

## REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS FORMANTES E A PRODUÇÃO DA VOZ E FALA

### SYSTEMATIC REVIEW ON THE FORMANTS AND THE PRODUCTION OF VOICE AND SPEECH

Fernanda Pereira França<sup>1</sup>  
Deyverson da Silva Evangelista<sup>2</sup>  
Leonardo Wanderley Lopes<sup>3</sup>

**RESUMO:** A produção da voz e fala é considerada como um ato motor individual (COSTA, 2008) caracterizando-se pelo trato vocal humano, um tubo flexível delineado pelos órgãos fonoarticulatórios, composto desde a laringe onde contém as pregas vocais até cavidade nasal e oral, envolvendo lábios, língua, dentes, mandíbula, palato duro, palato mole e faringe (BECK, 2006). A vibração das pregas vocais e a modificação do som pelo trato vocal caracterizam as vogais orais, resultado das frequências de ressonâncias denominadas formantes. O presente estudo tem o objetivo de investigar se os formantes das vogais orais descrevem os diferentes aspectos da produção da voz e fala. Foram revisados 25 artigos através da base de dados internacional – Pubmed. Os estudos foram selecionados com base nos seguintes critérios de inclusão: 1º) publicações realizadas nos últimos 10 anos; 2º) artigos em inglês, espanhol e português; e 3º) acesso ao artigo completo. Como critérios de exclusão, foram excluídos artigos que não correlacionassem os formantes à produção da voz e fala nas vogais orais. Os estudos apontam que os formantes das vogais orais norteiam e descrevem os diferentes aspectos da produção da voz e fala, uma vez que, demonstram a aplicabilidade dos formantes em revelar informações sobre o trato vocal humano, os aspectos patológicos que envolvem a produção de voz e fala como as alterações laríngeas, esqueléticas e neurológicas, as cirurgias nas cavidades orais e nasais, e por fim, a produção da fala em indivíduos surdos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Formantes. Voz. Fala.

**ABSTRACT:** The production of voice and speech is considered to be an individual motor act (COSTA, 2008) characterized by the human vocal tract, a flexible tube delineated by the phonoarticulatory organs, composed from the larynx (which contains the vocal folds) and as much as the nasal and oral cavity, involving lips, tongue, teeth, jaw, hard palate, soft palate and pharynx (BECK, 2006). The vibration of the vocal folds and the alteration of the sound by the vocal tract characterize the oral vowels, as a result of the resonance frequencies called formants. The present study aims to investigate if the formants of oral vowels describe the different aspects of voice and speech production. Twenty-five articles from the international database – Pubmed were analyzed. The studies were selected based on the following inclusion criteria: 1st) publications made in the last 10 years; 2nd) articles in English, Spanish and Portuguese; and 3rd) access to the complete article. As exclusion criteria, were excluded articles that did not correlate the formants to voice and speech production in oral vowels. The studies indicate that the formants of oral vowels guide and describe the different aspects of the production of voice and speech, as they demonstrate the applicability of formants in revealing information about the human vocal tract. They also reveal the pathological aspects that involve the production of voice and speech such as laryngeal, skeletal and neurological changes, surgeries in the oral and nasal cavities, and finally, the production of speech in deaf individuals.

**KEYWORDS:** Formants. Voice. Speech.

---

<sup>1</sup> Mestranda em Linguística pelo Programa de Pós-Graduação em Linguística da Universidade Federal da Paraíba. Endereço eletrônico: fgafernandap@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em Linguística pelo Programa de Pós-Graduação em Linguística da Universidade Federal da Paraíba. Endereço eletrônico: deyverson\_evangelista@hotmail.com

<sup>3</sup> Docente do Programa de Pós-Graduação em Linguística e Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba. Endereço Eletrônico: lwlopes@hotmail.com

## 1 Introdução

A produção da voz e fala é estudada como um movimento sonoro mensurável desde 1928 (STETSON, 1928), resultando em um sinal acústico que pode ser armazenado e analisado através de novos equipamentos modernos. Desde 1941 (CHIBA e KAJIYAMA, 1941) as frequências dos formantes são utilizadas para a caracterização da produção de vogais, seja no posicionamento de língua durante a sua produção (RAPHAEL *et al.*, 1979), na dinâmica da articulação das vogais (BAER e ALFONSO, 1982), na produção da voz e do processamento da fala (PARSONS, 1986) e em pesquisas científicas recentes que trazem evidências sobre as dimensões do trato vocal e a influência dos formantes na produção das vogais (WAN, HUANG e ZHENG, 2010; CARTEI, COWLES E REBY, 2012; VALENÇA *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, o estudo das vogais orais vem trazendo informações diversificadas que contribuem para diversos campos de atuação, seja do ponto de vista acústico, fisiológico, patológico, entre outros (GAMA e BEHLAU, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2009; SVICERO, 2009; BROD e SEARA, 2014; FREITAS *et al.*, 2015; HONG *et al.*, 2016; MAXFIELD, PALAPARTHI e TITZE, 2016), abrangendo especificidades com diferentes aspectos metodológicos resultando em um avanço para a análise da produção da voz e fala.

A produção da voz e fala é considerada como um ato motor individual (COSTA, 2008), caracterizando-se pelo trato vocal humano, um tubo flexível delineado pelos órgãos fonoarticulatórios, que é composto desde a laringe, onde contêm as pregas vocais, até cavidade nasal e oral, envolvendo lábios, língua, dentes, mandíbula, palato duro, palato mole e faringe (BECK, 2006). A vibração das pregas vocais e a modificação do som pelo trato vocal caracterizam as vogais orais.

Acusticamente, os sons vocálicos que mais se distinguem são as vogais /i/, /u/ e /a/, pois no triângulo articulatório proposto por Trubetzkoy (1929) elas ocupam as extremidades. O primeiro formante das vogais /i/ e /u/ apresentam frequência baixa e a vogal /a/ frequência alta, o que, a língua posiciona-se mais elevada na produção das duas primeiras vogais e mais baixa em /a/. O segundo formante tem frequência alta em /i/, baixa em /u/ e média em /a/, justificado pela posição da língua que encontra-se mais avançada para a primeira, recuada para a segunda e numa posição estável para a produção da terceira vogal (LADEFOGED, 2001).

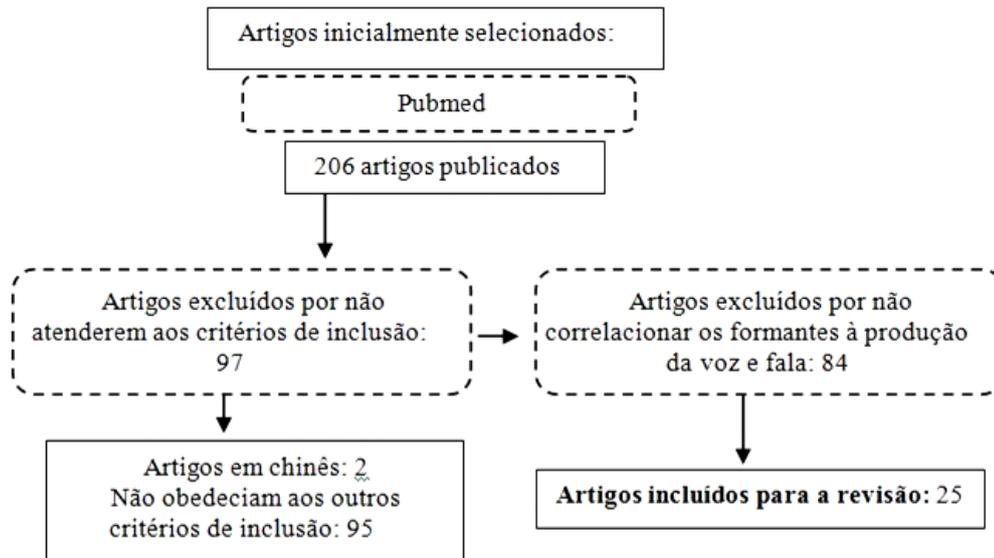
Muitos aspectos estão envolvidos na produção sonora exigindo diversas habilidades coordenadas e refinadas de movimentos (HOCEVAR-BOLTEZAR, BOLTEZAR e ZARGI, 2008), envolvendo também a fisiologia de diversas estruturas do aparelho da fala, logo, ela emerge como uma fonte de pesquisa para a compreensão de todos os fatores que estão interligados ou dissociados.

Sendo assim, surge o interesse de buscar novas evidências científicas com o objetivo de investigar se os formantes das vogais orais descrevem os diferentes aspectos da produção da voz e fala. Para desenvolver este trabalho, foi realizada uma revisão sistemática na base de dados internacional – Pubmed. A busca foi feita em março de 2017 e os estudos foram selecionados com base nos seguintes critérios de inclusão: 1º) publicações realizadas nos últimos 10 anos; 2º) artigos em diversos idiomas, com exceção do chinês; e 3º) acesso ao artigo completo. Como critérios de exclusão foram excluídos artigos que não correlacionassem os formantes à produção da voz e fala. A figura 1 expõe a estratégia de busca realizada para a seleção dos artigos incluídos nessa revisão, e a tabela 1 mostra o tema dos artigos que foram excluídos por não correlacionar os formantes à produção da voz e fala.

As palavras-chave utilizadas foram as seguintes: “formants”, “voice” e “speech”, e os termos correspondentes em português são “formantes”, “voz” e “fala”. Foram localizados 206

artigos no total e após a leitura do título e do resumo, foram selecionados 25 para análise posterior do artigo na íntegra. Para a análise, os artigos selecionados foram submetidos a uma avaliação qualitativa através de um protocolo elaborado pelo pesquisador (Quadro 1).

**Figura 1:** Fluxograma dos artigos selecionados para a revisão sistemática.



**Tabela 1:** Tema dos artigos que foram excluídos por não correlacionar os formantes à produção da voz e fala.

Eixos Temáticos	Artigos excluídos
Impedância do trato vocal	1
Atividade física com idosos	1
Símbolos matemáticos	1
Maxilectomia artificial	1
Emoção	1
Estudo com ratos	1
Nasalidade	1
Efeito da Medicação	1
Entonação + emoção	1
Crianças com Síndrome de Down	1
Qualidade vocal, pitch e F0 no discurso	5
Voz alaríngea	4
Consoantes	5
Oscilação e acoplamento da pressão subglótica	5
Apenas voz cantada	17
Percepção	18
Outras informações	20
<b>Total</b>	<b>84</b>

**Quadro 1:** Protocolo de análise para a leitura dos artigos na íntegra

Referência:
Natureza: desenvolvimento, distúrbio, caracterização de grupos populacionais:
Utilização de outras medidas combinadas com os formantes?
Amostra de fala:
Número de amostra de fala por informante:
População estudada e tamanho da amostra:
Desenho do estudo:
Tipo de análise estatística:
Principal conclusão:

**2 Revisão da Literatura**

A partir do preenchimento do protocolo e da literatura pesquisada foram encontradas diversas temáticas que envolvem a análise dos formantes na produção da voz e fala, descrevendo as patologias que acometem a laringe e o trato vocal, as dimensões do trato vocal, segundo o tamanho corporal, o gênero e a idade, e por fim a produção da fala em indivíduos surdos.

Dessa forma, é necessário discutir os resultados didaticamente segundo quatro aspectos que foram mais prevalentes nos 25 artigos analisados: 2.1 Dimensões do trato vocal e influência dos formantes na produção das vogais; 2.2 Alterações na fonte sonora e interferência supraglótica; 2.3 Análise formântica em indivíduos surdos; e 2.4 Relação formântica e alterações patológicas e cirúrgicas do trato vocal. Antes dessa explanação, há a descrição dos estudos investigados através do título, autor, ano e objetivo da pesquisa, conforme mostra o quadro 2.

A maioria das pesquisas analisadas utilizou análise dos formantes com a combinação de outras medidas acústicas, tais como, *jitter*, *shimmer*, frequência fundamental, quociente de perturbação da amplitude, perturbação média relativa, proporção harmônico-ruído, entre outros. Dentre os 24 artigos avaliados, nove utilizaram apenas a análise formântica (HOCEVAR-BOLTEZAR, BOLTEZAR e ZARGI, 2008; DROMEY *et al.*, 2008; GOGNIASHVILI, JAPARIDZE e KHUJADZE, 2009; ROY *et al.*, 2009; SAXENA *et al.*, 2014; JAFARI, YADEGARI e JALAIE, 2015; JAFARI *et al.*, 2016; LEME, MARCELINO e PRADO, 2016; VALENÇA *et al.*, 2016). As tarefas de fala dos artigos encontrados nesse estudo incluem vogais sustentadas, vogais em frases veículos e em palavras nas seguintes línguas: Inglês (14 artigos), Português (6 artigos), Espanhol (1 artigo), Árabe (1 artigo), Turco (1 artigo), Persa (1 artigo) e um artigo com tarefas de fala incluindo a língua inglesa, espanhola e polonesa.

**Quadro 2:** Descrição da temática investigada pelas pesquisas científicas incluídas na revisão.

TÍTULO	AUTORES E ANO	OBJETIVO
Hierarchical Classification and System Combination for Automatically Identifying Physiological and Neuromuscular Laryngeal Pathologies.	CORDEIRO <i>et al.</i> , 2016	Distinguir entre vozes saudáveis e vozes com patologias fisiológicas da laringe (edemas ou nódulos de pregas vocais) e patologias da laringe neuromuscular (paralisia de prega vocal unilateral) com a finalidade criar um sistema de identificação de patologia laríngea.
Volitional exaggeration of body size through fundamental and formant frequency modulation in humans.	PISANSKI <i>et al.</i> , 2016	Investigar se os homens ou as mulheres, de fato, modulam sistematicamente F0 e formantes quando instruídos a alterar deliberadamente seu tamanho corporal aparente.

Margins of tolerance and reference values for the formant vowels for use in voice therapy for the deaf in commercial computer.	LEME, MARCELINO e PRADO, 2016	Identificar as margens de tolerância e os valores de referência para as frequências do primeiro, segundo e terceiro formante, segundo gênero e faixa etária, para as sete vogais do português brasileiro (/ a /, / e / / ε /, / i /, / o /, / ɔ /, / u /)
New Evidence That Nonlinear Source-Filter Coupling Affects Harmonic Intensity and <i>f<sub>0</sub></i> Stability During Instances of Harmonics Crossing Formants.	MAXFIELD, PALAPARTHI e TITZE, 2016	Avaliar o efeito imprevisível das alterações nas dimensões do trato vocal sobre a estabilidade da frequência fundamental e a intensidade dos harmônicos individuais em situações em que a baixa frequência dos harmônicos se cruzam com os formantes em um deslize da frequência fundamental.
Changes in Oral Vowel Sounds and Hyoid Bone Movement After Thyroidectomy.	HONG <i>et al.</i> , 2016	Avaliar as características acústicas dos sons das vogais orais e alterações no movimento do osso hióide antes e após a tireoidectomia
A Comparison of Persian Vowel Production in Hearing-Impaired Children Using a Cochlear Implant and Normal-Hearing Children.	JAFARI <i>et al.</i> , 2016	Comparar a produção de vogais persas em crianças surdas com implantes cocleares (CI) e em crianças com NH.
Voice Formants in Individuals With Congenital, Isolated, Lifetime Growth Hormone Deficiency.	VALENÇA <i>et al.</i> , 2016	Analisar os formantes de voz (F1, F2, F3 e F4 em Hz) de sete vogais orais do português brasileiro, [a, e, ε, i, o, o, e u] em indivíduos adultos com Deficiência Congênita do hormônio do crescimento.
Formant Frequencies and Bandwidths in Relation to Clinical Variables in an Obstructive Sleep Apnea Population.	BENAVIDES <i>et al.</i> , 2016	Investigar possíveis efeitos indiretos ou de variáveis clínicas (índice de massa corporal, perímetro cervical, altura, peso e idade), que podem lançar alguma luz sobre a conexão entre a fala e apnéia obstrutiva do sono.
Acoustic Analysis of Persian Vowels in Cochlear Implant Users: A Comparison With Hearing-impaired Children Using Hearing Aid and Normal-hearing Children.	JAFARI, YADEGARI e JALAEI, 2015	Comparar as frequências dos formantes e o espaço de vogais em crianças surdas de fala persa com implante coclear (IC), crianças com deficiência auditiva com aparelho auditivo (HA) e com audição normal (NH).
Acoustic Correlates of Compensatory Adjustments to the Glottic and Supraglottic Structures in Patients with Unilateral Vocal Fold Paralysis.	JESUS <i>et al.</i> , 2015	Comparar perceptualmente e acusticamente as vozes de sujeitos com paralisia unilateral de prega vocal e as vozes de sujeitos apresentando qualidade normal.
Changes of some functional speech disorders after surgical correction of skeletal anterior open bite.	AMBROŽIČ, BOLTEŽAR e HREN, 2015	Avaliar os efeitos do tratamento da mordida aberta anterior sobre a qualidade da voz, articulação e nasalidade na fala em relação às alterações esqueléticas .
Assessing speech dysfunction using BOLD and acoustic analysis in parkinsonism.	SAXENA <i>et al.</i> , 2014	Investigar as características acústicas e sua correlação com a ativação de BOLD durante a produção de voz/fala em indivíduos com Parkinson.
Effects of septoplasty on speech and voice. J Voice.	OZBAL KOC <i>et al.</i> , 2014	Investigar características acústicas da voz antes e após a cirurgia de septoplastia.
An evaluation of the effects of adenoidectomy on voice and speech function in children.	KARA, ÖZTÜRK e ÖZER, 2013	Avaliar os possíveis efeitos da adenoidectomia sobre as características acústicas e perceptivas.

A preliminary study on the use of vocal function exercises to improve voice in male-to-female transgender clients.	GELFER e VAN DONG, 2013	Investigar os parâmetros acústicos e perceptuais após os exercícios de função vocal de Stemple em indivíduos transgêneros (de homem para mulher) que procuraram a feminização da voz.
Spontaneous voice gender imitation abilities in adult speakers.	CARTEI, COWLES e REBY, 2012	Investigar a capacidade dos indivíduos em fazer ajustes comportamentais na frequência fundamental e nos formantes ao manipular sua expressão vocal com relação ao gênero.
Acoustic and perceptual aspects of vocal function in children with adenotonsillar hypertrophy--effects of surgery.	LUNDEBORG <i>et al.</i> , 2012	Investigar características acústicas e perceptivas após dois tipos de cirurgia de tonsila (tonsilectomia + adenoidectomia ou tonsilotomia + adenoidectomia).
Formant analysis in dysphonic patients and automatic Arabic digit speech recognition.	MUHAMMAD <i>et al.</i> , 2011	Avaliar o reconhecimento de seis tipos diferentes de distúrbios de voz (cistos, doença de refluxo laringofaríngeo, disfonia espasmódica, sulco vocal, nódulos e pólipos) em pacientes falando 10 dígitos árabes.
Acoustic elementary research on voice resonance of Chinese population.	WAN, HUANG e ZHENG, 2010	Investigar o desenvolvimento dos formantes do núcleo das vogais com relação à idade e a diferença de gênero.
Influence of acoustic rhinometry, rhinoresistometry and endoscopic sinus surgery on voice quality.	GOGNIASHVILI, JAPARIDZE e KHUJADZE, 2009	Analisar as características acústicas de vogais sustentadas após cirurgia endoscópica do seio endonasal
Articulatory changes in muscle tension dysphonia: evidence of vowel space expansion following manual circumlaryngeal therapy.	ROY <i>et al.</i> , 2009	Investigar os efeitos da massagem manual laringea, em indivíduos com disfonia por tensão muscular, sobre a articulação das vogais por meio de medidas formânticas.
The influence of cochlear implantation on vowel articulation.	HOCEVAR-BOLTEZAR, BOLTEZAR e ZARGI, 2008	Investigar as alterações acústicas na articulação de vogais em crianças e adultos surdos após implante coclear.
Articulatory changes following treatment of muscle tension dysphonia: preliminary acoustic evidence.	DROMEY <i>et al.</i> , 2008	Avaliar parâmetros acústico-articulatórios após massagem manual laringea em indivíduos com disfonia por tensão muscular.
Effects of intensive voice treatment (the Lee Silverman Voice Treatment) on vowel articulation in dysarthric individuals with idiopathic Parkinson disease: acoustic and perceptual findings.	SAPIR <i>et al.</i> , 2007	Avaliar os efeitos do tratamento vocal intensivo dirigido à intensidade vocal (Lee Silverman Voice Treatment) na articulação de vogais em indivíduos disártricos com doença de Parkinson idiopática.
Mutational falsetto: intervention outcomes in 45 patients.	DAGLI <i>et al.</i> , 2007	Avaliar os resultados da intervenção terapêutica em pacientes com falseto mutacional, aplicando-se análise perceptiva e acústica antes e após terapia vocal.

## 2.1 Dimensões do trato vocal e influência dos formantes na produção das vogais

Sabe-se que as propriedades da voz e a identidade da vogal são formadas pelas vibrações das pregas vocais e modificadas pelas posições dos articuladores, gerando formantes como consequência das ressonâncias das cavidades oral e nasal. Esse mecanismo de produção do som é baseado na teoria fonte-filtro (FANT, 1970) e associado à identidade acústica das vogais, considerando os dois primeiros formantes as principais frequências para distinguir um som vocálico (GREPL, FURST e PESAK, 2007).

Ao longo da vida, as frequências dos formantes se modificam e possuem valores diferentes em crianças e adultos assim como também em homens e mulheres, constatando que características acústicas do primeiro e do segundo formante são dependentes da parte superior das cavidades de ressonância (AMBROŽIČ, BOLTEŽAR E HREN, 2015). A primeira (F1) e segunda (F2) frequência dos formantes fornecem informações valiosas para a percepção da qualidade da vogal visto que, F1 e F2 formam um triângulo acústico com as vogais /a/, /i/ e /u/, integrando as principais características para analisar o comprimento do trato vocal (WAN, HUANG e ZHENG, 2010).

A partir da busca da literatura, encontrou-se que as ressonâncias vocais (e seus formantes associados) estão inversamente relacionadas com o comprimento do trato vocal, ou seja, o trato vocal mais curto irá originar frequências dos formantes mais elevadas. Nessa perspectiva, em 2010 foi realizado um estudo (WAN, HUANG e ZHENG, 2010) com o objetivo de investigar as características formânticas das vogais em relação à idade e a diferença de gênero. Foram avaliadas 2492 pessoas normais com a gravação das vogais /a/, /i/ e /u/. Os formantes das vogais tiveram diferenças significativas com a idade ( $P < 0,05$ ), tendo geralmente uma tendência decrescente principalmente em F1 e F2, e diferença significativa com o gênero e o núcleo das vogais, existindo correlação paralela entre a tendência de desenvolvimento de F1, F2 e F0.

Outro estudo mais recente (MASAPOLLO, POLKA e MÉNARD, 2016) demonstrou que no espaço da vogal infantil todos os formantes são deslocados para frequências mais elevadas, enquanto que no adulto, o espaço das vogais é mais extenso, com frequências menores, deslocando os formantes em direções diferentes, e quando a vogal /i/ é produzida por um adulto, F1 é menor e F2 é maior em comparação com uma produção de uma criança.

Através da análise dos formantes, outros estudos encontrados pautaram-se na investigação do gênero e no tamanho corporal aparente. Cartei, Cowles e Reby (2012) e Pisanskiet al. (2016) investigaram se os homens ou as mulheres, de fato, modulam sistematicamente a frequência fundamental (F0) e os formantes quando instruídos a alterar a expressão vocal tornando-a mais masculina (condição masculina) e feminina (condição feminina) possível, e o tamanho corporal aparente (pessoa com tamanho pequeno e grande), respectivamente. Homens e mulheres aumentam espontaneamente e sistematicamente o trato vocal e diminuem F0 para imitar um tamanho corporal grande, e reduzem o trato vocal e aumentam F0 para imitar pequenas dimensões (PISANSKI et al., 2016). Com relação à mudança da expressão vocal, houve alteração dos componentes da frequência fundamental e dos formantes, consequentemente alterando a vibração das pregas vocais e o comprimento aparente de trato vocal (CARTEI; COWLES E REBY, 2012).

Sendo assim, pode-se inferir que os falantes possuem o conhecimento de pistas acústicas e fonéticas subjacentes à expressão do gênero na fala e do tamanho corporal aparente, sendo capazes de controlá-las para modular esses atributos. Esse planejamento e controle motor da produção de vogais estão incorporados ao feedback auditivo e consequentemente aos movimentos articulatorios (MUNHALL et al., 2009).

Outras pesquisas recentes analisaram os formantes na investigação da Deficiência Congênita do Hormônio do Crescimento (DCHC) (VALENÇA *et al.*, 2016) e em indivíduos transgêneros (TG) após exercícios para feminização da voz (GELFER e VAN DONG, 2013). Os formantes caracterizaram o comprimento do trato vocal em indivíduos com Deficiência Congênita do Hormônio do Crescimento com valores mais elevados na maioria das frequências sugerindo menores cavidades bucais e faríngeas (VALENÇA *et al.*, 2016). Com relação aos transgêneros, houve um aumento da frequência fundamental e da frequência dos formantes, com valores da frequência de formantes da vogal /i/ em TG semelhantes aos dos sujeitos do grupo controle do sexo masculino (F1: 294.22; F2: 2170.95; F3: 2869.28) no pré-teste (F1: 298.99; F2: 2188.79; F3: 2640.09), e semelhantes aos sujeitos do grupo controle do sexo feminino (F1: 386.10; F2: 2663.77; F3: 3092.44) no pós-teste (F1: 353.01; F2: 2322.73; F3: 2987.42).

Portanto, de acordo com a descrição das pesquisas científicas, é possível depreender que os formantes particularizam a produção da voz e fala através das dimensões do trato vocal, existindo uma dependência da frequência fundamental em sua produção, uma vez que, com a diminuição da frequência fundamental, há uma diminuição da frequência do formante, e vice versa (DAGLI *et al.*, 2007; GELFER e VAN DONG, 2013; PISANSKI *et al.*, 2016).

As relações das dimensões do trato vocal e das frequências dos formantes podem inferir que há ajustes diferentes com relação ao gênero, ao tamanho corporal aparente e a idade, havendo modificações na abertura de boca e no posicionamento de língua, repercutindo nas cavidades orais e faríngeas (VORPERIAN e KENT, 2007; WAN, HUANG e ZHENG, 2010; CARTEI, COWLES e REBY, 2012; GELFER e VAN DONG, 2013; PISANSKI *et al.*, 2016; VALENÇA *et al.*, 2016; MASAPOLLO, POLKA e MÉNARD, 2016).

## 2.2 Alterações na fonte sonora e interferência supraglótica

Os indivíduos com alteração na fonte sonora geralmente desenvolvem alguns ajustes compensatórios a nível glótico e supraglótico, modificando assim a configuração da voz e do trato vocal. As mudanças na fonte sonora podem influenciar as características do filtro e, conseqüentemente, os padrões de frequência de formantes no trato vocal.

Segundo Jesus *et al.* (2015), os valores da frequência do primeiro formante são mais elevados em indivíduos com paralisia unilateral de prega vocal, a frequência de F1 está inversamente relacionada com o movimento vertical da língua, e valores mais elevados deste formante (em sujeitos com paralisia unilateral de prega vocal) indicam uma posição inferior da língua durante a fonação. Já o segundo formante, que está relacionado com o movimento horizontal da língua, é mais elevado nos indivíduos com alteração na fonte sonora, indicando que poderia haver uma tendência para uma posição mais anteriorizada da língua durante a produção das vogais.

Dromey *et al.*, 2008 afirmam que o impacto de um transtorno de voz pode se estender para além da laringe, a partir da análise de cento e onze mulheres com disfonia por tensão muscular, submetidas à massagem manual laríngea e gravação das vogais: /i, æ, a, u/. Os resultados deste estudo constatarem a redução do primeiro e do segundo formante. Isso pode estar relacionado a um padrão menos alterado de fechamento da prega vocal e compressão supraglótica reduzida (ROY *et al.*, 2009). Verificou-se também que, indivíduos que possuem a frequência fundamental elevada, seja por disfonia por tensão muscular (DROMEY *et al.*, 2008) ou por falsete mutacional (DAGLI *et al.*, 2007), possuem diminuição dos ajustes de abertura de boca, assim como um posicionamento de língua mais recuado, no sentido ântero-posterior após intervenção fonoaudiológica.

Com a finalidade de identificar vozes saudáveis, vozes com patologias fisiológicas de laringe (59 indivíduos com edemas ou nódulos de pregas vocais) e vozes com patologias da laringe neuromuscular (59 indivíduos com paralisia de prega vocal unilateral) Cordeiro *et al.* (2016) criou um sistema de identificação de patologia laríngea a partir da análise formântica, utilizando um sistema de classificação para a fala espontânea e vogal /a/ sustentada. A partir dos dados obtidos houve classificação com precisão global de 77,9%, sendo uma porcentagem baixa para o sistema de classificação.

A partir das evidências encontradas na literatura pode-se constatar que as relações não-lineares entre fonte-filtro podem ser capazes de afetar a fonação humana, pois as dinâmicas não-lineares são capazes de desestabilizar a vibração das pregas vocais, uma vez que, a configuração do trato vocal interage com a oscilação das pregas vocais, restringindo assim o funcionamento das pregas vocais durante a fonação (LEE *et al.*, 2013). A interação entre a fonte e o trato vocal ocorre quando as regiões de frequência dos harmônicos cruzam com os formantes ocasionando modificações. Esse fato deve ocorrer devido à capacidade dos indivíduos controlarem a F0 e a intensidade com uma precisão considerável, realizando compensações e interações com a finalidade de manter a estabilidade da voz (MAXFIELD, PALAPARTHI e TITZE, 2016).

É possível compreender que através da análise formântica alguns estudos conseguiram verificar que alterações na fonte sonora interferem na produção da articulação supraglótica (DROMEY *et al.*, 2008; ROY *et al.*, 2009; JESUS *et al.*, 2015; OROZCO-ARROYAVE *et al.*, 2015), podendo ser comprovado também por meio de algum sistema de classificação (CORDEIRO *et al.*, 2016), assim como, por meio de análises acústicas espectrais (RADISH KUMAR, BHAT e MUKHI, 2011).

### 2.3 Análise formântica em indivíduos surdos

As medidas formânticas caracterizam-se como parâmetros de análise dos órgãos fonoarticulatórios na produção dos sons da fala. Estas medidas auxiliam num melhor prognóstico e no acompanhamento aos indivíduos com surdez, proporcionando a criação de tecnologias assistivas, parâmetros de análise pós-intervenção e diagnóstico diferencial entre diversos aparelhos de amplificação sonora.

Com a finalidade de posicionar corretamente as estruturas do trato na produção das vogais, estudiosos (LEME, MARCELINO e PRADO, 2016) utilizaram-se dos formantes para criar um suporte visual para surdos na tela de um computador, permitindo o equilíbrio entre a produção de fala destes indivíduos e as referências obtidas de indivíduos sem alteração, com a mesma idade e gênero. Os resultados constataram margens de tolerância e os valores de referência para as frequências dos formantes F1, F2 e F3, segundo gênero e faixa etária, para as sete vogais do português brasileiro (/ a /, / e / / ε /, / i /, / o /, / ɔ /, / u /). Desta forma, o adulto surdo poderá ter um suporte visual na tela do computador com imagens tridimensionais, para permitir a equalização entre a produção de sua fala e as referências obtidas de indivíduos da mesma idade e gênero.

Pesquisadores apontam (HOCEVAR-BOLTEZAR, BOLTEZAR e ZARGI, 2008) para o aumento do triângulo vocálico a partir de imprecisões articulatórias encontradas em crianças surdas e em indivíduos adultos com o uso do implante coclear. A pesquisa revela influências de F1 e F2 nestas diferentes faixas etárias, culminando na expansão do espaço das vogais de crianças, que foi claramente expressa como um aumento na área do triângulo vocálico.

Em outra perspectiva, pesquisadores compararam as frequências de formantes e o espaço das vogais em crianças com deficiência auditiva pré-linguística (implante coclear IC – 20 crianças e aparelho auditivo AA – 20 crianças) e crianças com audição normal (AN – 20

crianças). Cerca de 1 ano após o implante, os formantes mostraram-se mais próximos aos dos ouvintes AN, e houve a expansão do espaço das vogais ao comparar-se aos ouvintes com deficiência auditiva que utilizavam aparelhos auditivos. Provavelmente, essa condição é devido ao fato de que crianças com IC apresentam um impacto na articulação das vogais, interferindo na posição da língua, especialmente na dimensão frontal para conseguir diferenciação. Devido a falta de *feedback* auditivo, as crianças com perda auditiva tendem a sobrearticular e conseqüentemente aumentar os valores dos primeiros formantes. Neste estudo, os usuários de implante coclear, apresentaram valores F1 e F2 mais próximos dos valores obtidos pelas crianças com AN (JAFARI, YADEGARI e JALAIE, 2015).

As modificações da altura da mandíbula (F1) podem ser percebidas em indivíduos surdos e desta forma pode-se investigar a posição da mesma durante a produção das vogais. Jafari *et al.*, 2016 encontraram que as crianças com IC dependiam mais das mudanças de altura da mandíbula do que as crianças AN. É provável que todas as vogais tenham sido produzidas com mandíbulas mais abertas porque foram observados valores F1 mais altos no grupo IC. Na língua persa, a língua é posicionada em direção ao palato, e a boca é fechada para produzir vogal /i/. Portanto, as crianças com deficiência auditiva produzem tipicamente a vogal /i/ mais aberta do que as crianças normais, influenciados pelos ouvintes. Com relação à F2, as crianças com IC mostraram valores menores para as vogais anteriores e valores maiores para as vogais posteriores, devido à percepção reduzida dos formantes (F2), uma vez que, é difícil perceber a colocação da língua ao longo do eixo ântero-posterior na cavidade oral.

Pode-se concluir que os formantes são utilizados como valores de referência para a produção das vogais, permitindo proporcionar ao indivíduo surdo um referencial para a emissão do fonema nas frequências que tornam o som inteligível e distinguível por um sujeito ouvinte (LEME, MARCELINO e PRADO, 2016); As crianças com implante coclear (HOCEVAR-BOLTEZAR, BOLTEZAR e ZARGI, 2008; JAFARI, YADEGARI e JALAIE, 2015; JAFARI *et al.*, 2016) realizam mudanças na articulação dos formantes expandindo o espaço das vogais, tornando-as mais próximas a produção das vogais dos ouvintes com audição normal.

#### **2.4 Relação formântica e alterações patológicas e cirúrgicas do trato vocal**

As patologias e as cirurgias do trato vocal podem modificar a fisiologia dos órgãos fonoarticulatórios alterando o mecanismo motor da produção da fala. A partir desse estudo, foi encontrado que existem relações do posicionamento dos órgãos fonoarticulatórios durante a produção da fala na doença de Parkinson, Atrofia do Sistema Múltiplo, Paralisia Supranuclear Progressiva, Apnéia Obstrutiva do Sono, Mordida Aberta Anterior e em procedimentos cirúrgicos da adenoide, tonsilas palatinas, tireóide e septoplastia.

A doença de Parkinson ocasiona redução na articulação orofacial resultando na variação da transição do segundo formante da vogal. Existem evidências (SAPIR *et al.*, 2007) que postulam modificações nas frequências dos formantes após a intervenção fonoaudiológica, indicando melhora nos movimentos da língua, especialmente na direção ântero-posterior. Além da doença de Parkinson (DP), a Atrofia do Sistema Múltiplo (ASM) e a Paralisia Supranuclear Progressiva trazem prejuízos ao aparelho fonador humano, tais como articulação imprecisa, voz monótona, com redução na variação frequência fundamental. Uma pesquisa (SAXENA *et al.*, 2014) revela que as frequências de formantes são significativamente mais elevadas e possuem uma menor transição no segundo formante na fala dos indivíduos com DP, ASM e PSP, indicando volume reduzido do trato vocal e redução da flexibilidade da língua.

Em outra perspectiva, Benavides *et al.*, (2016) investigaram a influência da Apnéia Obstrutiva do sono (AOS) sobre a fala, correlacionando esta alteração às variáveis clínicas (idade, altura, perímetro cervical). Essa correlação é de grande relevância para a análise formântica, dado que, indivíduos que possuem apnéia do sono ocasionam modificações no posicionamento das estruturas oromiofuncionais, principalmente da língua. Os resultados desta investigação indicam claramente que existe apenas uma correlação pobre entre as frequências dos formantes e as variáveis clínicas na população de AOS estudada. Ao analisar os formantes, as correlações mais altas embora fracas, são encontradas com idade, altura e perímetro cervical. Essas correlações significativas podem interferir em características acústicas específicas relacionadas à AOS.

Com relação à mordida aberta anterior (MAA), existe comprovação (XUE *et al.*, 2011) que há modificação dos primeiros formantes na cavidade oral nos pacientes com má oclusão. No entanto, Ambrožič, Boltežar e Hren (2015) encontraram que o tratamento cirúrgico da MAA esquelética não modificou as frequências dos formantes. Nesse sentido, a análise dos formantes foi eficaz ao inferir que apesar da correção cirúrgica e da situação esquelética desfavorável do aparelho de fala, deve-se levar em consideração que o transtorno de articulação pré-existente não pode melhorar sem a reabilitação. Nessa mesma concepção, Ozbalkocet *et al.* (2014) investigaram as medidas formânticas em outra população, após a cirurgia da septoplastia, e foi observado que o procedimento de septoplastia não altera notavelmente as características acústicas das vogais, pois não apresentaram modificações significativas na produção sonora.

Já as cirurgias do seio endonasal e a tireoidectomia mostraram que existem modificações que podem ser verificadas através de medidas acústicas que trazem informações sobre o trato vocal supraglótico. Com relação à cirurgia do seio endonasal, houve diminuição das larguras de banda dos formantes no pós-operatório e os picos de energia dos formantes aumentam proporcionalmente (GOGNIASHVILI, JAPARIDZE e KHUJADZE, 2009). Já na tireoidectomia (HONG *et al.*, 2016), a média F1 da vogal /e/ diminuiu significativamente até 3 meses no pós-operatório (de 599,72 a 560,67), sendo justificada pela alteração na limitação da abertura da boca, com a posição da língua mais elevada.

Ao verificar o estudo que envolvia a cirurgia da retirada da adenóide (KARA, ÖZTÜRK e ÖZER, 2013) foi observado que há interferência nas frequências das ressonâncias, aumentando um componente de nasalidade na voz, alterando a forma e o tamanho da nasofaringe e do trato respiratório superior. Já para Lundeborget *et al.* (2012) as diferenças acústicas permanecem a mesma após a cirurgia da hipertrofia adenotonsilar. Eles investigaram 77 crianças perceptivamente e acusticamente, com um grupo controle de 57 crianças saudáveis. Após a análise acústica das vogais sustentadas, incluindo a frequência fundamental, o *jitter*, o *shimmer*, a proporção ruído-harmônico, e as frequências centrais dos formantes, observou-se que a qualidade da voz é modificada perceptualmente e acusticamente pela hipertrofia adenotonsilar, porém após a cirurgia, a voz é perceptualmente normalizada, mas as diferenças acústicas permanecem.

Desse modo, com as análises dos artigos científicos publicados nessa temática, entende-se que há correlações entre os formantes e as variáveis clínicas de idade, altura e perímetro cervical dos indivíduos que possuem Apnéia Obstrutiva do Sono, revelando características acústicas específicas (BENAVIDES *et al.*, 2016); Há um aumento nos valores dos formantes na produção das vogais em indivíduos com DP, ASM e PSP apresentando transições formânticas alteradas, indicando modificação nos articuladores dos sons da fala, com redução de abertura de boca e movimentação da língua (SAXENA *et al.*, 2014); Os indivíduos com DP submetidos ao tratamento vocal intensivo dirigido à intensidade vocal possuem melhora na articulação das vogais, evidenciado na análise formântica (SAPIR *et al.*, 2007); A mordida aberta anterior (AMBROŽIČ, BOLTEŽAR E HREN, 2015) e septoplastia (OZBAL KOC *et*

al., 2014) não trazem modificações significativas na produção dos sons após a cirurgia. Já a hipertrofia adenotonsilar (KARA, ÖZTÜRK E ÖZER, 2013), a tireioidectomia (HONG *et al.*, 2016) e a cirurgia do seio endonasal (GOGNIASHVILI, JAPARIDZE e KHUJADZE, 2009) modificam a posição dos órgãos fonoarticulatórios, constatados acusticamente, após a realização de cirurgia.

### 3 Considerações Finais

Os estudos apontam que os formantes das vogais orais norteiam e descrevem os diferentes aspectos da produção da voz e fala, uma vez que, demonstram a aplicabilidade dos formantes em revelar informações sobre o trato vocal humano, os aspectos patológicos que envolvem a produção de voz e fala como as alterações laríngeas, esqueléticas e neurológicas, as cirurgias nas cavidades orais e nasais, e por fim, a produção da fala em indivíduos surdos.

### REFERÊNCIAS

- AMBROŽIČ, M.K.; BOLTEŽAR, I. H.; HREN, N. I. Changes of some functional speech disorders after surgical correction of skeletal anterior open bite. **Int J Rehabil Res.**, v. 38, n. 3, p. 246-52, Sep 2015.
- BAER, T.; ALFONSO, P.T. Dynamics of vowel articulation. **Language and speech**, vol. 25, part 2, 1982.
- BECK, J.M. The vocal tract as resonator. In: HEWLETT, N.; JANET, J. M. **Introduction to the science of phonetics**. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2006. p. 239-306.
- BENAVIDES, A.M.; MURILLO, J.L.B.; POZO, R.F.; CUADROS, F.E.; TOLEDANO, D.T.; ALCÁZAR-RAMÍREZ, J.D.; GÓMEZ, L.A.H. Formant Frequencies and Bandwidths in Relation to Clinical Variables in an Obstructive Sleep Apnea Population. **J Voz**, v. 30, n. 1, p. 21-9, Jan 2016.
- BROD, L.E.M.; SEARA, I.C. Caracterização acústica de vogais orais na fala infantil: o falar florianopolitano. **Letras de Hoje**, Porto Alegre, v. 49, n. 1, p. 95-105, jan./mar. 2014.
- CARTEI, V.; COWLES, H.W.; REBY, D. Spontaneous voice gender imitation abilities in adult speakers. **PLoS One**. v. 7, n. 2, 2012.
- CHIBA, T.; KAJIYAMA, M. **The Vowel: Its Nature and Structure**. p. 115–154. 1941.
- CORDEIRO, H.; FONSECA, J.; GUIMARÃES, I.; MENESES, C. Hierarchical Classification and System Combination for Automatically Identifying Physiological and Neuromuscular Laryngeal Pathologies. **J voice**, 2016.
- COSTA, A.A. Abordagens Linguísticas. In: MARTELOTTA, M.E. et al (org.). **Manual de Linguística**. Ed. Contexto. São Paulo, 2008. p. 111-126.
- DAGLI, M.; SATI, I.; ACAR, A.; STONE, R. E. Jr; DURSUN, G.; ERYILMAZ, A. Mutational falsetto: intervention outcomes in 45 patients. **J Laryngol Otol**, v. 122, n. 3, p. 277-81, Mar 2008.
- DROMEY, C.; NISSEN, S. L.; ROY, N.; MERRILL, R. M. Articulatory changes following treatment of muscle tension dysphonia: preliminary acoustic evidence. **J Speech Lang Hear Res**, v. 51, n. 1, p. 196-208, 2008.
- FANT, G. **Acoustic Theory of Speech Production**. 2ª ed. Paris: Mouton, 1970.
- FREITAS, J.; TEIXEIRA, A.; SILVA, S.; OLIVEIRA, C.; DIAS, M.S. Detecting Nasal Vowels in Speech Interfaces Based on Surface Electromyography. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, 2015.

- GAMA, A.C.C.; BEHLAU, M.S. Estudo da constância de medidas acústicas de vogais prolongadas e consecutivas em mulheres sem queixa de voz e em mulheres com disfonia. **Rev Soc BrasFonoaudiol**, v. 14, n. 1, p. 8-14, 2009.
- GELFER, M.P.; VAN DONG, B.R. A preliminary study on the use of vocal function exercises to improve voice in male-to-female transgender clients. **J Voice**, v. 27, n. 3, p. 321-34, May 2013.
- GOGNIASHVILI, G.; JAPARIDZE, S.H.; KHUJADZE, M. Influence of acoustic rhinometry, rhinoresistometry and endoscopic sinus surgery on voice quality. **Georgian Med News**, v. 17, n. 6, p. 30-4., Nov 2009.
- GONÇALVES, M.I.R.; PONTES, P.A.L.; VIEIRA, V.P.; PONTES, A.A.L.; CURCIO, D.; BIASE, N.G. Função de transferência das vogais orais do Português brasileiro: análise acústica comparativa. **Braz J Otorhinolaryngol**, v. 75, n. 5, p. 680-4, 2009.
- GREPL, M.; FURST, T.; PESAK, J. The F1-F2 vowel chart for Czech whispered vowels a, e, i, o, u. **Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub**, v. 151, n. 2, p. 353-6, Dec 2007.
- HOCEVAR-BOLTEZAR, I.; BOLTEZAR, M.; ZARGI, M. The influence of cochlear implantation on vowel articulation. **J Acoust Soc Am**, v. 123, n. 6, p. 4466-81, Jun 2008.
- HOCEVAR-BOLTEZAR, I.; BOLTEZAR, M.; ZARGI, M. The influence of cochlear implantation on vowel articulation. **J Acoust Soc Am**, v. 123, n. 6, p. 4466-81, Jun 2008.
- HONG, K.H.; YANG, W.S.; PARK, M.J.; SEOK OH, J.; HAN, B.H. Changes in Oral Vowel Sounds and Hyoid Bone Movement After Thyroidectomy. **Clinical and Experimental Otorhinolaryngology**, June 2016.
- JAFARI, N.; DRINNAN, M.; MOHAMADI, R.; YADEGARI, F.; NOURBAKHSI, M.; TORABINEZHAD, F. A Comparison of Persian Vowel Production in Hearing-Impaired Children Using a Cochlear Implant and Normal-Hearing Children. **J Voz**, v. 30, n. 3, p. 340-4, May 2016.
- JAFARI, N.; YADEGARI, F.; JALAIE, S. Acoustic Analysis of Persian Vowels in Cochlear Implant Users: A Comparison With Hearing-impaired Children Using Hearing Aid and Normal-hearing Children. **Journal of Voice**, 2015.
- JESUS, L.M.T.; MARTINEZ, J.; HALL, A.; FERREIRA, A. **Acoustic Correlates of Compensatory Adjustments to the Glottic and Supraglottic Structures in Patients with Unilateral Vocal Fold Paralysis**. **BioMed Research International**, 2015.
- KARA, M.; ÖZTÜRK, K.; ÖZER, B. An evaluation of the effects of adenoidectomy on voice and speech function in children. **Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg**, v. 23, n. 4, p. 225-31. Aug 2013.
- LADEFOGED, P. **Vowels and Consonants: An Introduction to the Sounds of Languages**. Oxford: Blackwell Publishers, 2001.
- LEE, J. W.; KANG, H. G.; CHOI, J.Y.; SON, Y. I. An Investigation of Vocal Tract Characteristics for Acoustic Discrimination of Pathological Voices. **BioMed Research International**. 2013.
- LEME, A. L. M. ; MARCELINO, M. A.; PRADO, P. P. L. **Margins of tolerance and reference values for the formant vowels for use in voice therapy for the deaf in commercial computer**. **CoDAS**, v. 28, n. 5, São Paulo, Sept./Oct. 2016.
- LUNDEBORG, I.; HULTCRANTZ, E.; ERICSSON, E.; MCALLISTER, A. Acoustic and perceptual aspects of vocal function in children with adenotonsillar hypertrophy-effects of surgery. **J Voice**, v. 26, n. 4, p. 480-7, Jul 2012.
- MASAPOLLO, M.; POLKA, L.; MÉNARD, L. When infants talk, infants listen: pre-babbling infants prefer listening to speech with infant vocal properties. **Dev Sci**, v. 19, n. 2, p. 318-28, Mar 2016.

- MAXFIELD, L.; PALAPARTHI, A.; TITZE, I. New Evidence That Nonlinear Source-Filter Coupling Affects Harmonic Intensity and *f<sub>0</sub>* Stability During Instances of Harmonics Crossing Formants. **Journal of Voice**, 2016.
- MUNHALL, K. G.; MACDONALD, E. N.; BYRNE, S. K.; JOHNSRUDE, I. Talkers alter vowel production in response to real-time formant perturbation even when instructed not to compensate. **J Acoust Soc Am**, v. 125, n. 1, p. 384-90, Jan 2009.
- MUHAMMAD, G.; MESALLAM, T. A.; MALKI, K. H.; FARAHAT, M.; ALSULAIMAN, M.; BUKHARI, M. Formant analysis in dysphonic patients and automatic Arabic digit speech recognition. **Biomed Eng Online**. v.10, n. 41, May 2011.
- OROZCO-ARROYAVE, J. R.; BELALCAZAR-BOLAÑOS, E.A.; ARIAS-LONDOÑO, J. D.; VARGAS-BONILLA, J. F.; SKODDA, S.; RUSZ, J.; DAQROUQ, K.; HÖNIG, F.; NÖTH, E. Characterization Methods for the Detection of Multiple Voice Disorders: Neurological, Functional, and Laryngeal Diseases. **IEEE J Biomed Health Inform**, v. 19, n. 6, p. 1820-8, Nov 2015.
- O'SHAUGHNESSY, D. Invited paper: Automatic speech recognition: History, methods and challenges. **Pattern Recognition**. v. 41, p. 2965–2979, 2008.
- OZBAL KOC, E.A.; KOC, B.; ERCAN, I.; KOC AK, I.; TADIHAN, E.; TURGUT, S. Effects of septoplasty on speech and voice. **J Voice**, v. 28, n. 3, May 2014.
- PARSONS, T.W. **Voice and speech processing**. New York (NY): McGraw-Hill, 1986.
- PISANSKI, K.; MORA, E. C.; PISANSKI, A.; REBY, D.; SOROKOWSKI, P.; FRACKOWIAK, T.; FEINBERG, D. R. Volitional exaggeration of body size through fundamental and formant frequency modulation in humans. **Scientific Reports**, 6:34389. DOI: 10.1038/srep34389. 2016.
- RADISH KUMAR, B.; BHAT, J.S.; MUKHI, P. Vowel harmonic amplitude differences in persons with vocal nodules. **J Voice**, v. 25, n. 5, p. 559-6, Sep 2011.
- RAPHAEL, L. J.; BELL-BERTI, F.; COLLIER, R.; BAER, T. Tongue position in rounded and unrounded front vowel pairs. **Language and speech**, vol. 22, part 1, 1979.
- ROY, N.; NISSEN, S.L.; DROMEY, C.; SAPIR, S. Articulatory changes in muscle tension dysphonia: evidence of vowel space expansion following manual circumlaryngeal therapy. **J Commun Disord**, v. 42, n. 2, p.124-35, Mar 2009.
- SAPIR, S.; SPIELMAN, J. L.; RAMIG, L. O.; STORY, B. H.; FOX, C. Effects of intensive voice treatment (the Lee Silverman Voice Treatment [LSVT]) on vowel articulation in dysarthric individuals with idiopathic Parkinson disease: acoustic and perceptual findings. **J Speech Lang Hear Res**. V. 50, n. 6, p. 1652, Dec 2007.
- SAXENA, M.; BEHARI, M.; KUMARAN, S. S.; GOYAL, V.; NARANG, V. Assessing speech dysfunction using BOLD and acoustic analysis in parkinsonism. **Parkinsonism Relat Disord**, v. 20, n. 8, p. 855-61, Aug 2014.
- STEMPLE, J. **Clinical Voice Pathology: Theory and Management**. Columbus, OH: Merrill; 1984.
- STETSON, R. **Motor Phonetics**. Extrait des Archives Néerlandais de Phonétique Expérimentale. 1928.
- SVICERO, M.A.F. **Caracterização acústica e de imagens de ultrassonografia das vogais orais do Português Brasileiro**. 2009. 68 fls. Dissertação (Mestrado em Língua Aplicada e Estudos da Linguagem – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.
- TROUBETZKOY, N. S. **Zur allgemeinen theorie der phonologischen vokal systeme**. Travaux du Cercle Linguistique de Prague, v. 1, n. 1, 1929.
- VALENÇA, E.; SALVATORI, R.; SOUZA, A.H.; OLIVEIRA-NETO, L.A.; OLIVEIRA, A.H.; GONÇALVES, M.I.; OLIVEIRA, C.R.; D'ÁVILA, J.S.; MELO, V.A.; CARVALHO, S.; BARRETO, V.M.; MELO, E.V.; AGUIAR-OLIVEIRA, M.H. Voice Formants in

Individuals With Congenital, Isolated, Lifetime Growth Hormone Deficiency. **J Voz**, v. 30, n. 3, p. 281-6, May 2016.

VORPERIAN, H. K.; KENT, R. D. **Vowel acoustic space development in children: a synthesis of acoustic and anatomic data.** *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, v. 50, p. 1510–1545, 2007.

VORPERIAN, H. K.; KENT, R. D.; GENTRY, L.R.; YANDELL, B.S. Magnetic resonance imaging procedures to study the concurrent anatomic development of vocal tract structures: preliminary results. *Int J PediatrOtorhinolaryngol.* v. 49, p. 197–206, 1999.

WAN, P.; HUANG, Z.; ZHENG, Q. Acoustic elementary research on voice resonance of Chinese population. **Lin Chung Er Bi Yan HouTou Jing Wai Ke Za Zhi**, v. 24, n. 6, p. 250-2, Mar 2010.

XUE, S.A. *et al.* Effects of Class III Malocclusion on Young Male Adults' Vocal Tract. Development: A Pilot Study. **Journal of Oral Maxillo fac Surg**, v. 69, p.845-852, 2011.

Submetido em 27/04/2017

Aceito em 02/06/2017