

ANÁLISE ACÚSTICA DAS VOGAIS PRODUZIDAS POR FALANTES COM DOENÇA DE PARKINSON

*Susana de Carvalho¹
Miguel Oliveira Jr.²*

1. INTRODUÇÃO

A doença de Parkinson (DP) é uma doença degenerativa e progressiva, caracterizada pela perda de neurônios na parte compacta da substância negra e consequente prejuízo na produção da dopamina, responsável pelo controle dos movimentos (BRASOLOTTO et al., 2014).

Os sinais e sintomas da DP são, principalmente, motores: rigidez, bradicinesia, tremor e instabilidade postural. As dificuldades motoras prejudicam também a produção da fala interferindo negativamente na comunicação verbal dos indivíduos. A prevalência de alterações de fala é alta na DP, atingindo cerca de 90% dos casos em algum estágio da doença e, infelizmente, as intervenções farmacológicas produzem efeitos mínimos sobre essas dificuldades na fala (BRASOLOTTO et al., 2014; MARTÍNEZ-SANCHÉZ, 2010; SAPIR; RAMIG; FOX, 2008; RUSZ et al., 2017).

¹ Universidade Federal de Sergipe.

² Universidade Federal de Alagoas.

Mudanças na voz e na fala podem ser notadas por familiares e amigos próximos das pessoas com DP, vários anos antes que o diagnóstico seja estabelecido. Recente investigação sobre os sinais prodrômicos da DP revelou que a acinesia de face e as alterações vocais foram os primeiros indicadores da doença, com um intervalo estimado de 9,8 anos antes do diagnóstico (POSTUMA et al., 2012; RUSZ et al., 2013; SAPIR; SPRECHER; SKODDA, 2013).

No início, essas alterações na fala podem ser bastante sutis e quase imperceptíveis aos ouvidos, mas medidas acústicas objetivas têm contribuído para o registro de anormalidades, mesmo em pacientes sem disartria visível (FORREST; WEISMER, 2009; LANSFORD; LISS, 2014a; RUSZ et al., 2013).

Um estudo longitudinal, que acompanhou pacientes com DP durante 36 meses, demonstrou que a maioria dos sintomas motores puderam ser controlados e mantiveram-se estáveis com medicação, enquanto a articulação das vogais teve uma deterioração significativa com o passar do tempo, concluindo que as medidas acústicas das vogais teriam potencial para servir como marcadores do avanço da doença (SKODDA; GRÖNHEIT; SCHLEGEL, 2012).

Durante a emissão das vogais, a posição dos articuladores resulta em cavidades de ressonância que amplificam determinadas frequências. Tais frequências, típicas para cada vogal, são denominadas formantes (ROY et al., 2009; SKODDA; GRÖNHEIT; SCHLEGEL, 2012).

Os valores das frequências do primeiro e segundo formantes (F1 e F2), expressas em Hertz (Hz), são as medidas acústicas mais relevantes na percepção e produção das vogais. A relação acústico-articulatória pode ser explicada por uma regra mais geral na qual os valores de F1 variam em função da altura da língua (no eixo vertical) e os valores de F2 variam em função da anterioridade ou posterioridade da língua (no eixo horizontal) (KENT; READ, 2015; SAPIR et al., 2010).

Na DP, a produção dos sons da fala é prejudicada pela rigidez e/ou bradicinesia, caracterizando-se por uma diminuição na amplitude e velocidade dos movimentos de mandíbula, língua e lábios e resultando em uma restrição na geração dos formantes (SKODDA; GRÖNHEIT; SCHLEGEL, 2012).

Hipotetiza-se que, em uma fala disártrica como ocorre na DP, formantes que normalmente apresentam frequências altas tendem a apresentar valores baixos, enquanto frequências baixas tendem a apresentar valores mais altos (SAPIR et al., 2007).

A fim de identificar a fala disártrica, característica da DP, os valores absolutos dos formantes F1 e F2 têm sido utilizados em cálculos e configurações diversas, como o triângulo acústico vocálico, a área do espaço vocálico (do original *vowel space area* – VSA), o índice de centralização formântica (do original *formant centralization ratio* – FCR), dentre outros:

- a) **Triângulo acústico vocálico e Área do espaço vocálico:** O triângulo vocálico é uma representação visual da relação acústico-articulatória. Configura-se por meio de um gráfico *xy*, com os valores de F1 na ordenada e F2 na abscissa. Assim, as coordenadas (F2a, F1a), (F2i, F1i) e (F2u, F1u) definem os vértices do triângulo. A área do espaço vocálico, por sua vez, consiste na distância euclidiana entre esses vértices e pode ser obtida por meio da expressão: $VSA = \text{ABS}((F1i*(F2a-F2u)+F1a*(F2u-F2i)+F1u*(F2i-F2a))/2)$, como proposto por Liu, Tsao e Kuhl (2005).

A limitação de movimentos observada na DP pode levar a constrição do triângulo e uma redução da área do espaço vocálico. Os estudos que utilizaram essas medidas, entretanto, nem sempre conseguiram revelar diferenças significativas entre falantes saudáveis e falantes com DP (BANG et al., 2013; OKADA; MURATA; TODA, 2015; OROZCO-ARROYAVE et al., 2014; SAPIR et al., 2010; SKODDA; VISSER; SCHLEGEL, 2011; TJADEN et al., 2013).

- b) **Índice de centralização formântica e Índice de articulação vocálica:** são medidas que pretendem superar as inconsistências encontradas com o uso da área do espaço vocálico – aparentemente muito sensível a variações interfalantes – e representar a retração do espaço acústico por meio de um único valor numérico. O índice de centralização formântica (tradução livre do original *formant centralization ratio*) pode ser calculado com a expressão: $(F2u+F2a+F1i+F1u)/(F2i+F1a)$. O índice de articulação vocálica (tradução do original *vowel articulation index*) pode ser calculado por meio da expressão: $(F2i+F1a)/(F2u+F2a+F1i+F1u)$, que é o inverso da anterior. Tais medidas foram propostas por Sapir et al. (2010) e Skodda, Visser e Schlegel (2011), respectivamente.

Para Sapir et al. (2010) e Skodda, Visser e Schlegel (2011), o índice de centralização formântica e o índice de articulação vocálica mostraram-se mais sensíveis que o triângulo acústico vocálico, na detecção de uma fala disártrica.

- c) **Prisma vocálico (*vPrism*):** Em 2014, Orozco-Arroyave et al. propuseram uma representação tridimensional da relação acústico-articulatória, com a

adição do eixo z ao plano xy da área do espaço vocálico. Em seu modelo, a base do prisma é o triângulo acústico vocálico e sua altura (eixo z) expressa a frequência fundamental (F_0) das vogais /i/, /a/ e /u/. Assim, cada ponto do gráfico é definido pela coordenada (F_2, F_1, F_0). A inclusão da frequência fundamental, para os autores, possibilita a avaliação simultânea da voz e da fala e demonstrou uma acurácia de 81,3% na identificação de falantes com DP, superior ao índice de 79,3% quando apenas medidas relacionadas com a articulação foram utilizadas (OROZCO-ARROYAVE et al., 2014).

Mas a inclusão da frequência fundamental pode ser questionada quando o que se pretende é avaliar a articulação da fala. O estudo longitudinal de Skodda et al. (2013), que acompanhou 80 pessoas com DP, observou a deterioração progressiva da voz e da fala no curso da doença e evidenciou que as medidas de *shimmer* (medida de perturbação na amplitude, ou intensidade, durante a emissão vocal) – e não de *jitter* (medida de perturbação na frequência fundamental, durante a emissão vocal) – eram significativamente mais altas na DP, desde os estágios iniciais da doença.

É provável que os valores de intensidade representem uma medida mais robusta para diferenciar a fala na DP e propõe-se a sua inclusão nos parâmetros já existentes por meio de um novo índice, o Índice de Articulação e Intensidade Vocálica, e da construção de um **prisma acústico-articulatório**, similar ao de Orozco-Arroyave et al. (2014), mas que contemple os valores de intensidade (dB) em seu eixo z . Sabe-se que há desafios a superar, pois trata-se de uma medida acústica sujeita a interferências, mas acredita-se que avanços só serão possíveis se esses obstáculos forem enfrentados.

Assim, o principal objetivo deste estudo foi investigar as medidas acústicas das vogais produzidas por falantes com doença de Parkinson. Pretende-se também propor novos parâmetros acústicos para avaliação e determinar a eficácia das medidas de intensidade na identificação da fala disártrica.

2. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo descritivo, observacional e analítico, no qual foram comparadas as medidas acústicas das vogais produzidas por pessoas com doença de Parkinson e falantes neurologicamente saudáveis. Está em consonância com a Resolução CNS 466/12 e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Sergipe sob o nº CAAE 48290415.6.0000.5546/Parecer nº 1.217.645.

A pesquisa contou com 18 participantes, nove homens e nove mulheres, com idades entre 41 e 71 (IM: 59,4; DP: 9,4), distribuídos em dois grupos: GParkinson, constituído por doze participantes (seis homens e seis mulheres) com doença de Parkinson (IM: 63,9; DP: 7,9), e o GControle, com seis participantes (três homens e três mulheres), neurologicamente saudáveis (IM: 51; DP: 5,9). A fim de classificar o grau de comprometimento da fala, foi utilizada a versão para língua portuguesa da MDS-UPDRS, parte III, Fala (GOETZ et al., 2008).

Para os participantes do GParkinson, o tempo decorrido desde o diagnóstico da doença variou entre dois e quatorze anos – média: 7,5 anos (DP: 3,9). Quanto ao comprometimento da fala, a maioria (dez) apresentou grau 1 ou 2 (leve ou suave).

Observa-se uma diferença significativa para a variável idade ($p=0,005$) entre os grupos, mas esta não apresentou correlação significativa com as medidas acústicas analisadas. O perfil sociodemográfico dos participantes é apresentado no Quadro 1.

Todos foram convidados a gravar três frases-veículo: “Digo **rito** baixinho”; “Digo **rato** baixinho” e “Digo **rude** baixinho”; como proposto por Miranda e Meireles (2012). As gravações foram realizadas em sala acusticamente tratada, com o participante sentado em cadeira estofada, com encosto alto e suporte para cabeça, observada uma distância de 15 cm entre a comissura labial do falante e o microfone.

O microfone utilizado foi um microfone profissional TSI, modelo PROBR, com alta relação sinal/ruído e padrão polar supercardioide, instalado em pedestal e acoplado a um conversor e amplificador de áudio Shure®, o que possibilitou que as amostras de fala fossem captadas, digitalizadas e armazenadas no formato *wav* (monocanal, taxa de amostragem = 44.100 Hz; quantização = 16 bits). O software empregado, tanto para a gravação quanto para a análise posterior, foi o Praat (software de livre acesso, desenvolvido por Boersma e Weenink, em sua versão 6.0.25, 2017).

Quadro 1 – Perfil sociodemográfico dos participantes

Part	Grupo	Sexo	Idade	Tempo de curso da doença (anos)	UPDRS III Fala
01	GParkinson	F	58	9	1
02	GParkinson	M	71	8	2
03	GControle	M	56	--	0
04	GControle	F	53	--	0
05	GParkinson	M	70	10	2
06	GParkinson	M	65	5	1
07	GParkinson	F	66	5	1
08	GParkinson	F	58	6	1
09	GParkinson	M	68	8	2
10	GParkinson	M	66	6	3
11	GControle	M	51	--	0
12	GParkinson	F	43	2	1
13	GControle	M	41	--	0
14	GParkinson	F	62	10	1
15	GParkinson	F	70	14	4
16	GParkinson	M	57	7	1
17	GControle	F	48	--	0
18	GControle	F	57	--	0

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

2.1 Medidas acústicas

A partir das gravações de cada participante, foram obtidas as medidas de frequência fundamental, formantes F1 e F2 (em Hz) e intensidade (em dB), com o cursor posicionado no ponto médio de cada uma das vogais e realizadas automaticamente pelo software.

Com os valores absolutos dos formantes F1 e F2 das vogais, foi elaborado o triângulo vocálico e calculada a área do triângulo (ou espaço) vocálico (VSA – *vowel space area*), por meio da expressão $ABS((F1i*(F2a-F2u)+F1a*(F2u-F2i)+F1u*(F2i-F2a))/2)$, proposta por Liu, Tsao e Kuhl (2005). Com a adição das medidas de intensidade das vogais, foi elaborado o prisma acústico-articulatório e calculado seu volume, com a expressão:

$$ABS(intensidadei*(F2a*F1u-F2u*F1a)+intensidadea*(F2u*F1i-F2i*F1u)+intensidadeu*(F2i*F1a-F2a*F1i))/2$$

Ainda com os valores absolutos dos formantes F1 e F2 das vogais examinadas, foram calculados os índices de articulação vocálica, utilizando-se as fórmulas apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Índices de articulação vocálica

Índice	Expressão
FCR (formant centralization ratio)	$(F2u+F2a+F1i+F1u)/(F2i+F1a)$
VAI (vowel articulation index)	$(F2i+F1a)/(F2u+F2a+F1i+F1u)$

Fonte: Sapir et al., 2010; Skodda, Visser e Schlegel, 2011.

Com os valores absolutos dos formantes F1 e F2 e intensidade das vogais /i/, /a/ e /u/, foi calculado o índice de articulação e intensidade vocálica. Trata-se de uma replicação da expressão utilizada para o cálculo do índice de articulação vocálica (Skodda, Visser e Schlegel, 2011), com o acréscimo da média das medidas de intensidade.

Quadro 3 – Novo índice de articulação vocálica proposto

Novo índice proposto	Expressão
IAIV (índice de articulação e intensidade vocálica)	$[(F2i+F1a)/(F2u+F2a+F1i+F1u)]*[MÉDIA \text{ intensidade /a/; intensidade /i/; intensidade /u/}]$

2.2 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com o software R (R Core Team, 2018), por meio do pacote RCommander (Fox; Bouchet-Valat, 2018) e do plug-in RcmdrPlugin.EZR (Kanda, 2013). A distribuição dos dados foi analisada por meio do teste Shapiro-Wilk e, nos casos de distribuição não normal, estes foram normalizados por meio de transformação logarítmica. Para comparação entre os grupos, utilizou-se o teste t-Student para amostras independentes. Em todas as situações, a significância foi estabelecida para $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Frequência fundamental

A frequência fundamental é um parâmetro relevante na avaliação funcional da laringe. Características biodinâmicas e a pressão subglótica determinam a frequência fundamental (F0), que corresponde ao número de ciclos vibratórios

que as pregas vocais realizam por segundo. A F0 varia de acordo com a idade e o sexo, com uma distribuição média entre 80 a 250 Hz, nos indivíduos adultos. Para os homens, encontram-se valores situados entre 80 a 150 Hz e, para mulheres, entre 150 a 250 Hz (BEHLAU et al., 2008).

Uma característica importante da frequência fundamental é o seu papel na diferenciação entre vozes femininas e masculinas, o que pode ser observado mesmo na presença da doença de Parkinson (Tabela 1). Isto significa que, quando a frequência fundamental é considerada na análise, há que se ter parâmetros acústicos diferenciados para homens e mulheres. Esse cuidado foi observado neste estudo e a discussão será retomada, posteriormente, na reflexão sobre as medidas dos formantes e do prisma acústico-articulatório.

Tabela 1 – Valores médios e desvio padrão da medida de frequência fundamental das vogais produzidas por homens e mulheres com DP (GParkinson)

		Frequência fundamental (Hertz)		
		homens	mulheres	p-valor
GParkinson	/a/	124 (14,77)	186 (31,95)	0,002*
	/i/	135 (28,14)	205 (37,58)	0,004*
	/u/	139 (29,55)	199 (35,88)	0,008*
	média (DP)	133 (23,07)	197 (34,47)	0,003*

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos: $p \leq 0,05$.

Legenda: DP = desvio padrão.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Na comparação entre o GParkinson e o GControle, não foram observadas diferenças significativas (Tabela 2). Para os homens com doença de Parkinson, observa-se uma tendência para valores mais altos de F0, resultados semelhantes aos obtidos por Hsu et al., 2017. Outra característica observada, nesse mesmo grupo, são os valores menores para o desvio padrão, indicando menor variabilidade na frequência fundamental.

Tabela 2 – Valores médios e desvio padrão da medida de frequência fundamental das vogais produzidas por homens e mulheres com DP (GParkinson) e homens e mulheres neurologicamente saudáveis (GControle)

		Frequência fundamental (Hertz)			
		GParkinson	GControle	p-valor	effect (r)
homens	/a/	124 (14,77)	116 (35,80)	0,62	0,18
	/i/	135 (28,14)	124 (38,99)	0,64	0,18
	/u/	139 (29,55)	123 (38,37)	0,50	0,25
	média (DP)	133 (23,07)	121 (37,66)	0,57	0,21
mulheres	/a/	186 (31,95)	185 (41,02)	0,94	0,02
	/i/	205 (37,58)	207 (36,25)	0,94	0,02
	/u/	199 (35,88)	197 (40,53)	0,93	0,03
	média (DP)	197 (34,47)	196 (39,20)	0,97	0,01

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos: $p \leq 0,05$.

Legenda: DP= desvio padrão

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

3.2. Intensidade

A intensidade é uma das grandezas físicas que caracterizam a onda sonora. Define-se pela energia transportada, perpendicularmente por ondas em uma determinada área e unidade de tempo. A intensidade de uma onda é proporcional ao quadrado da amplitude da pressão sonora; logo, intensidade e amplitude estão correlacionadas, mas não são sinônimos. Da percepção da intensidade derivam as qualidades “forte” ou “fraco” de um som, resultado da maior ou menor pressão sonora, que pode ser mensurada pela unidade logarítmica decibel (BARBOSA; MADUREIRA, 2015; PILLING, 2011).

A intensidade da voz/fala é um componente importante para a inteligibilidade e as variações prosódicas. Do ponto de vista fisiológico, a intensidade é dependente da pressão subglótica e requer controles tanto neuromusculares quanto respiratórios. Os ajustes contínuos da tensão da musculatura intrínseca da laringe e o fluxo de ar expiratório são responsáveis pela manutenção de uma adequada intensidade durante a produção da fala.

É extensa a literatura que demonstra a redução e menor variabilidade da intensidade da voz/fala na DP, estimando-se uma diminuição entre 13 a 20% dB. Mesmo quando orientados a falar com maior intensidade, falantes com DP não conseguem um incremento – em dB – similar ao de falantes saudáveis

BEHLAU et al., 2008; FOX; RAMIG, 1997; HO; IANSEK; BRADSHAW, 2001; KNOWLES et al., 2018; LAM; TJADEN, 2016; RUSZ et al., 2015; TJADEN; LAM; WILDING, 2013; VAICIUKYNAS et al., 2017).

O decréscimo da intensidade, observado na DP, poderia ser explicado pela diminuição na amplitude dos movimentos respiratórios e reduzida adução das pregas vocais, que resultam em menor pressão subglótica. O controle da força necessária para a complexa sequência de movimentos da fala parece ser afetado pelo circuito frontoestriado, na DP. Uma das consequências da queda da pressão subglotal é a gradual diminuição da intensidade (CRUTTENDEN, 1995; GRICE; BAUMAN, 2007; HO; IANSEK; BRADSHAW, 2001; RUSZ et al., 2017).

Para os participantes deste estudo, a média das medidas de intensidade foi de 70,68 dB ($\pm 6,21$) para os falantes neurologicamente saudáveis e 64,74 dB ($\pm 6,34$) para os falantes com DP, uma diferença de quase 6 dB, que representa uma redução de cerca de 8%. Apesar das diferenças metodológicas, variação idêntica foi notada em outros estudos (DYKSTRA; ADAMS; JOG, 2015; LIRANI-SILVA; MOURÃO; GOBBI, 2015; WALSH; SMITH, 2012).

Foram observadas características peculiares nas falas masculinas e femininas que merecem destaque, nesta discussão. Em uma análise intragrupo, a despeito da ausência de diferenças significativas, percebe-se que os homens do GParkinson apresentam valores de intensidade mais altos do que as mulheres, em todas as vogais examinadas. Comportamento inverso ocorre no GControle, no qual as mulheres revelam médias em torno de 5 dB acima dos homens (Tabela 3).

Na comparação entre os grupos (Tabela 4), notam-se diferenças significativas apenas para as mulheres, com uma redução em torno de 10 dB nos valores médios obtidos para as falantes com DP. A intensidade e a frequência fundamental são dependentes da pressão subglotal e o comportamento das falas masculinas, nos casos de DP, indica que ocorre um maior esforço visando à manutenção da intensidade e os prováveis ajustes realizados resultam em um aumento dos valores de F0, nesse grupo.

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão das medidas de intensidade (dB) obtidas no ponto central das vogais produzidas por homens e mulheres do GParkinson e GControle

	Vogais	Homens	Mulheres	p-valor
GParkinson	/a/	65,04 (4,76)	62,57 (5,20)	0,40
	/i/	68,29 (6,67)	63,04 (7,67)	0,23
	/u/	65,72 (6,73)	63,80 (8,41)	0,67
	média (DP)	66,35 (5,88)	63,14 (6,89)	0,40
GControle	/a/	67,58 (7,64)	72,36 (2,51)	0,36
	/i/	68,71 (9,41)	74,30 (2,67)	0,38
	/u/	68,01 (8,98)	73,12 (1,49)	0,38
	média (DP)	68,10 (8,63)	73,26 (1,40)	0,36

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: dB = decibéis; DP = desvio padrão.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Tabela 4: – Valores médios e desvio padrão das medidas de intensidade (dB) obtidas no ponto central das vogais produzidas por homens e mulheres com DP ou neurologicamente saudáveis

	vogais	GParkinson	GControle	p-valor	effect (r)
homens	/a/	65,04 (4,76)	67,58 (7,64)	0,55	0,22
	/i/	68,29 (6,67)	68,71 (9,41)	0,93	0,03
	/u/	65,72 (6,73)	68,01 (8,98)	0,68	0,16
	média DP)	66,35 (5,88)	68,10 (8,63)	0,72	0,13
mulheres	/a/	62,57 (5,20)	72,36 (2,51)	0,01*	0,75
	/i/	63,04 (7,67)	74,30 (2,67)	0,04*	0,67
	/u/	63,80 (8,41)	73,12 (1,49)	0,10	0,57
	média (DP)	63,14 (6,89)	73,26 (1,40)	0,04*	0,67

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: dB = decibéis; DP = desvio padrão.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

3.3 Formantes vocálicos, triângulo e área do espaço vocálico

A posição dos articuladores supraglotais – especialmente a posição da língua, o arredondamento ou não dos lábios e o grau de abertura da mandíbula – determina a identidade dos sons da fala. A posição da língua, durante a produção das vogais, permite a configuração de tubos acústicos que geram ressonâncias

– os formantes – e aumentam a amplitude do som em torno desses formantes (BARBOSA; MADUREIRA, 2015).

Os valores dos formantes estão estreitamente relacionados com os movimentos do corpo da língua nos eixos vertical e anteroposterior. O primeiro formante (F1) varia de acordo com a altura da língua em uma relação inversa, ou seja, quanto mais alta estiver a língua, mais baixo será o valor da frequência de F1; o segundo formante (F2), por sua vez, responde à posição da língua no eixo sagital de forma que quanto mais anterior for a sua posição, maior será o valor de F2. O clássico triângulo vocálico é uma representação gráfica dessa relação (BARBOSA; MADUREIRA, 2015; KENT; READ, 2015).

A configuração do tubo acústico é fundamental na determinação dos formantes e, além da forma, seu comprimento também deverá ser considerado, pois quanto menor o comprimento do trato, maiores serão os valores das frequências dos formantes. Nesse sentido, os valores absolutos das frequências dos formantes são influenciados por diferenças no tamanho do trato vocal, decorrentes do sexo e da idade do falante (BARBOSA; MADUREIRA, 2015; KENT; READ, 2015).

As medidas dos formantes F1 e F2 das vogais /i/, /a/ e /u/ possibilitam a construção do triângulo vocálico, em um plano bidimensional xy , no qual as coordenadas ($F2_{\text{vogal}}$, $F1_{\text{vogal}}$) determinam os vértices do triângulo. Considerando que os formantes são sensíveis à variável sexo, o mesmo pode ocorrer com o triângulo vocálico sendo, por isso, necessário separar falantes masculinos e femininos.

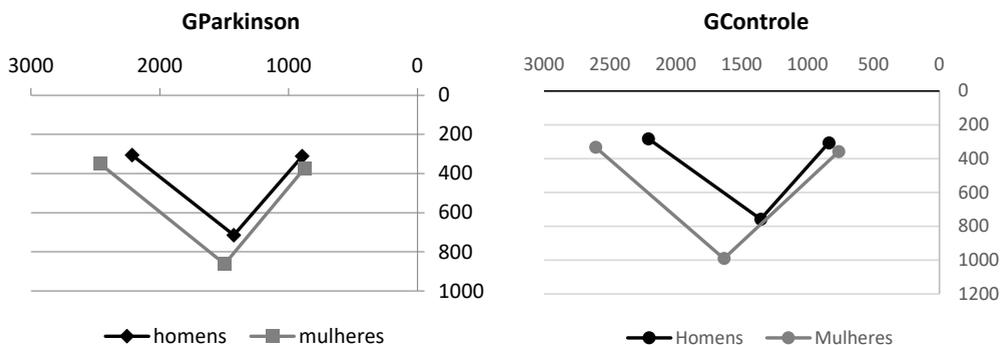
Com os dados obtidos neste estudo, foram elaborados os triângulos apresentados nas Figuras 1 e 2. Na Figura 1, é possível visualizar a diferença entre os triângulos obtidos para homens e mulheres, independente do fato de tratar-se de um participante do GParkinson ou do GControle. Assim, os triângulos vocálicos de falantes masculinos são, visualmente, menores do que aqueles obtidos para falantes femininos, corroborando resultados de outros estudos, como o de Lansford e Liss (2014b), destacando-se que, para falantes saudáveis, essa diferença é bastante acentuada.

A mera inspeção visual do triângulo pode não ser suficiente para identificar um falante com DP, sendo necessário representar a redução da amplitude dos movimentos articulatorios e consequente centralização do triângulo por meio do cálculo da área do espaço vocálico.

A área do espaço vocálico (VSA – *vowel space área*) pode ser considerada um índice da precisão articulatória, da habilidade de coordenação entre os movimentos da língua e a abertura/fechamento da mandíbula. É calculada por meio da expressão:

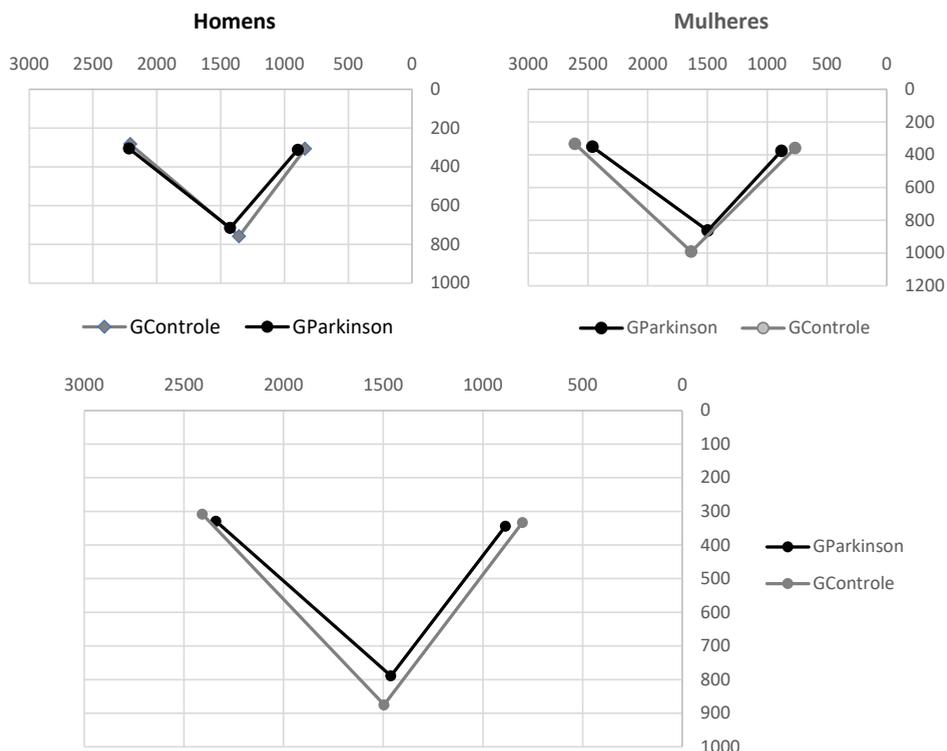
$$VSA = \text{ABS}((F1i * (F2a - F2u) + F1a * (F2u - F2i) + F1u * (F2i - F2a)) / 2) \quad (\text{LIU; TSAO; KUHL, 2005; SAPIR et al., 2010}).$$

Figura 1 – Triângulos vocálicos elaborados a partir dos valores médios de F1 e F2 das vogais /i/, /a/ e /u/ produzidas por homens e mulheres dos grupos estudados.



Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

]Figura 2 – Triângulos vocálicos construídos a partir dos valores médios de F1 e F2 das vogais /i/, /a/ e /u/ produzidas por falantes com doença de Parkinson e falantes neurologicamente saudáveis.



Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Com o cálculo do VSA (Tabela 5), confirmam-se as observações sobre a configuração gráfica do triângulo: a sutil diferença entre os homens dos dois grupos não é significativa ($p=0,46$), enquanto para as mulheres obtém-se um valor $-p=0,03$, mesmo para uma amostra pequena e participantes com DP sem disartria visível. Esse achado é coincidente com o estudo de Skodda, Visser e Schlegel (2011), no qual a área do espaço vocálico foi significativamente menor apenas para as mulheres e sem relação com os sintomas motores da DP.

Tabela 5 – Médias e desvio padrão da área do espaço vocálico (VSA)

	Área do espaço vocálico (Hz ²)		p-valor	Cohen -d	(r)
	média (desvio padrão)				
	GParkinson	GControle			
homens	267341 (85254,35)	324107 (139826)	0,46	0,54	0,28
mulheres	397464,3 (113158,7)	594193,7 (72843,98)	0,03*	1,90	0,71

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: VSA = vowel space área; Hz = Hertz.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Até o momento, não há consenso quanto à eficácia da área do triângulo vocálico para a adequada caracterização da fala disártrica. As razões para as inconsistências encontradas com o uso do cálculo da área do espaço vocálico ainda permanecem no campo das hipóteses. Sapir et al. (2010) sugerem que a medida poderia ser útil apenas para estudos pré e pós-tratamento, em comparações intrafalantes e não interfalantes.

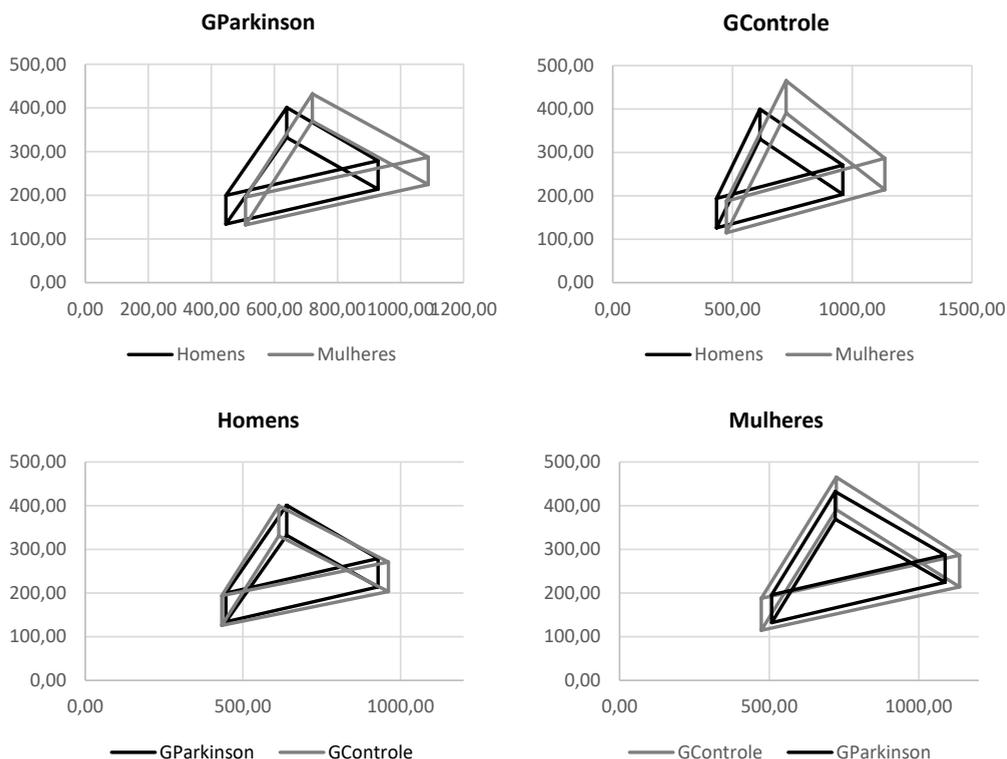
3.4 Prisma acústico-articulatório

Uma das metas deste estudo era a proposição de novas medidas que incluíssem os valores de intensidade, pois estes representam uma característica bastante relevante na fala disártrica. Para tal, são apresentados o prisma acústico-articulatório e o índice de articulação e intensidade vocálica.

O ponto de partida do prisma é o clássico triângulo vocálico, representado no plano bidimensional xy , por meio das coordenadas das vogais /i/, /a/ e /u/. As coordenadas são obtidas por meio dos valores de F2 (que correspondem aos valores de x) e F1 (correspondentes aos valores de y). Com a adição do eixo z , cada par ordenado foi convertido em um terço ordenado com a inclusão do valor de intensidade como a terceira variável.

Assim, com os valores absolutos dos formantes F1 e F2 e intensidade das vogais /a/, /i/ e /u/, foram obtidos os prismas acústico-articulatórios. A fim de investigar se o prisma acústico-articulatório também é sensível ao sexo do falante, foram comparados falantes femininos e masculinos, dentro de cada grupo (Figura 3).

Figura 3 – Projeção do prisma acústico-articulatório das vogais produzidas por homens e mulheres com doença de Parkinson (GParkinson) ou neurologicamente saudáveis (GControle).



Fonte: Dados da pesquisa, Macció, 2017/2018.

Entre homens e mulheres, há diferença significativa para o volume do prisma no GControle (Tabelas 6 e 7). Na comparação entre os grupos, percebe-se que a diferença ocorre para as mulheres, com resultados muito próximos daqueles obtidos com a área do espaço vocálico. Um exame dos resultados permite verificar que a inclusão da medida de intensidade das vogais (representada no eixo z) no prisma, proporcionou um aumento da sensibilidade desse parâmetro, em relação à área do triângulo vocálico.

Tabela 6 – Médias e desvio padrão do volume do prisma acústico-articulatório (VPAA)

VPAA					
média (desvio padrão)					
	Homens	Mulheres	p-valor	Cohen -d	(r)
GParkinson	17210222 (4251718)	26214452 (10047637)	0,07	1,16	0,53
GControle	22101390(9798563)	43653479 (5434966)	0,03*	2,72	0,85

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: VPAA = volume do prisma acústico-articulatório.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Tabela 7 – Médias e desvio padrão do volume do prisma acústico-articulatório (VPAA)

VPAA					
média (desvio padrão)					
	GParkinson	GControle	p-valor	Cohen -d	(r)
homens	17210222 (4251718)	22101390(9798563)	0,31	0,77	0,38
mulheres	26214452 (10047637)	43653479 (5434966)	0,02*	1,94	0,72

Teste t-Student para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: VPAA = volume do prisma acústico-articulatório.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

3.5 Índices

O índice de centralização formântica (FCR – *formant centralization ratio*) foi proposto por Sapir, Ramig, Spielman e Fox, em 2010, e é calculado por meio da expressão $(F2u+F2a+F1i+F1u)/(F2i+F1a)$. Seu valor deve situar-se entre zero e 2,0, sendo que os valores maiores a 1,0 são indicadores de centralização. Quanto maior o valor, maior a constrição do triângulo vocálico.

O fato de os valores dos formantes poderem ser expressos por meio de uma razão possibilita que as variações interfalantes sejam superadas e o índice seja minimamente sensível a estas. Na pesquisa de Sapir e colaboradores (2010), o FCR mostrou-se eficaz, e mais sensível que a área do espaço vocálico, na identificação de uma fala disártrica, independente da idade e do sexo do falante.

Esse desempenho, entretanto, não pode ser confirmado por outros estudos, nos quais o FCR apresentou boa especificidade (sucesso ao identificar falantes saudáveis), mas baixa sensibilidade (falha ao identificar falantes disártricos) (LANSFORD e LISS, 2014a e 2014b).

O índice de articulação vocálica (VAI – *vowel articulation index*) também foi desenvolvido com o propósito de superar a sensibilidade interfalantes observada nas medidas da área do espaço vocálico. Quanto maior o valor do índice, menor a centralização do triângulo e mais precisa é a articulação (KNOWLES et al., 2018; ROY et al., 2009; RUSZ et al., 2017; RUSZ et al., 2013).

Pode ser calculado por meio da expressão $(F2i+F1a)/(F2u+F2a+F1i+F1u)$, que é o inverso do índice de centralização formântica. No índice de articulação vocálica, espera-se que os valores dos formantes, no numerador, diminuam enquanto os valores, no denominador, aumentem, quanto maior a constrição do espaço vocálico (KNOWLES et al., 2018; SKODDA; VISSER; SCHLEGEL, 2011).

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8. Como os dois índices são considerados insensíveis à variável sexo (*gender-independent*), foram calculadas a média e desvio padrão para falantes masculinos e femininos agrupados.

Tabela 8 – Médias e desvio padrão dos índices obtidos para falantes com doença de Parkinson (GParkinson) e falantes saudáveis (GControle)

	GParkinson	GControle	p-valor	Cohen -d	(r)
ICF	0,97 (0,09)	0,90 (0,09)	0,15	0,73	0,34
IAV	1,04 (0,10)	1,12 (0,11)	0,14	0,76	0,35

Teste t-Student; para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: ICF = índice de centralização formântica; IAV = índice de articulação vocálica.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Para o índice de centralização formântica (ICF), quanto maior o valor, maior a constrição do espaço vocálico. Observam-se valores maiores para os falantes do GParkinson sem, entretanto, apresentar uma diferença significativa em relação ao GControle. No índice da articulação vocálica, inverso do ICF, constata-se quase o mesmo resultado.

O índice de Articulação e Intensidade Vocálica (Tabela 9), por sua vez, mostrou-se bastante robusto à diferenciação entre falantes com DP e falantes neurologicamente saudáveis, quando comparado ao Índice de Centralização Formântica e ao Índice de Articulação Vocálica.

Tabela 9 – Médias e desvio padrão dos índices obtidos para falantes com doença de Parkinson (GParkinson) e falantes saudáveis (GControle)

	GParkinson	GControle	p-valor	Cohen -d	(r)
ICF	0,97 (0,09)	0,90 (0,09)	0,15	0,73	0,34
IAV	1,04 (0,10)	1,12 (0,11)	0,14	0,76	0,35
IAIV	67,31 (9,04)	79,17 (11,54)	0,02*	1,19	0,51

Teste t-Student; para amostras independentes;

* Valores significativos ($p \leq 0,05$).

Legenda: ICF = índice de centralização formântica; IAV = índice de articulação vocálica; IAIV = Índice de articulação e intensidade vocálica.

Fonte: Dados da pesquisa, Maceió, 2017/2018.

Os novos parâmetros, aqui propostos, não requerem equipamentos e softwares sofisticados, nem cálculos complicados e inacessíveis e demonstram que a incorporação das medidas de intensidade das vogais pode contribuir para o aumento da sensibilidade na diferenciação de uma fala disártrica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Falantes com doença de Parkinson apresentam padrões acústicos diferenciados nas medidas de intensidade, frequência fundamental e formantes vocálicos. Devido à redução no controle e mobilidade das estruturas fonoarticulatórias, observa-se uma constrição no triângulo vocálico e diminuição na área do espaço vocálico. Os índices de articulação vocálica também demonstram a tendência à centralização dos movimentos da língua, durante a fala.

A diminuição da intensidade é uma característica marcante da fala disártrica e, até o momento, havia sido negligenciada nas medidas acústicas. O Prisma Acústico-Articulatório e o Índice de Articulação e Intensidade Vocálica incorporam as medidas de intensidade e contribuem para o aumento da sensibilidade desses parâmetros, na identificação da fala na doença de Parkinson.

Os dois novos parâmetros acústico-articulatórios propostos por este estudo, com a inclusão das medidas de intensidade, são promissores e representam um avanço para a avaliação objetiva da fala, na doença de Parkinson, com grande potencial para aplicação em estudos futuros, contemplando outras patologias e demais áreas com interesse no tema.

REFERÊNCIAS

- BANG, Young-im *et al.* Acoustic characteristics of vowel sounds in patients with Parkinson disease. **Neurorehabilitation**, v. 32, n. 3, p. 649-654, 2013.
- BARBOSA, Plínio A.; MADUREIRA, Sandra. **Manual de fonética acústica experimental: aplicações a dados do português**. São Paulo: Cortez. 2015. 591p.
- BEHLAU, Mara; MADÁZIO, Glaucya; FEIJÓ, Deborah; PONTES, Paulo. Avaliação de voz. *In*: BEHLAU, Mara. (org.). **Voz: o livro do especialista**. Rio de Janeiro: Revinter. v. 1. Cap. 3. 2008. p. 83-245.
- BOERSMA, Paul; WEENINK, David. **Praat: doing phonetics by computer**. Versão 6.0.25. Amsterdam: University of Amsterdam, 2017. Software. Disponível em: <http://www.praat.org>.
- BRASOLOTTO, Alcione Ghedini; WOLF, Aline Epifânio; DIAFÉRIA, Giovana; AZEVEDO, Luciana Lemos de. Voz na senescência e na doença de Parkinson. *In*: MARCHESAN, Irene Queiroz; SILVA, Hilton Justino da; TOMÉ, Marileda Cattelan. (orgs). **Tratado das especialidades em Fonoaudiologia**. São Paulo: Guanabara-Koogan. 2014. pp. 171-177.
- CRUTTENDEN, Alan. **Intonation**. 2. ed. London: Cambridge University Press. 1997.
- DYKSTRA, Allyson D.; ADAMS, Scott G.; JOG, Mandar. Examining the relationship between speech intensity and self-rated communicative effectiveness in individuals with Parkinson's disease and hypophonia. **Journal of Communication Disorders**, v. 56, p. 103-112, 2015.
- FORREST, Karen; WEISMER, Gary. Acoustic analysis of motor speech disorders. *In*: McNEIL, Malcolm R. (ed.). **Clinical management of sensorimotor speech disorders**. 2. ed. New York: Thieme. 2009. pp. 46-63.
- FOX, Cynthia M.; RAMIG, Lorraine Olson. Vocal Sound Pressure Level and Self-Perception of Speech and Voice in Men and Women with Idiopathic Parkinson Disease. **American Journal of Speech-language Pathology**, v. 6, n. 2, p. 85-94, maio 1997.
- FOX, John; BOUCHET-VALAT, Milan. **Rcmdr**: R Commander. Versão 2.2.4. Boca Raton, FL. 2018. R package. Disponível em: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>.

GOETZ, Christopher G. *et al.* Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): scale presentation and clinimetric testing results. **Movement Disorders**, v. 23, n. 15, p. 2.129-2.170, 2008.

GRICE, Martine; BAUMAN, Stefan. An introduction to intonation – functions and models. *In*: TROUVAIN, Jürgen; GUT, Ulrike. (eds.). **Non-native prosodies: phonetic description and teaching practice**. Berlin: Mouton de Gruyter. 2007. pp. 25-51.

HO, Aileen K.; IANSEK, Robert; BRADSHAW, John L. Motor instability in parkinsonian speech intensity. **Cognitive and Behavioral Neurology**, v. 14, n. 2, p. 109-116, 2001.

HSU, Sih-Chiao *et al.* Acoustic and perceptual speech characteristics of native Mandarin speakers with Parkinson's disease. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 141, n. 3, p. EL293-EL299, 2017.

KANDA, Yoshinobu. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. **Bone marrow transplantation**, v. 48, n. 3, p. 452, 2013.

KENT, Ray D.; READ, Charles. **Análise acústica da fala**. Trad.: Alexsandro Meireles. São Paulo: Cortez. 2015. 504p.

KNOWLES, Thea *et al.* Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus parameter optimization for vowel acoustics and speech intelligibility in Parkinson's disease. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, v. 61, n. 3, p. 510-524, 2018.

LAM, Jennifer; TJADEN, Kris. Clear speech variants: An acoustic study in Parkinson's disease. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, v. 59, n. 4, p. 631-646, 2016.

LANSFORD, Kaitlin L.; LISS, Julie M. Vowel acoustics in dysarthria: speech disorder diagnosis and classification. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, v. 57, n. 1, p. 57-67, 2014a.

LANSFORD, Kaitlin L.; LISS, Julie M. Vowel acoustics in dysarthria: mapping to perception. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, v. 57, n. 1, p. 68-80, 2014b.

LIRANI-SILVA, Camila; MOURAO, Lúcia Figueiredo; GOBBI, Lilian Teresa Bucken. Disartria e Qualidade de Vida em idosos neurologicamente sadios e pacientes com doença de Parkinson. **CoDAS**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 248-254, 2015.

LIU, Huei-Mei; TSAO, Feng-Ming; KUHL, Patricia K. The effect of reduced vowel working space on speech intelligibility in Mandarin-speaking young adults with cerebral palsy. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 117, n. 6, p. 3.879-3.889, 2005.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, Francisco. Trastornos del habla y la voz en la enfermedad de Parkinson. **Revista de Neurología**, v. 51, n. 9, p. 542-550, 2010.

MIRANDA, Irma Iunes; MEIRELES, Alexsandro. Descrição acústica das vogais tônicas da fala capixaba. **Letras de Hoje**, Porto Alegre, v. 47, n. 3, p. 325-332, 2012.

OKADA, Yukihiro; MURATA, M. I. H. O.; TODA, Tatsushi. Effects of levodopa on vowel articulation in patients with Parkinson's disease. **Kobe Journal of Medical Sciences**, v. 61, n. 5, p. E144-54, 2016.

OROZCO-ARROYAVE, Juan Rafael *et al.* Phonation and articulation analysis of spanish vowels for automatic detection of parkinson's disease. *In: International Conference on Speech, Text and Dialogue*, 17th, 2014, Czech Republic. SOJKA, P. *et al.* (eds.). **Proceedings** [...], pp. 374-381. 2014.

PILLING, Sergio. **Ondas, som e introdução a bioacústica**. Curso de Biofísica. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba. 2011. 23p.

POSTUMA, Ronald B. *et al.* How does parkinsonism start? Prodromal parkinsonism motor changes in idiopathic REM sleep behaviour disorder. **Brain**, v. 135, n. 6, p. 1.860-1.870, 2012.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Versão 3.4.2. Software. Disponível em: <http://www.R-project.org>. 2018.

ROY, Nelson *et al.* Articulatory changes in muscle tension dysphonia: Evidence of vowel space expansion following manual circumlaryngeal therapy. **Journal of Communication Disorders**, v. 42, n. 2, p. 124-135, 2009.

RUSZ, Jan *et al.* Comparative analysis of speech impairment and upper limb motor dysfunction in Parkinson's disease. **Journal of Neural Transmission**, v. 124, n. 4, p. 463-470, 2016.

RUSZ, Jan *et al.* Speech disorders reflect differing pathophysiology in Parkinson's disease, progressive supranuclear palsy and multiple system atrophy. **Journal of Neurology**, v. 262, n. 4, p. 992-1.001, 2015.

RUSZ, Jan *et al.* Imprecise vowel articulation as a potential early marker of Parkinson's disease: Effect of speaking task. **The Journal of The Acoustical Society of America**, v. 134, n. 3, p. 2.171-2.181, 2013.

SAPIR, Shimon; SPRECHER, Elliot; SKODDA, Sabine. Early motor signs of Parkinson's disease detected by acoustic speech analysis and classification methods. *In: MAVEBA International Workshop Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications*, 8th, Firenze, 2013. MANFREDI, Claudia. (ed.). **Proceedings and Report** [...], p. 3. 2013.

SAPIR, Shimon *et al.* Formant Centralization Ratio: A Proposal for a New Acoustic Measure of Dysarthric Speech. **Journal of Speech, Language, And Hearing Research**, v. 53, n. 1, p. 114-125, 2010.

SAPIR, Shimon; RAMIG, Lorraine; FOX, Cynthia. Speech and swallowing disorders in Parkinson disease. **Current Opinion in Otolaryngology & Head And Neck Surgery**, v. 16, n. 3, p. 205-210, 2008.

SAPIR, Shimon *et al.* 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. **Journal of Speech, Language, And Hearing Research**, v. 50, n. 4, p. 899-912, 2007.

SKODDA, Sabine *et al.* Progression of Voice and Speech Impairment in the Course of Parkinson's Disease: A Longitudinal Study. **Parkinson's Disease**, v. 2013, p. 1-8, 2013.

SKODDA, Sabine; GRÖNHEIT, Wenke; SCHLEGEL, Uwe. Abnormalities of voice quality in progressive supranuclear palsy (PSP) [abstract]. **Movement Disorders**. v. 27, n. S1, p. 1197, 2012.

SKODDA, Sabine; VISSER, Wenke; SCHLEGEL, Uwe. Vowel Articulation in Parkinson's Disease. **Journal of Voice**, v. 25, n. 4, p. 467-472, 2011.

TJADEN, Kris *et al.* Acoustic and Perceptual Consequences of Clear and Loud Speech. **Folia Phoniatica Et Logopaedica**, v. 65, n. 4, p. 214-220, 2013.

TJADEN, Kris; LAM, Jennifer; WILDING, Greg. Vowel Acoustics in Parkinson's Disease and Multiple Sclerosis: Comparison of Clear, Loud, and Slow Speaking Conditions. **Journal of Speech, Language, And Hearing Research**, v. 56, n. 5, p. 1.485-1.502, 2013.

VAICIUKYNAS, Evaldas *et al.* Detecting Parkinson's disease from sustained phonation and speech signals. **PlosOne**, v. 12, n. 10, p. e185613, 2017.

WALSH, Bridget; SMITH, Anne. Basic parameters of articulatory movements and acoustics in individuals with Parkinson's disease. **Movement Disorders**, v. 27, n. 7, p. 843-850, 2012.

