica entre grupos e sexos: *jitter* ppq5 ($p=0,194$, homens, e $p=0,861$, mulheres), *shimmer* (apq5) ($p=0,534$, homens, e $p=0,345$, mulheres), PHR ($p=0,106$, homens, e $p=0,953$, mulheres), intensidade ($p=0,204$, homens, e $p=0,054$, mulheres), F1 ($p=0,266$, homens, e $p=0,578$, mulheres), F2 ($p=0,397$, homens, e $p=0,458$, mulheres), F3 ($p=0,298$, homens, e $p=0,253$, mulheres) e F4 ($p=0,577$, homens, e $p=0,101$, mulheres).

Tabela 2. Comparação intergrupo (GC versus GE) masculino e feminino dos parâmetros acústicos de F0, *jitter* (ppq5), *shimmer* (apq5), PHR, intensidade, F1, F2, F3 e F4.

PARÂMETRO	HOMEM				MULHER			
	GC	GE	P	TESTE	GC	GE	p	TESTE
Frequência fundamental (Hz)	104,1	127,0	0,035*	T	184,0	213,6	0,011*	T
<i>Jitter</i> (ppq5, %)	0,437	0,315	0,194	T	0,215	0,213	0,861	MW
<i>Shimmer</i> (apq5, dB)	1,421	1,207	0,534	MW	1,211	1,038	0,345	T
PHR	21,6	24,3	0,106	T	27,9	27,4	0,953	MW
Intensidade (dB)	70,4	73,5	0,204	T	67,1	71,3	0,054	T
F1 (Hz)	515,0	598,2	0,266	T	642,0	697,7	0,578	T
F2 (Hz)	1.272,0	1.228,0	0,397	T	1517,0	1470,0	0,458	T
F3 (Hz)	2.373,0	2.499,0	0,298	T	2856,0	2680,0	0,253	T
F4 (Hz)	3.681,0	3.767,0	0,577	T	4088,0	3841,0	0,101	T

Legenda: GC, grupo controle; GE, grupo experimental; PHR, proporção harmônio-ruído; p-valor, nível de significância de 95%; MW, *Mann-Whitney*; T, *t* de *Student*.

Na análise visual do espectro não houve deslocamento das frequências para a esquerda ou aumento da largura de banda dos formantes. Os principais picos ocorreram em torno de 3.000Hz. O número de picos para os GC e GE foi avaliado em termos de frequência de ocorrência independente de outras variáveis (sexo, surdez pré ou pós-lingual, tonicidade vocálica) e se observou que a maior frequência de ocorrência foi de três picos em ambos os grupos (Figura 2), sem diferença entre eles, sugerindo que a nasalidade ressonantal percebida na APA (descrita como excessivamente hipernasal ou excessivamente hiponasal pelo PAV-DA) deve-se à contaminação por outras características vocais do indivíduo surdo adulto usuário de IC ou é insuficiente alterar visualmente o espectro.

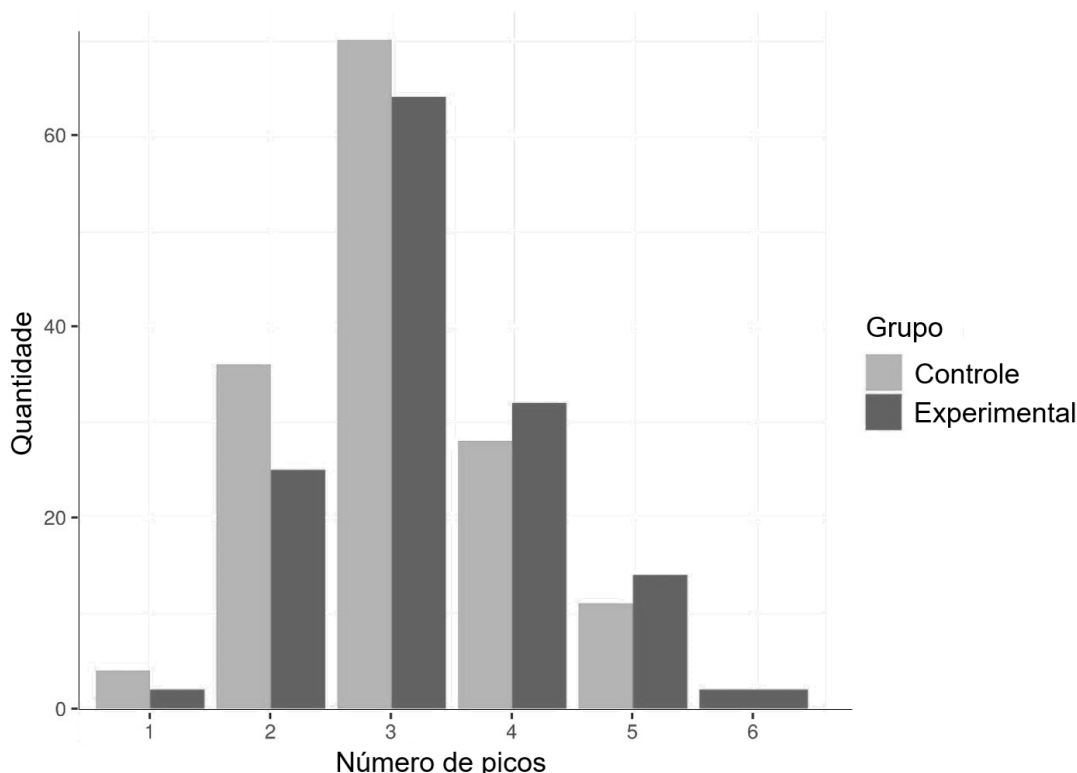


Figura 2. Frequência de ocorrência de picos nos grupos controle e experimental.

As médias dos três picos correspondentes para os GC e GE, de acordo com o sexo do participante e a tonicidade da amostra vocálica, mostram-se muito próximas entre si, com o GE apresentando valores menores em relação à GC, exceto para a condição de vogais átonas no terceiro pico (F3) no sexo feminino, assim como essa diferença se torna mais pronunciada entre as mulheres do GE no segundo pico (F2) das vogais tônicas, com diferença significativa ($p=0,001$) entre os grupos, sugerindo que a largura de banda foi a característica espectral mais afetada na produção vocálica dos surdos adultos usuários de IC (Figura 3).

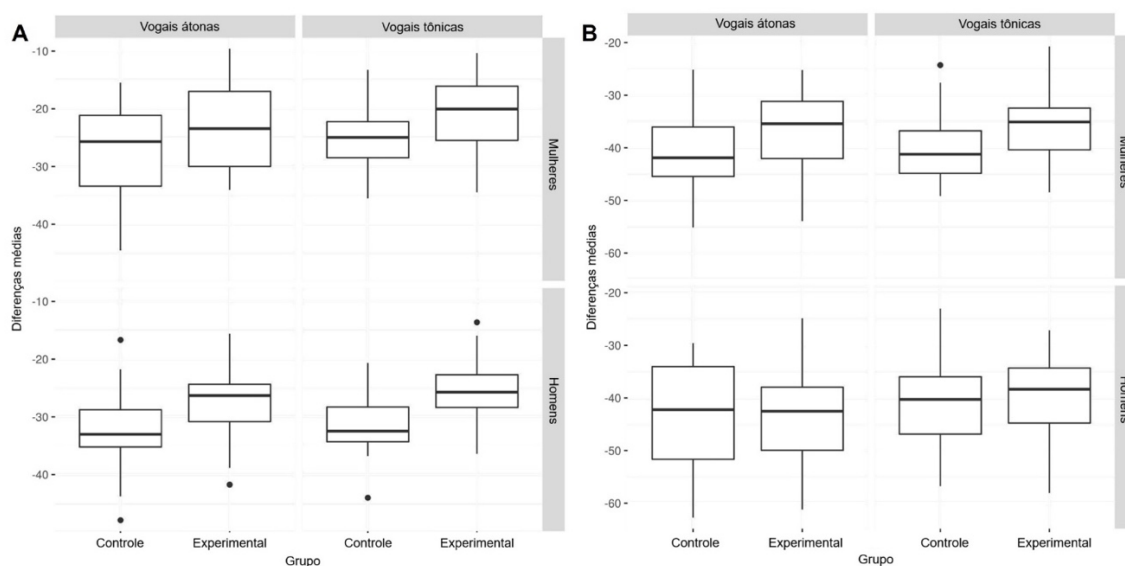


Figura 3. Boxplot da análise das variáveis para GC e GE. (A) Na banda 1 (0-2.000Hz e 2.000Hz-4.000Hz) e (B) na banda 2 (4.000Hz-5.000Hz e 5.000Hz-6.500Hz).

Os desvios padrões médios no GE foram maiores entre as mulheres nas vogais tônicas ($p=0,04$), e entre os homens nas vogais tônicas ($p=0,001$) e átonas ($p=0,002$). A curtose média dos espectros suavizados a 1.000 Hz não difere entre os GC e GE, exceto entre os homens, nas vogais tônicas ($p=0,014$), que se mostra maior, compatível com o “achamento” dos picos e com a presença de nasalidade.

A inclinação espectral, decorrente da comparação entre as faixas de frequência nas duas bandas estabelecidas entre 0 e 6.500Hz, mostra que na banda 1 (0-2.000Hz e 2.000Hz-4.000Hz), em todas as condições existe diferença entre os GC e GE e na banda 2 (4.000Hz-5.000Hz e 5.000Hz-6.500Hz), somente houve diferença entre as mulheres, para as vogais átonas ($p=0,024$) e tônicas ($p=0,011$), sugerindo mais energia na banda 1, diante da menor inclinação do espectro. Esta mesma informação pode ser observada na banda 2, com diferença significativa somente para as mulheres (Figura 4 e 5).

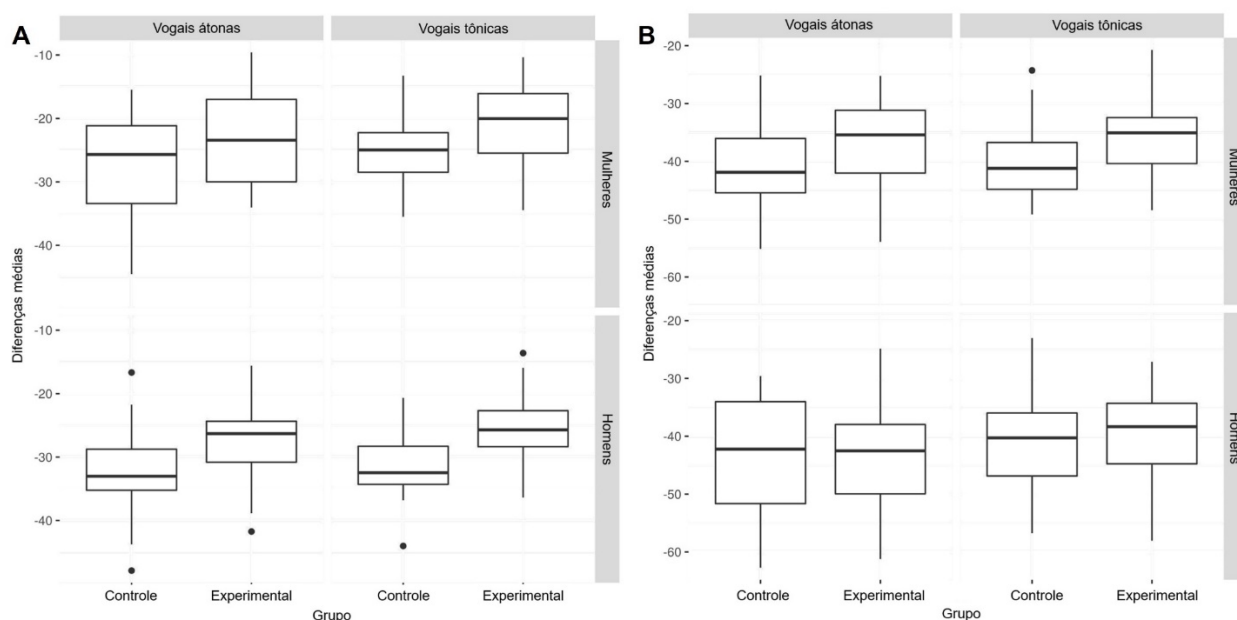


Figura 4. Boxplot da análise das variáveis para GC e GE. (A) Na banda 1 (0-2.000Hz e 2.000Hz-4.000Hz) e (B) na banda 2 (4.000Hz-5.000Hz e 5.000Hz-6.500Hz).

3. Discussão

Este trabalho teve por objetivo explorar os parâmetros perceptivoauditivos e acústicos da voz de surdos adultos usuários de IC em relação à nasalidade, uma vez que na literatura havia esse dado ainda pouco explorado e há controvérsia entre pesquisadores quanto à percepção de nasalidade e a medida objetiva de nasalância.

A percepção da fala e da voz do surdo adulto usuário de IC é variante a depender da tarefa fonatória avaliada e do sexo, o que pode ser um reflexo da experiência auditiva e do acompanhamento terapêutico recebido, com a maior variabilidade observada na conversa espontânea, quando o indivíduo usa toda a sua potencialidade e agrega suas características individuais ao discurso, sem um contexto de “controle de fala”.

As mulheres apresentaram aparente melhor conhecimento ou melhor percepção de pistas acústicas e fonético-fonológicas, bem como capacidade de controle da produção vocal e articulatória durante essa emissão específica, o que nos

leva a refletir que o planejamento e o controle da produção de fala e voz estão integrados ao *feedback* auditivo e aos movimentos articulatórios(10). Vale lembrar que a emissão da vogal sustentada não é um contexto comunicativo usual, com isso temos a probabilidade de interferência do falante, manipulando aspectos da emissão(11,12), voluntária ou involuntariamente, com uso de ajustes que podem sofrer influência de inúmeras variáveis, principalmente no caso do surdo pré-lingual, cuja privação de experiências sensoriais é maior.

Há controvérsia entre os estudos que avaliaram aspectos ressonanciais após IC em crianças e adultos. E, assim como em outros estudos(13), neste, também foi percebida na APA, como característica da voz do surdo a nasalidade, em seus diferentes espectros (da hiponasalidade à hipernasalidade).

Em surdos pós-linguais adultos a privação auditiva é um conhecido fator que contribui para a habilidade de reconhecimento de fala(14), o que difere dos surdos pré-linguais, cujas referências auditivas ou estão ausentes ou limitadas ao tipo e grau da perda, sendo uma das características mais citadas como comumente percebida a nasalidade (hipo ou hipernasalidade), em decorrência da inabilidade acústica da monitorização da voz(15).

Autores sugerem que a percepção da nasalidade pode estar relacionada à busca para refinar as produções articulatórias(16), controle ineficiente da válvula velofaríngea decorrente da ausência do feedback auditivo, velocidade de fala lenta, alterações articulatórias(15), posicionamento excessivamente posterior da língua na hipofaringe, o que poderia, inclusive, resultar em uma ressonância *cul-de-sac*(15).

A partir de uma correspondência acústico-articulatória na fala encadeada, pode-se inferir que a constrição da língua foi mais posterior e a conformação da faringe foi mais estreita, o que sugere a interferência da coarticulação presente nas tarefas fonatórias de fala encadeada e conversa espontânea, pois os movimentos dos articuladores para a produção do som sofrem modificações em função dos sons próximos(17,18).

O surdo tende a expelir o ar antes de falar, devido à falta de sincronia entre respiração e fonação, demonstrando dificuldade para direcionar o fluxo aéreo e, em consequência dessa incoordenação, pode fazer uso do ar residual, com interrupções das frases em momentos inadequados(19). Assim, a tensão presente tanto na fala encadeada quanto na conversa espontânea em todos os indivíduos e, especialmente no GE, pode refletir o esforço fonatório associado à percepção de CPFA alterada, modificando o fluxo aéreo e a pressão subglótica, prejudicando a inteligibilidade de fala(20).

O surdo pode apresentar instabilidade principalmente nos valores do primeiro formante, que leva a crer na dificuldade para manter o trato vocal na mesma postura articulatória. É necessário que o surdo controle tanto a F0 quanto a intensidade vocal com considerável precisão para manter a estabilidade vocal, e para isso precisa realizar compensações e interações entre fonte e filtro(21).

Ajustes de nasalidade e escape de ar nasal influenciam o aumento da relação entre valores de largura de banda dos formantes F1, F2 e F3(22). Neste estudo, não foram identificadas variações significativas entre os GC e GE em ambos os sexos para as frequências formânticas de F1, F2, F3 e F4, seus valores se aproximaram dos valores de outro estudo realizado na população brasileira e diferiram de outros estudos, o que pode ser atribuído às diferentes bases articulatórias e de tensão fonêmica de cada idioma(23,24). Este achado nos leva a sugerir a possibilidade de aproximação articulatória entre normouvintes e surdos usuários adultos de IC, uma

vez que o treinamento de fala desenvolvido com estes indivíduos é baseado em pistas visuais e cinestésicas.

A filtragem cepstral avaliou se existiria um predomínio de uma condição de nasalidade na emissão, neste estudo não foram identificados antiformantes, deslocamento das frequências para a esquerda, o aumento das larguras de banda ou a presença de formantes nasais nas faixas de frequência onde seriam esperados, tampouco a presença de formantes “atípicos” em decorrência de nasalidade, o que permitiu definir o perfil espectral, correlacionando-o com o efeito perceptivo correspondente(25), pela possibilidade de contaminação pela coarticulação fonêmica. Os principais picos (formantes) ocorreram em torno de 3.000 Hz e o F3, que reflete os ajustes de constrição labial, palatal e de faringe(26), não permitiu uma análise mais detalhada, devido às características do material analisado, visto terem sido excluídos o início e o final da amostra da voz.

Na língua portuguesa brasileira as sílabas tônicas são perceptual e acusticamente caracterizadas pela duração, intensidade, frequência e qualidade vocal(27), a duração da vogal nestas sílabas é estendida(17,27) e a proeminência é geralmente marcada por aumento de intensidade(28), combinados à posição da vogal, intensidade e coarticulação com consoantes podem aumentar a tensão vocal ao articular a vogal /a/(29), podendo sugerir que a variação de cavidade ressonantal posterior, a presença de tensão faríngea, a posteriorização da língua e elevação da laringe, considerando, ainda, que não há um ajuste único entre os participantes do estudo, uma vez que há grande dispersão, sem pico espectral específico.

Na proposta da Fonologia Articulatória existem variáveis do trato vocal que envolvem os articuladores em atividade de fala e não apenas seus movimentos. As ações conjuntas dos articuladores constituem as variáveis do trato vocal, as quais, relacionadas, implementam os gestos articulatórios, correspondentes a um conjunto de variáveis quantitativas (distância, ativações, velocidade de mudança, entre outros) de um sistema dinâmico, que sofrem modificações de forma simultânea no transcorrer do tempo e se influenciam mutuamente. Assim, poderiam ser consideradas variáveis do trato e de seus articuladores: protrusão e abertura labial, local e grau de constrição da ponta da língua, local e grau de constrição do corpo da língua, abertura velar e abertura glotal, que encontramos citados como possíveis “geradores” de ruídos vocais na APA(30).

Por isso, o aspecto funcional poderia levar a uma alteração na percepção auditiva da nasalidade, que não é compatível com a ausência de formantes nasais ou antiformantes, mas com a presença de variação na estrutura acústica do F2. Ainda, observando-se cuidadosamente os achados deste estudo, os participantes podem apresentar uma redução articulatória, com redução da mobilidade do complexo linguomandibular, ou mesmo a tipologia facial pode ter contribuído para a presença de tensão articulatória ou *pitch* mais agudo, percebida como nasalidade na APA, a qual parece não se encontrar no nível linguístico, mas fisiológico, pois o surdo consegue perceber a característica da nasalidade, mas não entende o mecanismo de controle por falta de distinção das vogais.

4. Conclusão

Ficou evidente o caráter complementar da APA e da análise acústica na avaliação da voz dos surdos usuários de IC, uma vez que a ação conjunta dos articuladores favorece a identificação perceptiva de nasalidade percebida na voz do surdo adulto usuário de IC.

Referências

1. EADIE, T. L.; DOYLE, P. C. Classification of dysphonic voice: acoustic and auditory-perceptual measures. *Journal of Voice*, v. 19, n. 1, p. 1–14, mar. 2005.
2. COELHO, A. C.; BRASOLOTTO, A. G.; BAHMAD, F. Development and validation of the protocol for the evaluation of voice in patients with hearing impairment (PEV-SHI). *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, v. 86, n. 6, p. 748–762, jul. 2020.
3. LOPES, L. W.; ALVES, G. Â. dos S.; MELO, M. L. de. Content evidence of a spectrographic analysis protocol. *Revista CEFAC*, v. 19, n. 4, p. 510–528, ago. 2017.
4. DEJONCKERE, P. H. et al. A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, v. 258, n. 2, p. 77–82, fev. 2001.
5. AWAN, S. N.; AWAN, J. A. A two-stage cepstral analysis procedure for the classification of rough voices. *Journal of Voice*, v. 34, n. 1, p. 9–19, jan. 2020.
6. HASSAN, E. M. et al. Assessment of dysphonia: cepstral analysis versus conventional acoustic analysis. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, v. 46, n. 3, p. 99–109, jul. 2021.
7. BALASUBRAMANIAM, R. K. et al. Cepstral characteristics of voice in Indian female classical Carnatic singers. *Journal of Voice*, v. 29, n. 6, p. 693–695, nov. 2015.
8. FERRER RIESGO, C. A.; NÓTH, E. What makes the cepstral peak prominence different to other acoustic correlates of vocal quality? *Journal of Voice*, v. 34, n. 5, p. 806.e1–806.e6, set. 2020.
9. COELHO, A. C. et al. Auditory-perceptual evaluation of voice quality of cochlear-implanted and normal-hearing individuals: a reliability study. *Journal of Voice*, v. 31, n. 6, 2017.
10. MUNHALL, K. G. et al. Talkers alter vowel production in response to real-time formant perturbation even when instructed not to compensate. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 125, n. 1, p. 384–390, jan. 2009.
11. SPAZZAPAN, E. A. et al. Acoustic characteristics of healthy voices of adults: from young to middle age. *CoDAS*, v. 30, n. 5, 22 out. 2018.
12. MOON, K. R. et al. Materials of acoustic analysis: sustained vowel versus sentence. *Journal of Voice*, v. 26, n. 5, p. 563–565, set. 2012.
13. HASSAN, S. M. et al. The effect of cochlear implantation on nasalance of speech in postlingually hearing-impaired adults. *Journal of Voice*, v. 26, n. 5, p. 669.e17–669.e22, set. 2012.
14. LAZARD, D. S. et al. Bilateral reorganization of posterior temporal cortices in post-lingual deafness and its relation to cochlear implant outcome. *Human Brain Mapping*, v. 34, n. 5, p. 1208–1219, 2013.
15. BAUDONCK, N. et al. Nasalance and nasality in children with cochlear implants and children with hearing aids. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, v. 79, n. 4, p. 541–545, abr. 2015.
16. GIUSTI, M. C. et al. The voice of hearing impaired children. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, v. 67, n. 1, p. 29–35, 2001.

17. BARBOSA, P. A. *Manual de fonética acústica experimental: aplicações a dados do português*. 1. ed. Rio de Janeiro: Cortez, 2015. 591 p.
18. VIEGAS, F. et al. Comparison of fundamental frequency and formants frequency measurements in two speech tasks. *Revista CEFAC*, v. 21, n. 6, 2019.
19. BEHLAU, M. et al. Disfonias congênitas. In: THIEME REVINTER (ed.). *Voz: o livro do especialista II*. Rio de Janeiro: Thieme Revinter, 2005. p. 1–50.
20. BORGES, R. Avaliação de voz em deficientes auditivos: uma análise crítica. In: _____. *Dissertando sobre voz*. Carapicuíba/SP: Pró-Fono, 1998. p. 150–171.
21. MAXFIELD, L.; PALAPARTHI, A.; TITZE, I. New evidence that nonlinear source-filter coupling affects harmonic intensity and fo stability during instances of harmonics crossing formants. *Journal of Voice*, v. 31, n. 2, p. 149–156, mar. 2017.
22. STEVENS, K. N. *Acoustic phonetics*. Cambridge: MIT Press, 2000. 624 p.
23. KENT, R. D.; READ, C. *The acoustic analysis of speech*. San Diego: Singular Publishing Group, 1992. 238 p.
24. KENT, R. D.; VORPERIAN, H. K. Static measurements of vowel formant frequencies and bandwidths: a review. *Journal of Communication Disorders*, v. 74, p. 74–97, jul. 2018.
25. DIEHL, R. L. Acoustic and auditory phonetics: the adaptive design of speech sound systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, n. 1493, p. 965–978, 12 mar. 2008.
26. KENT, R. D. *The speech sciences*. San Diego: Singular, 1997.
27. VIOLA, I. C. *Expressividade, estilo e gesto vocal*. Lorena: Instituto Santa Teresa, 2008.
28. REHDER, M. I.; CAZUMBÁ, L. F.; CAZUMBÁ, M. *Identificação de falantes: uma introdução à fonoaudiologia forense*. Rio de Janeiro: Revinter, 2015.
29. WATTS, C. R. The effect of CAPE-V sentences on cepstral/spectral acoustic measures in dysphonic speakers. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, v. 67, n. 1, p. 15–20, 2015.
30. BROWMAN, C. P.; GOLDSTEIN, L. Articulatory phonology: an overview. *Phonetica*, v. 49, n. 3–4, p. 155–180, 1992.