

Lídia Maurício da Silva¹
Aline Mara de Oliveira Vassoler^{1,2}
Viviane Cristina de Castro Marino¹
Larissa Cristina Berti¹

Descritores

Medida da Produção de Fala
Ultrassonografia
Fonética

Keywords

Measures of Speech Production
Ultrasound
Phonetics

Endereço para correspondência:

Lídia Maurício da Silva
Universidade Estadual Paulista –
UNESP
R. Oscar Muniz Sampaio, 48, Marília
(SP), Brasil, CEP: 17525-070.
E-mail: lidia.mauricio@hotmail.com

Recebido em: Dezembro 24, 2016

Aceito em: Abril 09, 2017

Análise ultrassonográfica quantitativa do movimento da língua em 14 fonemas do Português Brasileiro

Quantitative analysis of tongue movement in 14 phonemes of Brazilian Portuguese

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo foi caracterizar o padrão ultrassonográfico do movimento de língua em 14 fonemas consonantais do Português Brasileiro (doravante PB), buscando identificar e descrever que parâmetros ultrassonográficos poderiam apreender a diferença de modo e ponto de articulação entre esses fonemas. **Método:** Foram selecionados 20 indivíduos com produção típica de fala, de 20 a 30 anos, de ambos os gêneros. Os estímulos selecionados contemplaram os 14 fonemas consonantais linguais do PB no contexto da vogal [a]. Os dados foram coletados e analisados com o uso do ultrassom e dos softwares AAA (*Articulate Assistant Advanced*) e Ultra-CATS (*The Ultrasonographic Contour Analyzer for Tongue Surfaces*). Três índices ultrassonográficos (US) foram utilizados para análise de dados: índice de anterioridade (IA), média global (MG) e índice de anterioridade relativa (IAR). Os dados foram submetidos à análise estatística. **Resultados:** A ANOVA mostrou efeito significativo para os índices IAR e MG, sendo que o IAR diferenciou os fonemas quanto ao ponto (alveolar, pré-palatal, palatal e velar) e modo de articulação (fricativa, nasal e oclusiva) e o MG diferenciou os fonemas somente quanto ao ponto de articulação (alveolar, pré-palatal e velar). **Conclusão:** Não houve um único índice US que pudesse diferenciar todos os pontos e modos de articulação simultaneamente. A aplicação clínica para análise das alterações da produção da fala requer o uso de pelo menos dois índices ultrassonográficos: um para distinguir ponto e outro para distinguir o modo de articulação.

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study was to characterize the ultrasonographic pattern of tongue movement in 14 consonant phonemes of Brazilian Portuguese (BP), seeking to identify and describe ultrasonographic parameters that could grasp the difference of manner and place of articulation among these phonemes. **Methods:** Were selected 20 individuals with typical speech production, aged between 20-30 years of both genders. The selected stimuli included the 14 lingual consonant BP phonemes in the intervocalic context of [A]. Data were collected and analyzed with the use of ultrasound, the AAA (*Articulate Assistant Advanced*) and the Ultra-CATS (*The Ultrasonographic Contour Analyzer for Tongue Surfaces*) softwares. Three ultrasound parameters were used for data analysis: anteriority index (AI), global average of tongue height (GA) and relative anteriority index (RAI). Data were statistically analyzed. **Results:** ANOVA showed a significant effect on the parameters and the RAI differentiated phonemes as the place (alveolar, pre-palatal, palatal and velar) and manner of articulation (fricative, nasal and occlusive); GA differentiate phonemes only as the place of articulation (alveolar, pre-palatal and velar). **Conclusion:** There was no US parameters that could differentiate every place and manner of articulation simultaneously. The clinical application for analysis of speech production disorders require the use of at least two ultrasound parameters: one to distinguish the place and another to distinguish the articulation manner.

Trabalho realizado no Departamento de Fonoaudiologia, Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP - Marília (SP), Brasil.

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP - Marília (SP), Brasil.

² Fundação Educacional de Fernandópolis – FEF - Fernandópolis (SP), Brasil.

Fonte de financiamento: CAPES.

Conflito de Interesse: nada a declarar.

INTRODUÇÃO

A produção dos sons da fala é uma tarefa altamente complexa que, para ser resgatada auditivamente como sendo típica, exige a interação de diferentes estruturas do trato vocal de forma coordenada, organizada e planejada⁽¹⁾.

Apesar de pesquisadores, ao longo dos anos, já terem descrito minuciosamente o processo de produção dos sons da fala a partir da análise de oitiva, os avanços tecnológicos trouxeram grandes benefícios para essas descrições, pois não somente possibilitou a incorporação de medidas quantitativas como também possibilitou as descrições de fatos fônicos imperceptíveis ao ouvido humano⁽²⁾.

Dentre as tecnologias utilizadas atualmente, a análise acústica tem ocupado um importante espaço nos estudos na área de produção de fala. Verifica-se uma vasta quantidade de estudos que utilizam essa ferramenta para descrever a produção típica em adultos⁽³⁾, a produção típica em crianças⁽⁴⁾, além da produção atípica em diferentes grupos clínicos⁽⁵⁾.

Não obstante a grande contribuição da análise acústica para a descrição dos sons da fala, estudos articulatórios são necessários, na medida em que a primeira apenas infere o movimento articulatório que gerou.

A avaliação dos movimentos articulatórios envolvidos na produção dos sons da fala pode ser feita por meio de diversos instrumentos, tais como: eletropalatografia, microrraio X, ultrassom, articulografia, entre outros. No entanto, dentre as metodologias de análise, a ultrassonografia de língua se destaca como um instrumento de maior custo/benefício⁽⁶⁾, considerando custo do equipamento, portabilidade, segurança e estruturas visualizadas.

Embora sejam encontrados na literatura muitos estudos com uso do ultrassom de língua, o uso desse instrumento como metodologia de análise da produção dos sons de fala é, em sua maioria, realizado internacionalmente desde a década de 60⁽⁷⁻⁹⁾. Esses estudos contemplam tanto uma descrição qualitativa, quanto uma descrição quantitativa de padrões da produção da fala em indivíduos adultos^(10,11), em crianças típicas^(12,13) e em diferentes grupos clínicos, tais como: indivíduos deficientes auditivos^(14,15), crianças com apraxia de fala^(16,17), indivíduos glossectomizados^(18,19) e indivíduos com paresia de língua⁽²⁰⁾.

Nos estudos citados que objetivaram analisar a produção típica, na fala infantil e/ou adulta⁽¹⁰⁻¹³⁾, verifica-se um número restrito de indivíduos (variando de 6 a 10), utilizando tanto parâmetros qualitativos quanto quantitativos para descrever a movimentação de língua realizada na produção de diferentes sons da fala (/p/; /t/; /k/; /f/; /s/; /ʃ/; /l/ e /r/). Já os estudos que objetivaram analisar produção de fala em diferentes grupos clínicos, em sua maioria, utilizaram o ultrassom para fins terapêuticos, como instrumento de *feedback*.

Na literatura internacional, encontram-se descritos alguns índices ultrassonográficos para diferenciar a produção dos fonemas linguais do inglês, tais como: MCI (*modified curvature index*)⁽¹⁰⁾, *Concavity*, *Anteriority*, *Asymmetry*⁽¹⁸⁾, entre outros^(11,13,20,21). Entretanto, nem todos os índices mostram-se sensíveis para apreender a diferença na produção típica, não sendo utilizado, até o presente momento, para a aplicação clínica.

Diferentemente, no Brasil, o uso dessa metodologia ainda é muito recente e, conseqüentemente, há poucos estudos na área^(1,22,23). Os estudos existentes descrevem, a partir de uma análise qualitativa, os padrões do movimento da língua em indivíduos adultos (variando de 1 a 5) e em apenas alguns fonemas, envolvendo apenas as classes das líquidas e das fricativas.

Pode-se, contudo, depreender da literatura consultada que, pelo fato de os estudos de análise da produção dos sons da fala com o uso do ultrassom no Brasil ainda serem muito recentes, não há ainda uma descrição pormenorizada de um padrão normativo para os segmentos do PB. Nos estudos existentes, o método de análise é essencialmente qualitativo e o número de indivíduos analisados também é restrito.

Pelo fato de a ultrassonografia da língua (US) apresentar um grande potencial para aplicação clínica, emerge a necessidade de uma descrição quantitativa detalhada a fim de apreender quais seriam os padrões considerados típicos, bem como as possíveis variações dentro da normalidade, propiciando, posteriormente, a diferenciação entre os padrões variáveis dos padrões atípicos. Assim, uma proposta de descrição articulatória dessa natureza se justifica na medida em que: (1) fornecerá dados articulatórios quantitativos em relação à produção de 14 fonemas consonantais do PB; (2) propiciará parâmetros para análises comparativas posteriores com grupos clínicos; (3) poderá subsidiar explicações sobre processos fonológicos aplicados no PB.

O presente estudo, portanto, visa caracterizar o movimento de língua em 14 fonemas consonantais do PB por meio de parâmetros ultrassonográficos quantitativos, buscando identificar e descrever quais desses parâmetros poderiam apreender a diferença de modo e ponto de articulação entre os fonemas linguais na produção típica da fala. Não será buscada a confirmação de nenhuma hipótese específica, uma vez que o presente estudo trará os primeiros *insights* a respeito da quantificação do movimento da língua durante a produção de 14 fonemas consonantais do PB.

MÉTODO

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Faculdade de Filosofia e Ciências, Marília, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, nº 1.268.673/2015. Todos os indivíduos incluídos na pesquisa tiveram ciência e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) que lhes foi apresentado.

Casística

Este foi um estudo clínico, quantitativo e prospectivo. A amostra utilizada foi definida por conveniência.

Participaram dessa pesquisa 20 indivíduos, falantes do Português Brasileiro, monolíngues, com produção típica de fala na faixa etária de 20 a 30 anos de idade, de ambos os gêneros (sendo 10 homens e 10 mulheres). Os participantes foram recrutados em uma clínica escola da cidade de Marília. A escolha de uma população adulta e de ambos os gêneros para o trabalho se deve, primeiramente, à inexistência de estudos que determinem parâmetros normativos para quantificar os movimentos de língua para consoantes do PB; e, secundariamente, a uma preocupação

em contemplar valores ultrassonográficos que contemplassem as variabilidades existentes entre os indivíduos, sobretudo quanto ao gênero.

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: idade entre 20 e 30 anos; ausência de alterações intelectuais e neurológicas; ausência de alterações auditivas; além de ausência de alterações na produção dos sons da fala. Um *Checklist* foi aplicado em cada indivíduo selecionado, a fim de rastrear se cumpriam com os critérios de inclusão propostos no estudo.

De um total de 26 indivíduos recrutados para coleta de dados, um foi dispensado da coleta por utilizar aparelho ortodôntico e cinco foram excluídos pela difícil visualização da superfície da língua em toda a sua extensão (da ponta ao dorso da língua), por meio do US.

Procedimento experimental

Equipamento

A coleta de dados foi realizada com o uso de um ultrassom portátil, modelo DP 6600, contendo transdutor acoplado a um computador, microfone unidirecional e estabilizador de cabeça. Os dados foram capturados e analisados pelos softwares AAA⁽²⁴⁾ (*Articulate Assistant Advanced*) e Ultra-CATS⁽²⁵⁾ (*The Ultrasonographic Contour Analyzer for Tongue Surfaces*). Os sinais acústicos e de imagem foram registrados simultaneamente com o uso do software AAA aliado a um sincronizador que permite sincronização entre as imagens e o sinal acústico. As imagens de US foram adquiridas com uma frequência de imagem de 6.5 MHz, 120° de campo de imagem e 29.97 Hz de taxa de amostragem.

Estímulos

Foram privilegiadas as ocorrências dos 14 fonemas consonantais linguais do PB (/l/, /k/, /r/, /n/, /t/, /d/, /k/, /g/, /s/, /ʃ/, /z/ e /z/) em contexto da vogal /a/.

Na presente pesquisa, foram utilizados estímulos isolados, pois estes proporcionam melhor sincronização entre a imagem e o sinal acústico, propiciando assim maior acurácia dos dados. A tarefa de produção isolada permite estudar o alvo em detalhe, portanto, os estímulos foram 14 logatomas monossilábicos, que foram construídos a partir do modelo da fonética internacional IPA (*International Phonetic Alphabet*).

Desta forma, a lista do inventário de sons analisados foi a seguinte: (/a'la /, /a'ka/, /a'ra/, /a'ra/, /a'na/, /a'na/, /a'ta/, /a'da/, /a'ka/, /a'ga/, /a'sa/, /a'fa/, /a'za/ e /a'za/).

Procedimento de gravação

As gravações foram realizadas com cada indivíduo separadamente, em uma sala tratada acusticamente. O indivíduo foi posicionado de forma ereta em uma cadeira em frente à tela de um computador. Foi utilizado um estabilizador de cabeça⁽²⁴⁾ para não somente fixar o transdutor do ultrassom a 90° em relação à região submandibular dos participantes como também para evitar movimentos indesejados de cabeça durante o período

de gravação. O posicionamento do transdutor a 90° permite a visualização da língua em posição sagital.

Com o uso do software AAA, foram apresentados graficamente na tela do computador todos os estímulos do experimento de forma aleatorizada. Antes de iniciar a avaliação propriamente dita, a avaliadora realizou um treino com os indivíduos, no sentido de garantir a compreensão da tarefa a ser executada. Foram solicitadas três repetições de cada estímulo, computando um total de 840 arquivos (20 indivíduos × 3 repetições × 14 segmentos consonantais × 1 contexto vocálico = 840 arquivos).

Tratamento dos dados

Para cada uma das gravações, foi selecionado o *frame*ⁱ correspondente à amplitude máxima de constrição da língua para a produção do fonema (Figura 1), em que a superfície da língua pode ser visualizada em toda a sua extensão, desde sua porção anterior até a sua porção posterior.

Em cada frame selecionado, foi realizado um traçado do contorno da língua com uso do software Ultra-CATS. A avaliadora realizou o traçado com o uso da ferramenta de desenho, de forma cautelosa, a fim de obter um traço firme e valorizar as informações contidas na imagem, atentando-se para toda a extensão do contorno da superfície da língua, de sua ponta ao dorso. O software utilizado fornece informações numéricas mensurando pontos na superfície da língua com um *polar grid*, que traça 35 linhas dispostas em forma de leque. As linhas traçadas (*fans*) correspondem aos ângulos de -85° a +85°, no intervalo de 5°, como representado na Figura 1. O programa salva as mensurações em arquivos de formato *text file*, possibilitando, posteriormente, a extração e análise dos dados. Para análise, foram considerados os dados correspondentes às *fans* de -60° a +60°, pois os ângulos mais extremos não continham informações, ou seja, seus valores eram nulos. Os valores nulos ocorrem uma vez que o comprimento da língua e o posicionamento do transdutor variam entre os indivíduos. Assim sendo, após a obtenção dos valores, os dados foram alinhados a partir do ângulo 0°.

Parâmetros ultrassonográficos

Baseando-se em um estudo⁽¹⁸⁾, adotou-se um parâmetro ultrassonográfico designado de índice de anterioridade (IA) e outros dois parâmetros foram desenvolvidos, a saber: média global da altura da língua (MG) e índice de anterioridade relativo (IAR).

O índice de anterioridade corresponde à multiplicação dos valores extraídos em milímetros (mm) para cada ponto mensurado com um número ponderado correspondente, conforme representado na Equação 1.

$$\left\{ \frac{12x_a + 11x_b + 10x_c (\dots) + 0 + x_m + x_n + x_o (\dots) + 12x_y}{12x_a + 11x_b + 10x_c (\dots) + 12x_y} \right\} \quad (1)$$

Onde a distância percorrida entre x_a e x_y corresponde à altura da língua em diferentes valores fornecidos pelas *fans*.

ⁱ Frame refere-se a cada imagem que compõe o vídeo de ultrassom.

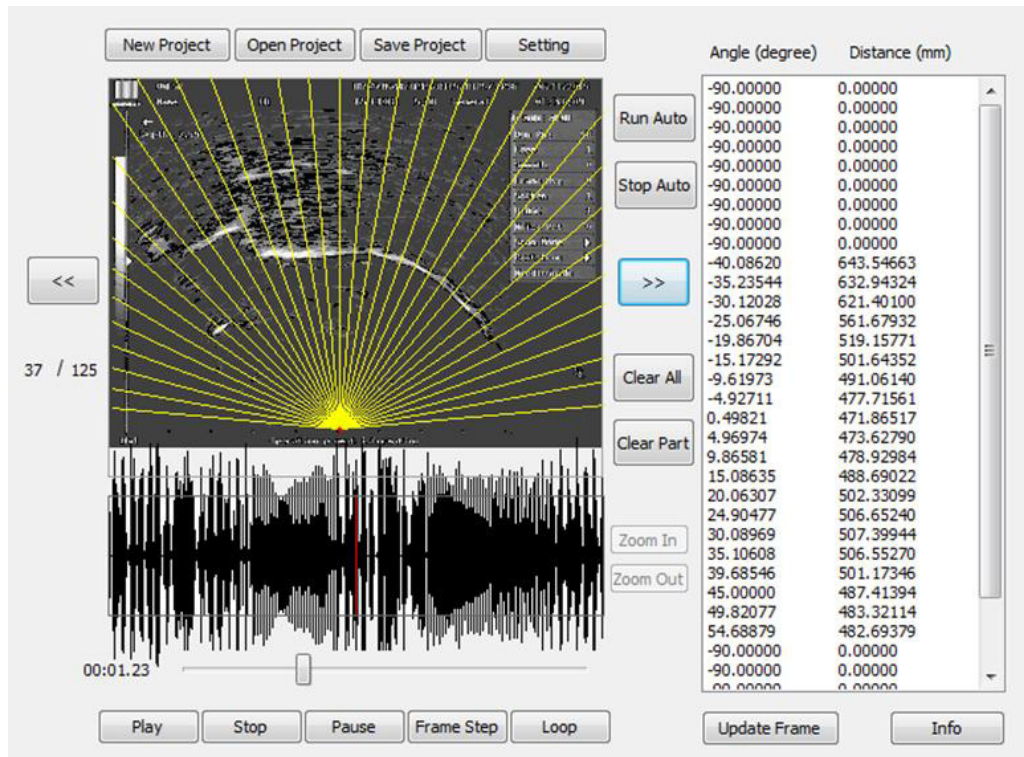


Figura 1. Ilustração dos valores obtidos no *software Ultra-CATS*, relativo a um traçado de contorno da língua em posição sagital. Os feixes sob a imagem de língua representam as *fans* correspondentes aos ângulos de -85° a $+85^\circ$

Portanto, com os valores referentes à porção anterior da língua multiplicada por um incremento, valores mais altos de IA significam que a porção anterior da língua apresentou maior movimento quando comparado à porção média e posterior, enquanto menores valores de IA sugerem maior movimento para a porção posterior da língua.

A média global da altura da língua (MG) refere-se à média dos valores válidos para as *fans* entre -60° e 60° . O intervalo dos ângulos estipulado para análise é suficiente para reportar informações globais quanto à superfície da língua em toda a sua extensão para os diferentes indivíduos. Maiores valores de MG significam que as porções média e posterior da língua apresentaram maiores movimentações quando comparadas à porção anterior da língua.

O índice de anterioridade relativo (IAR) corresponde à diferença entre o valor médio da média global da altura da língua e o valor médio da altura da porção anterior da língua (correspondente à média dos ângulos -60° a -15°). Maiores valores de IAR significam que a porção anterior/média da língua apresentou maior movimento comparativamente à porção posterior da língua, enquanto menores valores de IAR sugerem que houve maior movimento da porção posterior da língua.

Análise estatística

Foi realizado um tratamento estatístico descritivo (média e desvio padrão) e inferencial dos dados com o uso do *software IBM SPSS Statistics* (versão 2.2). Para a análise inferencial, adotou-se o teste ANOVA *One-Way*, considerando-se como variáveis dependentes os três parâmetros US e como variáveis

independentes o ponto com quatro níveis (alveolar, pré-palatal, palatal e velar) e o modo de articulação com cinco classes consonantais (oclusiva, fricativa, nasal e líquidas lateral e não lateral). O teste Bonferroni, com análise *Post-Hoc*, também foi conduzido para verificar qual ou quais pontos e modos de articulação se diferenciaram entre si. Estabeleceu-se um nível de significância de $\alpha \leq 0,05$ e um intervalo de confiança de 95%.

RESULTADOS

Nas Tabelas 1 e 2, são apresentados os valores estimados em milímetros, (considerando um intervalo de confiança de 95%) para os três parâmetros analisados (índice de anterioridade, média global e índice de anterioridade relativa) em função do ponto e do modo de articulação dos fonemas analisados.

Índice de anterioridade

Quanto ao índice de anterioridade (IA), a ANOVA não mostrou nenhum efeito de significância tanto para o ponto de articulação ($F(3,279)=0,22$, $p>0,88$) quanto para o modo de articulação ($F(4,279)=0,54$, $p>0,70$). Isso significa dizer que o IA não foi sensível para diferenciar nenhum ponto e nenhum modo de articulação entre si.

Média global da altura da língua

Considerando o parâmetro US relativo à média global da altura da língua, a ANOVA mostrou um efeito significativo para o ponto de articulação ($F(3,279)=4,44$, $p>0,00$), mas não para

o modo de articulação ($F(4,279)=0,825, p=0,51$). O teste *Post Hoc* de comparação por pares demonstrou diferenças apenas entre a média global da altura das alveolares e das pré-palatais com a média global da altura das velares, com valores obtidos na seguinte ordem decrescente: velar, palatal, pré-palatal e alveolar (conforme apresentado no Quadro 1).

Índice de anterioridade relativo (IAR)

Para o IAR, que corresponde à diferença entre o valor médio da média global da altura da língua e o valor médio da altura da porção anterior da língua (correspondente à média dos ângulos -60° a -15°) houve um efeito significante tanto para o ponto

($F(3,279)=44,84, p>0,00$), quanto para o modo de articulação ($F(4,279)=88,756, p>0,02$).

O teste *Post Hoc* na comparação de pares para o ponto de articulação mostrou diferença para todos os pontos de articulação entre si, exceto na comparação entre as pré-palatais e palatais. A tendência observada para os valores do IAR foi maior para as palatais/pré-palatais, seguidas das alveolares e, por último, das velares (conforme apresentado no Quadro 2).

Quanto ao modo de articulação, o teste *Post Hoc* na comparação por pares mostrou que apenas as nasais apresentaram valores superiores em relação às oclusivas e às fricativas (conforme apresentado no Quadro 3).

Tabela 1. Estatística descritiva (média (X) e desvio padrão (\pm)) para os parâmetros: índice de anterioridade, média global e índice de anterioridade relativa em função do ponto de articulação

Ponto de articulação	Índice de anterioridade (IA) -mm		Média global da altura da altura da língua (MG) -mm		Índice de anterioridade relativo (IAR) -mm	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Alveolar	2,49	0,58	69,17	4,82	5,10	4,17
Pré-palatal	2,48	0,67	69,84	4,55	10,05	4,64
Palatal	2,58	0,70	70,67	5,62	12,42	5,20
Velar	2,49	0,72	71,89	5,11	3,26	4,94
Total	2,50	0,64	70,06	5,06	6,46	5,54

Fonte: Estatística descritiva. mm = milímetro

Tabela 2. Estatística descritiva (média (x) e desvio padrão (\pm)) para os parâmetros: índice de anterioridade, média global e índice de anterioridade relativa em função do modo de articulação

Modo de articulação	Índice de anterioridade (IA) -mm		Média global da altura da altura da língua (MG) -mm		Índice de anterioridade relativo (IAR) -mm	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Fricativa	2,54	0,63	69,72	4,56	5,90	5,57
Líquida lateral	2,45	0,60	70,19	4,69	6,89	6,98
Líquida não lateral	2,36	0,57	68,99	5,03	6,27	3,93
Nasal	2,57	0,63	69,79	5,99	9,05	5,95
Oclusiva	2,48	0,69	70,82	5,34	5,69	4,44
Total	2,50	0,64	70,06	5,06	6,46	5,54

Fonte: Estatística descritiva. mm = milímetro

Quadro 1. Teste *Post Hoc* de comparação por pares para o parâmetro média global do deslocamento da língua em função de ponto

Comparação entre pontos de articulação	Alveolar	Pré-palatal	Palatal	Velar
Alveolar	-	0,44	0,09	0,00*
Pré-palatal	0,44	-	0,45	0,04*
Palatal	0,09	0,45	-	0,23
Velar	0,00*	0,23	0,04*	-

*($p>0,05$). Teste *Post- Hoc* de comparação por pares

Quadro 2. Teste *Post Hoc* de comparação por pares para o parâmetro índice de anterioridade relativa em função de ponto

Comparação entre pontos de articulação	Alveolar	Pré-palatal	Palatal	Velar
Alveolar	-	0,00*	0,00*	0,00*
Pré-palatal	0,00*	-	0,02*	0,00*
Palatal	0,00*	0,02*	-	0,00*
Velar	0,00*	0,00*	0,00*	-

*($p>0,05$). Teste *Post- Hoc* de comparação por pares

Quadro 3. Teste *Post Hoc* de comparação por pares para o parâmetro índice de anterioridade relativa em função de modo

Comparação entre modos de articulação	Fricativa	Líquida Lateral	Líquida não Lateral	Nasal	Oclusiva
Fricativa	-	0,33	0,78	0,00*	0,80
Líquida Lateral	0,33	-	0,67	0,79	0,25
Líquida não Lateral	0,78	0,67	-	0,06	0,67
Nasal	0,00*	0,07	0,64	-	0,00*
Oclusiva	0,80	0,25	0,67	0,00*	-

*($p > 0,05$). Teste *Post-Hoc* de comparação por pares

DISCUSSÃO

A ultrassonografia do movimento da língua possibilita a visualização direta desta estrutura de forma natural e não invasiva durante a fala⁽¹⁾. Utilizar o ultrassom de língua como um recurso auxiliar na análise da produção da fala permite que dados mais fidedignos sejam coletados e mensurados, possibilitando apreender padrões considerados típicos, as possíveis variações desses padrões e, ainda, os padrões considerados atípicos⁽²⁶⁾.

O presente estudo teve por objetivo caracterizar o movimento de língua em 14 fonemas consonantais do PB por meio de parâmetros ultrassonográficos quantitativos, buscando identificar e descrever quais dos parâmetros adotados na análise poderiam apreender a diferença de modo e ponto de articulação entre os fonemas linguais da produção típica da fala.

As imagens ultrassonográficas do movimento de língua foram geradas em duas dimensões do plano sagital, permitindo a visualização da língua em toda a sua extensão, desde sua porção anterior até sua porção posterior⁽²⁶⁾. Isso significa dizer que as medidas ultrassonográficas da língua correspondem aos valores tanto do eixo x (ângulos adotados na imagem US), quanto do eixo y (altura em milímetros da posição da língua). Sendo assim, para a distinção entre os pontos de articulação dos fonemas, os índices deveriam diferenciar os valores numéricos relativos à posição da língua na imagem ultrassonográfica, considerando primordialmente os valores da sua altura em relação aos ângulos adotados (de -60° a $+60^\circ$). Para a distinção do modo de articulação dos fonemas, os índices deveriam diferenciar primordialmente os valores numéricos relativos à altura da língua na imagem ultrassonográfica (eixo vertical). Adotou-se na análise um parâmetro US já utilizado na literatura, o índice de anterioridade⁽¹⁸⁾ e foram desenvolvidos outros dois índices: média global da altura da língua e índice de anterioridade relativo.

O índice de anterioridade, tal como proposto em estudo anterior, corresponde a uma média ponderada da altura da língua no plano sagital em que os valores relativos à porção anterior da língua são multiplicados por um incremento no cálculo da média ponderada (como já descrito anteriormente na metodologia). Esperava-se que esse índice pudesse diferenciar, fundamentalmente, os fonemas produzidos pela porção anterior da língua (tal como as alveolares e as pré-palatais) dos fonemas produzidos pela porção média e posterior da língua (como no caso das palatais e velares). No entanto, o índice de anterioridade não apresentou efeito significativo para o ponto nem para o modo de articulação.

Duas razões podem estar na base da explicação para a não diferenciação do ponto e do modo de articulação. A primeira deve-se ao próprio posicionamento da língua no interior do trato vocal. Se considerarmos o espaço de deslocamento vertical das diferentes porções da língua no trato vocal, a porção anterior sempre apresentará menor deslocamento comparativamente à porção média/posterior, por sua própria configuração anatômica. Ou seja, devido ao menor espaço existente entre a ponta da língua e os alvéolos relativamente ao espaço entre a porção média da língua e o palato duro, os valores de altura atingidos pela parte anterior da língua na produção das alveolares serão sempre menores que os valores de altura atingidos pela parte média e posterior da língua na produção das palatais e velares. O mesmo raciocínio pode ser aplicado em relação ao modo de articulação. Isto é, uma obstrução, total ou parcial, na região palatal ou velar sempre terá valor de altura maior do que uma oclusão total na região alveolar.

Desse modo, na obtenção do índice de anterioridade, mesmo que os valores correspondentes à parte anterior da língua tenham sido multiplicados por um incremento no cálculo da média ponderada, o ajuste realizado talvez ainda tenha sido insuficiente para compensar a diferença de valores de altura em função do próprio posicionamento da língua no trato vocal.

A segunda hipótese explicativa deve-se ao fato de esse índice não ser uma medida relativa. Isso significa dizer que fatores como o posicionamento da sonda transdutora no momento da coleta de dados, o tamanho da cavidade oral dos indivíduos, bem como possíveis movimentos de cabeça podem ter interferido na obtenção dos valores pertinentes a esse parâmetro⁽²⁷⁾.

O segundo índice utilizado na análise foi a média global de altura da língua (MG). Este índice corresponde a uma medida global do movimento da língua, resultante da média dos valores de altura de toda a extensão da língua. Maiores valores de MG deveriam ser encontrados para fonemas produzidos com as porções média e posterior da língua, uma vez que estas porções já se encontram posicionadas mais altas no interior do trato relativamente à porção anterior da língua. Da mesma forma, maiores valores de MG deveriam ser observados em fonemas produzidos com uma obstrução total comparativamente a fonemas produzidos com uma obstrução parcial, uma vez que a língua deveria ocupar uma posição mais alta no interior do trato para realizar o bloqueio total.

Observou-se que esse índice foi sensível para distinguir os fonemas produzidos com as porções mais extremas da língua (alveolares e pré-palatais vs velares), considerando o eixo anteroposterior, mas não distinguiu os demais pontos de

articulação e nenhum modo de articulação. Os fonemas velares apresentaram maiores valores da média global da altura da língua do que as alveolares e as pré-palatais, conforme o esperado.

Alguns autores^(28,29) têm reportado que as medidas ultrassonográficas quantitativas são mais eficazes para mostrar diferenças de produção mais globais do que diferenças de produções sutis. Em estudo recente⁽²¹⁾, por exemplo, os autores verificaram a pertinência de se utilizar apenas um índice ultrassonográfico quantitativo que descrevesse as diferenças de produção de alguns fonemas consonantais do inglês (/r/, /l/, /w/, /g/, /ng/, /n/, /y/, /t/, /ʃ/, /tʌ/, /s/, /d/ e /z/) em contexto de 7 diferentes vogais, na produção de fala típica de 10 adultos. Para tanto, os autores desenvolveram um índice que pudesse quantificar os diferentes graus da curvatura de toda a extensão da língua em plano sagital, denominado de índice de constrição (CI). Para análise, os sons foram agrupados em seis modos de articulação (líquidas, semivogais, nasais, oclusivas, vogais e fricativas). Os resultados evidenciaram uma diferença significativa dos sons líquidos para os demais grupos. Concluiu-se, portanto, que o CI não foi capaz de diferenciar todos os fonemas do inventário analisado.

Por fim, o terceiro índice desenvolvido para análise dos dados foi o índice de anterioridade relativo (IAR). Este índice refere-se à diferença entre o valor da média global da altura da língua e o valor médio da altura da porção anterior da língua (correspondente à média dos ângulos -60° a -15°). Maiores valores de IAR significam que a porção anterior/média da língua apresentou maior movimento comparativamente à porção posterior da língua, enquanto menores valores de IAR sugerem que houve maior movimento da porção posterior da língua.

Observou-se que o IAR diferenciou os fonemas quanto aos quatro pontos articulatórios analisados, bem como diferenciou a classe das nasais da classe das oclusivas e fricativas.

Pelo fato de esse índice ser uma medida relativa, uma vez que se considera a diferença entre valores e não o valor absoluto propriamente dito, minimiza-se a influência de diferenças de tamanho de trato, posicionamento do transdutor, etc. Consequentemente, este parâmetro foi o mais robusto para diferenciar o ponto de articulação dos fonemas analisados.

Estudos anteriores^(11,27,30) têm, igualmente, apontado para as vantagens de se utilizarem medidas ultrassonográficas relativas relativamente às medidas absolutas, justamente pelo fato de se minimizar os efeitos da variabilidade interfalantes. Particularmente em um estudo⁽²⁷⁾, os autores analisaram as produções de /p/, /t/, /s/ e /f/ seguidos das vogais /a/ e /i/ na fala de 10 adolescentes com o uso de medidas ultrassonográficas relativas, comparando duas condições de coleta de dados: com e sem o uso do estabilizador de cabeça. Dentre as medidas testadas, apenas uma foi completamente afetada pela condição de estabilização de cabeça. Os autores concluíram que as medidas ultrassonográficas relativas propostas puderam fornecer resultados mais consistentes na análise da produção da fala. Desse modo, tal como reportado pelos autores, os resultados do presente estudo também sugerem que medidas relativas sejam as mais sensíveis e adequadas para análises ultrassonográficas da produção da fala.

Nossos achados evidenciam que uma única medida não foi suficiente para diferenciar os fonemas quanto aos quatro pontos e cinco modos de articulação, o que implica saber que análises quantitativas dos movimentos da língua durante a fala devem ser realizadas com a combinação de duas ou mais mensurações. Este achado corrobora com a literatura internacional, como em um estudo⁽¹⁰⁾ em específico, que verificou o sucesso e adequação do uso de três tipos de análise para quantificar a forma e as complexidades da língua. Os autores analisaram 15 fonemas da língua inglesa produzidos por seis adultos típicos por meio de três índices baseados na análise procrustesⁱⁱ, inflexões da curvatura e Coeficientes de *Fourier*. Os resultados apresentados demonstraram que um dos índices foi o melhor para classificar a complexidade da língua, entretanto, a combinação dos métodos se mostraram mais precisas para caracterização dos movimentos da língua.

CONCLUSÃO

Dentre as medidas ultrassonográficas utilizadas, a saber: índice de anterioridade, média global da altura da língua e índice de anterioridade relativo, nenhuma foi sensível para diferenciar simultaneamente todos os pontos e o modo de articulação dos 14 fonemas consonantais do PB.

A medida ultrassonográfica mais robusta foi o índice de anterioridade relativo, o qual diferenciou os quatro pontos de articulação entre si: alveolares vs pré-palatais vs palatais vs velares.

Tanto a média global da altura da língua quanto o índice de anterioridade relativo privilegiaram as diferenças entre os fonemas no plano horizontal. Medidas ultrassonográficas que possam propiciar uma análise mais acurada no plano vertical devem ser desenvolvidas em estudos futuros.

Igualmente, o uso das medidas propostas na análise das alterações da produção da fala, com vistas à sua aplicabilidade clínica, deverá ser realizado em estudos posteriores, sobretudo, para averiguar o potencial desses índices na descrição de alterações de fala que envolvam o ponto de articulação.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento concedido para realização da pesquisa cujos resultados foram relatados no presente artigo.

REFERÊNCIAS

1. Barbarena LS, Keske-Soares M, Berti LC. Descrição dos gestos articulatórios envolvidos na produção dos sons /r/ e /l/. *Revista Audiology Communication Research*. 2014;19(4):338-44. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-6431201400040000135>.
2. Silva AHP. O estatuto da análise acústica nos estudos fônicos. *Cadernos de Letras da UFF*. 2010;41:213-29. [Dossiê letras e cognição]
3. Jesus LMT, Shadle CH. A parametric study of the spectral characteristics of European Portuguese fricative. *J Phonetics*. 2002;30(3):437-64. <http://dx.doi.org/10.1006/jpho.2002.0169>.

ⁱⁱ Análise procrustes refere-se a um tipo de análise estatística utilizada para analisar uma distribuição de um conjunto de formas⁽¹⁰⁾.

4. Cristofolini C, Seara IC. Características acústicas de consoantes plosivas e fricativas produzidas por crianças de 6 a 12 anos: período de refinamento articulatório? *Revista Verba Volant*. 2012;3(1):55-71.
5. Pagan-Neves LO, Wertzner HF. Parâmetros acústicos das líquidas do português brasileiro no transtorno fonológico. *Pro Fono*. 2010;22(4):491-6. PMID:21271105. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-56872010000400022>.
6. Milke J, Baker A, Archangeli D, Racy S. Palatron: a technique for aligning ultrasound images of the tongue and palate. *Coyote Papers*. 2005;14:96-107.
7. Kelsey CA, Woodhouse RJ, Minifie FD. Ultrasonic observations of coarticulation in the pharynx. *J Acoust Soc Am*. 1969;46(4):1016-8. PMID:5824022. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1911793>.
8. Skolnick ML, Zagzebski JA, Watkin KL. Two dimensional ultrasonic demonstration of lateral pharyngeal wall movement in real time - a preliminary report. *Cleft Palate J*. 1975;12:299-303. PMID:1057457.
9. Zharkova N, Hewlett N, Hardcastle WJ. An ultrasound study of lingual coarticulation in /sV/ syllables produced by adults and typically developing children. *J Int Phon Assoc*. 2012;42(02):193-208. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025100312000060>.
10. Dawson KM, Tiede MK, Whalen DH. Methods for quantifying tongue shape and complexity using ultrasound imaging. *Clin Linguist Phon*. 2016;30(3-5):328-44. PMID:26587871. <http://dx.doi.org/10.3109/02699206.2015.1099164>.
11. Ménard L, Aubin J, Thibeault M, Richard G. Measuring tongue shapes and positions with ultrasound imaging: a validation experiment using an articulatory model. *Folia Phoniatri Logop*. 2012;64(2):64-72. PMID:22212175. <http://dx.doi.org/10.1159/000331997>.
12. Zharkova N, Hewlett N, Hardcastle WJ. An ultrasound study of lingual coarticulation in /sV/ syllables produced by adults and typically developing children. *J Int Phon Assoc*. 2012;42(2):193-208. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025100312000060>.
13. Zharkova N, Hewlett N, Hardcastle WJ. Coarticulation as an indicator of speech motor control development in children: an ultrasound study. *Motor Control*. 2011;15(1):118-40. PMID:21339517. <http://dx.doi.org/10.1123/mcj.15.1.118>.
14. Bernhardt B, Gick B, Bacsfalvi P, Ashdown J. Speech habilitation of hard of hearing adolescents using electropalatography and ultrasound as evaluated by trained listeners. *Clin Linguist Phon*. 2003;17(3):199-216. PMID:12858839. <http://dx.doi.org/10.1080/0269920031000071451>.
15. Bacsfalvi P, Bernhardt BM, Gick B. Electropalatography and ultrasound in vowel remediation for adolescents with hearing impairment. *Adv Speech Lang Pathol*. 2007;9(1):36-45. <http://dx.doi.org/10.1080/14417040601101037>.
16. Preston JL, Brick N, Landi N. Ultrasound biofeedback treatment for persisting childhood apraxia of speech. *Am J Speech Lang Pathol*. 2013;22(4):627-43. PMID:23813207. [http://dx.doi.org/10.1044/1058-0360\(2013\)12-0139](http://dx.doi.org/10.1044/1058-0360(2013)12-0139).
17. Preston JL, Leaman M. Ultrasound visual feedback for acquired apraxia of speech: a case report. *Aphasiology*. 2014;28(3):278-95. <http://dx.doi.org/10.1080/02687038.2013.852901>.
18. Bressmann T, Thind P, Uy C, Bollig C, Gilbert RW, Irish JC. Quantitative three-dimensional ultrasound analysis of tongue protrusion, grooving and symmetry: data from 12 normal speakers and a partial glossectomee. *Clin Linguist Phon*. 2005;19(6-7):573-88. PMID:16206485. <http://dx.doi.org/10.1080/02699200500113947>.
19. Acher A, Perrier P, Savariaux C, Fougeron C. Speech production after glossectomy: methodological aspects. *Clin Linguist Phon*. 2014;28(4):241-56. PMID:23837408. <http://dx.doi.org/10.3109/02699206.2013.802015>.
20. Bressmann T, Koch S, Ratner A, Seigel J, Binkofski F. An ultrasound investigation of tongue shape in stroke patients with lingual hemiparalysis. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2015;24(4):834-9. PMID:25724246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2014.11.027>.
21. Stolar S, Gick B. An index for quantifying tongue curvature. *Canadian Acoustics*. 2013;41(1):11-5.
22. Berti LC. Investigação ultrassonográfica dos erros de fala infantil à luz da Fonologia Gestual. In: Gonçalves GF, Paula MRB, editores. *Dinâmica dos movimentos articulatorios: sons, gestos, imagens*. 1. ed. Pelotas: Editora UFPel; 2013. p. 127-143.
23. Wertzner HF, Francisco DT, Neves LOP. Contorno de língua dos sons /s/ e /j/ em crianças com transtorno fonológico. *Revista Códas*. 2014;26(3):248-51. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1782/201420130022>.
24. Articulate Instruments LTD. *Articulate assistant user guide: version 2.11*. Edinburgh: Articulate Instruments; 2010.
25. Bressmann T, Heng C, Irish JC. Applications of 2D and 3D ultrasound imaging in speech-language pathology. *J Speech Lang Pathol Audiol*. 2005;29(4):158-68.
26. Gonçalves GF, Paula MRB. *Dinâmica dos movimentos articulatorios: sons, gestos, imagens*. 1. ed. Pelotas: Editora UFPel; 2013.
27. Zharkova N, Gibbon FE, Hardcastle WJ. Quantifying lingual coarticulation using ultrasound imaging data collected with and without head stabilisation. *Clin Linguist Phon*. 2015;29(4):249-65. PMID:25651199. <http://dx.doi.org/10.3109/02699206.2015.1007528>.
28. Davidson L. Comparing tongue shapes from ultrasound imaging using smoothing spline analysis of variance. *J Acoust Soc Am*. 2006;120(1):407-15. PMID:16875236. <http://dx.doi.org/10.1121/1.2205133>.
29. Harshman R, Ladefoged P, Goldstein L. Factor analysis of tongue shapes. *J Acoust Soc Am*. 1977;62(3):693-713. PMID:903511. <http://dx.doi.org/10.1121/1.381581>.
30. Berti L, Boer GD, Bressmann T. Tongue displacement and durational characteristics of normal and disordered Brazilian Portuguese liquids. *Clin Linguist Phon*. 2016;30(2):131-49. PMID:26853548. <http://dx.doi.org/10.3109/02699206.2015.1116607>.

Contribuição dos autores

LMS pesquisadora principal, elaboração da pesquisa, elaboração do cronograma, levantamento da literatura, coleta e análise dos dados, redação do artigo, submissão e trâmites do artigo; AMOV pesquisadora, levantamento da literatura, coleta e análise dos dados, redação do artigo; VCCM pesquisadora, colaboradora, análise dos dados e correção da redação final, LCB orientadora, coordenação da pesquisa, análise dos dados, correção da redação do artigo, aprovação da versão final.