

Os impactos vocais da doença de Parkinson em idosos

The vocal impacts of Parkinson's disease in the elderly

Lucas Manca Dal'Ava*

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

Plínio Almeida Barbosa**

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

Resumo: Este estudo teve como objetivo analisar as diferenças nos parâmetros acústicos de diferentes dimensões fonéticas em discursos espontâneos e leitura em voz alta entre idosos, com foco específico em avaliar o impacto da doença de Parkinson (DP) e do envelhecimento saudável nos biomarcadores de fala de idosos, incluindo parâmetros acústico-prosódicos. Analisamos gravações de 32 falantes idosos brasileiros nativos, considerando três parâmetros acústico-prosódicos: frequência fundamental, duração e intensidade. Nossos resultados sugerem que os fatores *estilo de fala* e *estágios de gravidade da DP* estão correlacionados com a taxa de articulação, inclinação de LTAS em frequências médias, *shimmer*, mediana de F0, mínimo de F0, desvio padrão da primeira derivada positiva de F0 e coeficiente de variação da intensidade.

Palavras-chave: Biomarcadores de fala. Doença de Parkinson. Análise acústica. Envelhecimento vocal.

Abstract: This study aimed to assess differences in acoustic parameters from different phonetic dimensions in spontaneous and reading aloud speeches among the elderly, with a specific focus on evaluating the impact of Parkinson's disease and healthy aging on speech biomarkers of elderly individuals, including acoustic-prosodic parameters. We analyzed recordings from 32 native Brazilian speakers considering three prosodic-acoustic parameters: fundamental frequency, duration, and intensity. Our results suggests that the factors *speaking style*, and *PD severity stages* are correlated to the articulation rate, medial-frequency long-term average spectrum (LTAS) slope, shimmer, F0 median, F0 minimum, standard deviation of the first positive derivative of F0, and intensity coefficient of variation.

Keywords: Speech biomarkers. Parkinson's disease. Acoustic analysis. Vocal aging.

1 INTRODUÇÃO

Neste estudo, investigamos os acometimentos fônicos, especificamente prosódicos, da doença de Parkinson (DP) na população idosa brasileira do estado de São Paulo. Essa doença afeta de 1% a 2% da população idosa mundial, com idade acima de 65 anos (Zardeto-Sabec et al., 2018) e pode ser considerada a segunda doença

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Linguística, Departamento de Linguística, Instituto de Estudos da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil; lucasmdalava@gmail.com

** Professor Titular do Departamento de Linguística, Instituto de Estudos da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil; pbarbosa@unicamp.br

neurodegenerativa mais comum em idosos no mundo (Fernandes; Andrade Filho, 2018). A prevalência na população brasileira é estimada em 3,3% (Barbosa et al., 2006).

Por ser uma doença que afeta principalmente os idosos, as primeiras alterações fônicas podem ser confundidas com as características do envelhecimento natural da voz, presbifonia. Tanto para os idosos saudáveis quanto para os diagnosticados com DP, espera-se a presença de sintomas como tremor e rigidez muscular (Ikuta et al., 2012). Espera-se que as alterações fônicas se agravem gradualmente com o avanço da idade e estágios de severidade da DP (Hoehn; Yahr, 1967).

Para estudar os biomarcadores¹ de parâmetros prosódico-acústicos de idosos com DP (Appakaya; Sankar, 2018), é possível analisar as variações de frequência fundamental (F0) para auxiliar no diagnóstico diferencial e durante o acompanhamento clínico (Dao et al., 2022). Dentre os parâmetros fônicos, a prosódia é o aspecto mais relevante, pois traz informações dos aspectos biológicos, psicológicos e sociais do falante, nos levando a uma descrição abrangente da fala (Lirani-Silva; Mourão; Gobbi 2015). A prosódia é o conjunto de características suprasegmentais da fala, abrangendo entonação, ritmo, duração, intensidade e pausas, além de dimensões linguísticas, cognitivas e sociais. Linguisticamente, a prosódia organiza a fala em constituintes e permite chamar a atenção para unidades linguísticas por sua função de proeminência, bem como distinguir tipos de frase. Cognitivamente, envolve a percepção e interpretação pelo ouvinte, como compreender intenções comunicativas. Socialmente, a prosódia transmite identidade e regula interações sociais (Ladd, 2019). Acrescenta-se que a seleção dos parâmetros usados como biomarcadores carece de sistematização e existem poucos trabalhos em língua portuguesa abordando esse tema.

Neste estudo, foram considerados três parâmetros prosódico-acústicos para analisar as alterações fônicas dos idosos: F0 (correlato acústico da vibração das pregas vocais e sua variabilidade é responsável pela entonação), duração (correlato físico correspondente ao tempo de articulação de uma unidade linguística) e intensidade (correlato psico-acústico da amplitude).

As alterações fônicas em pessoas idosas em processo de envelhecimento saudável estão principalmente relacionadas ao próprio processo e são predominantemente graduais, envolvendo a perda de elasticidade nas pregas vocais, redução na frequência fundamental e outros fatores associados à idade. As alterações fônicas na DP são diretamente ligadas a distúrbios neurológicos específicos, como bradicinesia, rigidez muscular e incoordenação pneumofonoarticulatória. A bradicinesia na DP resulta em diminuição da F0 e da intensidade da voz, acompanhada de alterações na taxa de articulação² devido à lentidão na execução de movimentos

¹ Os biomarcadores de parâmetros prosódico-acústicos ou da fala podem ser analisados por meio de metodologia específica e comparados com valores de referência de uma determinada população, como funcionam os exames clínicos laboratoriais. Esses biomarcadores são medidas ou características específicas da fala que podem ser usadas para identificar, monitorar ou avaliar condições médicas, distúrbios neurológicos, distúrbios da comunicação ou outros estados de saúde. Esses biomarcadores são baseados em análises quantitativas e qualitativas da fala, que podem incluir elementos como padrões de entonação, taxa de elocução, articulação, volume, ritmo e outros aspectos acústicos e linguísticos da comunicação verbal.

² A taxa de articulação mede a taxa de produção dos sons durante a fala sem considerar as pausas silenciosas, possibilitando, assim, revelar mais claramente aspectos como a hipoarticulação que

voluntários. Quanto à taxa de elocução, os resultados são divergentes: alguns estudos apontam redução significativa (Ludlow; Connor; Bassich, 1987), enquanto outros mostram variações opostas (Ackermann; Konczak; Hertrich, 1997). Patel, Parveen e Anand (2016) analisaram a prosódia em pessoas com DP, incluindo estrutura frasal, acento, taxa de elocução, frequência fundamental, intensidade e pausas. Os déficits de prosódia incluíram monotonia, volume constante e alterações na taxa de elocução e pausas.

A incoordenação pneumofonoarticulatória pode causar pausas imprevistas durante a fala, resultando em um padrão de fala irregular. Adicionalmente, a presença de fendas glóticas e tremor na DP contribuem para um aumento do esforço vocal. Apesar de haver alguma sobreposição nas características fônicas, a distinção, muitas vezes, reside nas causas subjacentes e nas manifestações clínicas. Estudos identificaram uma disritmia na fala de pessoas com DP, afetando a fluência e a relação fala/pausa (Lowit et al., 2018).

No grupo de idosos com DP, analisamos se há diferença significativa entre os resultados dos parâmetros prosódico-acústicos entre dois graus de severidade da DP e dois estilos de fala. O grau de severidade é medido pela Escala de Estágios de Incapacidade de Hoehn e Yahr (Hoehn; Yahr, 1967) de acompanhamento clínico longitudinal, aplicada por meio de um questionário que compõe a avaliação clínica e o diagnóstico diferencial realizado em atendimentos ambulatoriais de hospitais e clínicas especializadas em neurologia. Gravamos dois estilos de fala para cada indivíduo: a leitura de um parágrafo, seguido de um breve comentário espontâneo sobre o conteúdo lido.

Devido à DP, os indivíduos podem apresentar comprometimentos fônicos inclusive na fase prodromal³ da doença. No segundo e terceiro estágios, as queixas vocais são relatadas com maior frequência (Braak et al., 2002; Greffard et al., 2006). A partir do segundo estágio da DP, ocorrem alterações no pitch, na intensidade, na frequência fundamental (F0), nas taxas de elocução e articulação, o que compromete a inteligibilidade da fala em ambos os sexos (Ackermann; Konczak; Hertrich, 1997). Ademais, cerca de 90% dos indivíduos com DP desenvolvem algum distúrbio vocal (Barbosa et al., 2006).

Os resultados deste estudo contribuem para melhor descrever os efeitos do envelhecimento nos parâmetros fônicos e fornecer subsídios para o aprimoramento de intervenções terapêuticas direcionadas à melhoria da comunicação e da qualidade vida da população idosa com DP.

lentifica a produção sonora. A taxa de elocução considera o tempo total de fala, incluindo as pausas silenciosas, refletindo a cadência geral.

³ Prodromal é um termo utilizado para se referir ao estágio inicial ou pré-sintomático de uma doença. É a fase que antecede o surgimento dos sintomas característicos de uma condição médica. Na DP, a fase prodromal se refere ao período antes do início dos sintomas motores clássicos, como tremores e rigidez muscular. Durante essa fase, algumas mudanças sutis podem ocorrer, como alterações na função olfativa, constipação, distúrbios do sono e outros sinais que podem indicar o desenvolvimento posterior da doença.

2 OBJETIVO

Este estudo tem como propósito analisar e sistematizar as diferenças nos parâmetros prosódico-acústicos entre um grupo experimental de idosos com DP, subdivididos em dois grupos de acordo com a severidade da doença, e um grupo controle de idosos saudáveis em dois estilos de fala: leitura e comentário espontâneo.

3 MÉTODO

Esta pesquisa delinea-se como um estudo descritivo, conduzido de acordo com os princípios éticos estabelecidos na Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Campinas (Parecer: 5.030.137). Os participantes receberam um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para assinatura, no qual foram informados sobre os objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa. O sigilo e a privacidade dos participantes foram preservados. Os participantes tinham entre 60 e 93 anos, eram falantes do português brasileiro e residentes do estado de São Paulo. Ademais, os idosos do grupo experimental tinham os laudos médicos da DP e as descrições dos sintomas nos seus prontuários. A ampla faixa etária contribui para a robustez dos resultados, oferecendo uma visão abrangente dos efeitos desses parâmetros nos dados de voz.

Foram analisadas gravações de dois grupos de idosos. O primeiro é um grupo controle com 16 idosos saudáveis. O segundo é o grupo experimental com 16 idosos diagnosticados com DP e subdivididos igualmente de acordo com o segundo e terceiro estágios da escala de Hoehn e Yahr. Os dois grupos e os dois subgrupos tinham o mesmo número de participantes de ambos os sexos.

Com o objetivo de selecionar os idosos no segundo e terceiro estágios da DP, foram considerados os sintomas descritos nos prontuários disponíveis no Hospital de Clínicas da Universidade Estadual de Campinas.

3.1 Participantes

Todos os participantes estavam em estado *on*⁴ da medicação dopaminérgica (Armstrong; Okun, 2020) no momento da coleta, e, com o objetivo de caracterizar os participantes da pesquisa, foram compiladas informações em quadros, abrangendo idade, escolaridade, profissão e tempo de acompanhamento fonoaudiológico. Esses elementos se mostram pertinentes para a análise dos parâmetros prosódico-acústicos, pois a profissão pode sugerir o uso recorrente da voz, como é o caso de profissionais vocais (tais como cantores, professores, locutores e atores). A escolaridade dos participantes auxilia na consideração de possíveis diferenças na habilidade de leitura e comunicação vocal, mas esse fator não foi aqui considerado. O tempo de acompanhamento fonoaudiológico foi verificado no prontuário. Foram feitas

⁴ Estado *on* na doença de Parkinson refere-se ao período em que os sintomas motores da doença estão sob controle devido à medicação. Durante esse estado, os pacientes geralmente apresentam, mesmo que temporariamente, uma melhora na mobilidade, diminuição do tremor, aumento da fluidez nos movimentos e melhora geral na funcionalidade. Isso ocorre em contraste com o estado *off*, quando os sintomas retornam ou se agravam devido ao declínio dos efeitos da medicação.

perguntas sobre os hábitos nocivos à voz, os mais significativos estão descritos nos quadros 1, 2 e 3.

A nomenclatura adotada para nomear os arquivos de áudio das gravações seguiu a sequência de critérios e ordem: 1. Indicação de Controle (CT) ou Experimental (DP); 2. Identificação de gênero Masculino (M) ou Feminino (F); 3. Letra para distinguir cada participante individualmente. A seguir, encontram-se os quadros com as informações relativas a idade, escolaridade, profissão e hábitos prejudiciais à voz dos participantes.

Quadro 1 – Grupo Controle de idosos em processo de envelhecimento saudável.

Participante	Idade	Escolaridade	Profissão	Hábitos nocivos à voz ao longo da vida
CTFC	61	Superior Completo	Advogada	Nenhum relatado
CTFG	79	Superior Completo	Assistente Social	Nenhum relatado
CTFL	68	Ensino Médio Completo	Costureira	Nenhum relatado
CTFM	62	Ensino Superior Completo	Atendente	Nenhum relatado
CTFO	66	Ensino Médio Completo	Recepcionista	Nenhum relatado
CTFR	62	Ensino Superior Completo	Professora de Ensino Fundamental	Nenhum relatado
CTFS	65	Ensino Superior Completo	Professora de Ensino Médio	Nenhum relatado
CTFI	67	Ensino Superior Completo	Professora de Ensino Superior	Nenhum relatado
CTMD	66	Ensino Médio Completo	Florista	Nenhum relatado
CTMC	60	Ensino Superior Completo	Técnico em Informática	Nenhum relatado
CTMG	62	Ensino Superior Completo	Auxiliar Administrativo	Nenhum relatado
CTMN	76	Ensino Superior Completo	Garimpeiro	Nenhum relatado
CTML	62	Ensino Médio Completo	Agricultor	Nenhum relatado
CTMD	62	Ensino Superior Completo	Auxiliar administrativo	Nenhum relatado
CTMT	62	Ensino Superior Completo	Engenheiro Civil	Nenhum relatado

CTMP	63	Ensino Superior Completo	Administrador de Empresas	Nenhum relatado
------	----	--------------------------	---------------------------	-----------------

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2 – Grupo Experimental de idosos com DP no segundo estágio da escala de Hoehn e Yahr.

Participante	Idade	Escolaridade	Profissão	Hábitos nocivos à voz ao longo da vida	Tempo de acompanhamento fonoaudiológico
DPFC	65	Ensino Médio Completo	Dona de Casa	Nenhum relatado	6 anos e 2 meses
DPFI	66	Ensino Técnico Completo	Atendente	Nenhum relatado	3 anos e 0 meses
DPFJ	64	Ensino Fundamental Completo	Dona de Casa	Nenhum relatado	2 anos e 6 meses
DPFS	61	Ensino Superior Completo	Dona de Casa	Nenhum relatado	4 anos e 2 meses
DPMJ	70	Ensino Médio Completo	Garimpeiro	Nenhum relatado	2 anos e 3 meses
DPMK	73	Ensino Fundamental Completo	Vendedor	Fumante por 10 anos e parou há 5 anos	4 anos
DPMM	69	Ensino Básico Completo	Agricultor	Fumante por 5 anos e parou há 15 anos	2 anos e 6 meses
DPMR	70	Ensino Básico Completo	Vendedor	Nenhum relatado	3 anos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 3 – Grupo Experimental de idosos com DP no terceiro estágio da escala de Hoehn e Yahr.

Participante	Idade	Escolaridade	Profissão	Hábitos nocivos à voz ao longo da vida	Tempo de acompanhamento fonoaudiológico
DPFY	71	Ensino Técnico Completo	Professora	Nenhum relatado	2 anos e 6 meses
DPFX	70	Ensino Médio Completo	Dona de Casa	Nenhum relatado	3 anos
DPFD	68	Ensino Médio Completo	Dona de Casa	Nenhum relatado	3 anos
DPFT	65	Ensino Superior Completo	Recepcionista	Nenhum relatado	4 anos
DPMA	93	Ensino Superior Completo	Advogado	Fumante por 20 anos	4 anos

DPMH	68	Ensino Superior Completo	Professor de Línguas	Nenhum relatado	2 anos e 6 meses
DPMN	70	Ensino Médio Completo	Garimpeiro	Nenhum relatado	1 ano e 6 meses
DPMW	66	Ensino Fundamental Completo	Vendedor	Nenhum relatado	2 anos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Do grupo experimental, nove participantes estavam em acompanhamento pelo ambulatório de DP do Hospital de Clínicas da Universidade Estadual de Campinas e em atendimento fonoaudiológico no Centro de Estudos e Pesquisa em Reabilitação “Prof. Dr. Gabriel Porto”, enquanto os outros sete participantes desse grupo realizavam acompanhamentos particulares e já haviam sido avaliados no ambulatório de DP.

3.2 Forma de coleta de dados

O tempo de coleta de dados foi de 40 minutos para cada participante. Devido à pandemia da Covid-19, ocorrida no período de coleta dos dados, e os riscos associados a ela, os participantes foram informados sobre os riscos e que apenas realizaríamos as gravações presencialmente, caso se sentissem seguros. Nesse contexto, eles tiveram a opção de gravar usando um aplicativo gratuito em seus celulares com orientações remotas ou realizar a gravação na presença do pesquisador. Quatro participantes do grupo controle e quatro participantes do grupo experimental escolheram a opção de gravação remota, enquanto os demais optaram pela gravação presencial junto ao pesquisador.

Sobre a forma de gravação, os estudos de Maryn et al. (2017) indicam que diferentes dispositivos de gravação podem introduzir variações na medição da F0. Isso ocorre devido a diferenças nas características técnicas dos dispositivos, como resposta de frequência e sensibilidade. Além disso, o ambiente de gravação, incluindo o isolamento acústico, ruídos externos e reverberação, também podem afetar a precisão das medidas da F0. Por exemplo, gravações realizadas com um celular próprio podem apresentar uma resposta de frequência limitada ou um alto nível de ruído de fundo, o que pode resultar em imprecisões na medição da F0. Por outro lado, gravações feitas em uma cabine acústica projetada para minimizar a influência de ruídos e reflexões indesejadas geralmente produzem resultados mais precisos na análise da F0.

O sinal de áudio foi gravado onde estava o participante. O nível de ruído, de um modo geral, não comprometeu as medidas feitas. Para verificar a influência do ruído sobre a qualidade das medidas acústicas, inspecionamos o traçado de F0 gerado pelo Praat versão 6.4.07 (Boersma; Weenink, 2024) pela busca nos limites que dão a melhor continuidade do traçado, sem saltos bruscos. Não foram encontradas alterações que impactassem os descritores aqui usados. Segundo Maryn e colegas (2017), os parâmetros *shimmer*, *jitter* e relação harmônico-ruído (HNR) podem ser influenciados pelo ruído ambiente, comprometendo a precisão das análises acústicas. Além disso, consideramos que a ênfase espectral (*emph*) e o coeficiente de variação de intensidade (*cvint*) também podem ser afetados. No entanto, para avaliar o impacto do ruído de ambiente nesses parâmetros, analisamos a influência das gravações com

menores valores da relação sinal-ruído (SNR) nos resultados do cálculo do tamanho de efeito⁵.

Este estudo foi realizado a partir de amostras de leitura de texto e de comentários espontâneos. Esses estilos foram selecionados pela sua relevância na comunicação cotidiana e na avaliação clínica da fala. A leitura proporciona uma análise controlada da prosódia, enquanto o comentário espontâneo reflete a fala em um contexto próximo ao da conversa, capturando nuances que variam com o contexto e auxiliando na compreensão das alterações prosódicas no envelhecimento e na DP.

Os participantes foram solicitados a ler um parágrafo de 68 palavras. Em seguida, fizeram ao menos um comentário espontâneo sobre o trecho lido. A escolha do seguinte parágrafo se deve ao fato de abordar um tema que desperta familiaridade e memórias culturais relacionadas à alimentação de brasileiros nativos. Nesse contexto, a paçoca serve como uma referência cultural com o objetivo de evocar experiências pessoais dos participantes, como lembranças de sabores, tradições culinárias da família ou momentos compartilhados que tiveram a presença desse alimento. Segue o parágrafo adaptado de uma publicação do blog de uma empresa de produtos alimentícios (WEF, 2020) e embasado pelos estudos de Cascudo (2004, p. 157):

A paçoca servia como alimento dos garimpeiros que saíam para procurar alimentos às margens dos rios. A paçoca era feita de carne e com o passar dos anos ela foi aperfeiçoada com outros ingredientes. O nome paçoca vem de um termo indígena que quer dizer “esmagar com as mãos”, referindo-se a um modo antigo de preparo em que a carne e a farinha eram amassadas em um pilão.

O parágrafo apresenta informações sobre a origem e o processo de preparo da paçoca, o que pode despertar curiosidade e levar os participantes a compartilhar seus conhecimentos sobre o assunto espontaneamente. Após a gravação, os áudios foram analisados com uma metodologia específica que será apresentada na próxima seção.

⁵ Quatro gravações do grupo controle — duas do grupo feminino e duas do grupo masculino — apresentaram valores de SNR de 22,1 dB e 23,92 dB no grupo masculino, e 24,87 dB e 26,38 dB no grupo feminino. Para avaliar o impacto dessas gravações nos parâmetros *jitter*, *shimmer*, HNR, *cvint* e *emph*, excluímos essas gravações e repetimos os testes SRH em ambos os sexos. No grupo masculino, a ordem dos cinco parâmetros com maior tamanho de efeito permaneceu inalterada. No grupo feminino, a ordem decrescente, antes de retirar os áudios com SNR < 30 dB era: *cvint* (primeiro), *emph* (segundo), HNR (nono). Depois de retirar as duas gravações já referidas do grupo feminino, a ordem mudou para: *emph* (primeiro), HNR (terceiro) e *cvint* (quinto). Os parâmetros derivados da F0 são resistentes aos efeitos do ruído ambiental (Maryn et al., 2017, p. 248.e11), razão pela qual não atribuímos quaisquer alterações nesses parâmetros aos efeitos do ruído nas duas gravações do grupo feminino. Adicionalmente, os parâmetros de taxa de elocução e taxa de articulação, por serem resultados do número de sílabas produzidas em trechos de fala, e *sLTASmed*, por utilizar a mediana e a suavização do LTAS, são menos influenciados pelo ruído ambiental. Os parâmetros *emph* e *cvint* se mantiveram entre os cinco com maior tamanho de efeito e, embora o HNR tenha apresentado maior tamanho após a retirada das já referidas gravações, esse parâmetro apresentou consistência no nível de significância, assim como os demais parâmetros sensíveis ao ruído ambiental: *emph*, *cvint*, *jitter* e *shimmer*. Isso confere robustez aos resultados obtidos no grupo feminino.

3.3 Forma de análise dos resultados

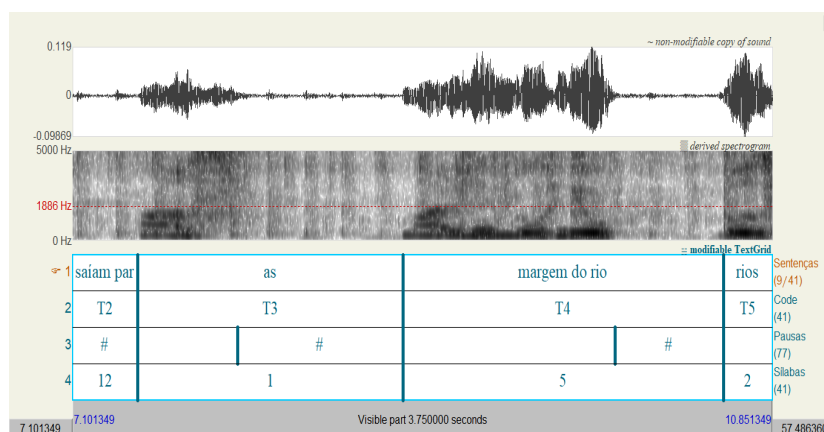
A análise acústica das gravações foi realizada utilizando um script desenvolvido por Barbosa (2023) para o programa Praat versão 6.4.07 (Boersma; Weenink, 2024), chamado Prosody Descriptor Extractor⁶. Os valores extraídos foram analisados estatisticamente no software R. O script permite a análise das seguintes classes de parâmetros acústicos, a partir das quais foram extraídos descritores estatísticos em trechos delimitados por pausas silenciosas ou preenchidas em uma camada, e pelo número de sílabas fonológicas em uma terceira camada (cf. Figura 1): i. F0 - inclui média, mediana, desvio-padrão, largura de banda e taxa de picos por segundo; ii. taxa de variação da F0 - considera a primeira derivada da F0, analisando separadamente as subidas e descidas e seus respectivos valores médios e desvios-padrão; iii. intensidade relativa - ênfase espectral, definida como a intensidade total menos a intensidade até 400 Hz (Traunmüller; Eriksson, 2000); iv. coeficiente de variação da intensidade - razão entre o desvio-padrão e a média da intensidade⁷, expressa em porcentagem; v. inclinação do LTAS (*long-term average spectrum*)⁸ - inclinação do LTAS entre as bandas 0-1000 Hz e 1000-4000 Hz (sLTASmed) e inclinação do LTAS entre as bandas 0-1000 Hz e 4000-8000 Hz (sLTAShigh), conforme descrito por Traunmüller e Eriksson (2000), Dromey (2003) e Tanner et al. (2005); e vi. relação harmônico-ruído (*Harmonicto-Noise Ratio - hnr*), *jitter* e *shimmer*. Além disso, o script permite a análise de outros parâmetros, como a frequência de ocorrência e a duração das pausas, bem como as taxas de elocução e de articulação.

Para a análise dos parâmetros, segmentamos as amostras de fala da seguinte forma: trecho a trecho das gravações nos dois estilos (leitura e comentário), com auxílio do espectrograma, marcação manual do número de sílabas fonológicas (unidades compostas por núcleo, ataque e coda) e de pausas silenciosas e preenchidas (em milissegundos). As fronteiras das pausas silenciosas foram determinadas pela primeira marcação corresponde ao final da última vogal do segmento emitido antes da pausa, e a marcação inicial corresponde ao início da primeira vogal do segmento seguinte. A razão pela escolha de tal marcação de pausa fundamenta-se nos trabalhos de Grosjean e Lane (1977) e Monnin e Grosjean (1993), pois melhor revela a hierarquia das forças prosódicas subjacentes, o que é confirmado no Português Brasileiro (PB) no trabalho de Barbosa (1999). Segue um exemplo da forma de segmentação.

⁶ O Prosody Descriptor Extractor é um script disponível online e fornece até 25 descritores prosódicos para enunciados completos ou trechos do mesmo enunciado, com o propósito de viabilizar a pesquisa sobre a relação entre a produção e a percepção da prosódia. Este script possui como parâmetros de entrada os nomes dos arquivos de Som e TextGrid correspondentes. Disponível em: <https://github.com/pabarbosa/prosodyscripts/tree/master/ProsodyDescriptorExtractor>.

⁷ Como a medida da intensidade é uma razão, ela é imune à distância do microfone.

⁸ LTAS é um espectro de potência gerado por transformada rápida de Fourier das frequências que compõem uma amostra de fala. Portanto, o LTAS é um sinal composto que representa o espectro da fonte glotal, bem como o espectro ou as características ressonantes do trato vocal. O LTAS apresenta potencial como um índice acústico de qualidade vocal, pelo menos quando a produção dos segmentos está razoavelmente intacta. Por exemplo, uma energia harmônica relativamente fraca nas frequências mais altas do espectro da fala e um aumento correspondente na inclinação espectral são características de sinais sussurrados ou hipofuncionais. Em contraste, o impacto excessivo das pregas vocais e o ruído turbulento, ambos observados na disfonia funcional, estão associados a uma energia relativamente maior nas frequências mais altas do espectro da fala (Dromey, 2003; Tanner et al., 2005).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 1 – Trechos da fala do participante do grupo experimental delimitados por pausas preenchidas ou silenciosas (#) e número de sílabas fonológicas (última camada).

3.4 Análise estatística

A análise estatística foi conduzida usando o software RStudio versão 2023.06.1 build 524 (RStudio Team, 2023) e envolveu a avaliação da normalidade dos dados por meio do teste de *Shapiro-Wilk* ($p < 0,05$) (Pagano; Gauvreau, 2018). Devido à ausência de normalidade e à heterocedasticidade dos resíduos originais, optamos por empregar a técnica estatística conhecida como extensão *Scheirer-Ray-Hare* (SRH) ao teste de *Kruskal-Wallis* (Dytham, 2011). Essa abordagem oferece uma alternativa não paramétrica à ANOVA de dois fatores, levando em consideração a interação entre os fatores e suas diferenças de classificação em cada nível, com base na soma dos quadrados das discrepâncias entre as classificações observadas e esperadas para cada nível de cada fator.

Para identificar as diferenças significativas reveladas pelo teste não paramétrico SRH, recorreremos ao teste não paramétrico de *Wilcoxon* para comparações em pares. Esse teste é utilizado para realizar comparações múltiplas entre todas as combinações possíveis de pares de grupos em um conjunto de dados. O teste de *Wilcoxon* gera uma matriz triangular de valores-p, os quais são ajustados pelo método de correção de Bonferroni.

Os graus de liberdade foram calculados com base no número de fatores e de seus níveis. Consideramos que os fatores *grupo*, *severidade* e *estilo* desempenharam papéis essenciais nos resultados da análise de variância. O fator de *severidade* da DP organiza a amostra em três níveis: um nível para o grupo controle (SC) e os estágios da escala Hoehn e Yahr da DP, um nível para o estágio 2 (DP2) e um nível para o estágio 3 (DP3); já o fator *estilo de gravação* organiza a amostra em dois níveis: um nível para o estilo comentário (C) e outro para o estilo leitura (L).

Analizamos as diferenças médias no contexto de múltiplos níveis do fator *estilo* e investigamos as combinações de níveis com o fator *severidade* para identificar diferenças significativas entre os grupos deste estudo. Não foram avaliadas diferenças entre os participantes quanto aos níveis de escolaridade. Assim, para a análise das produções, usamos o teste SRH em quatro modelos:

- (1) *estilo* e *grupo* para o grupo feminino;

- (2) *estilo* e *severidade* para o grupo feminino;
- (3) *estilo* e *grupo* para o grupo masculino;
- (4) *estilo* e *severidade* para o grupo masculino.

Devido ao grande número de parâmetros acústicos que analisamos, 24, calculamos o tamanho do efeito das variáveis dependentes (parâmetros prosódico-acústicos) em relação ao fator *estilo* em cada sexo e geramos gráficos utilizando a biblioteca *ggplot2* no RStudio versão 2023.06.1 (RStudio Team, 2023) com os resultados significativos. Na análise de variância SRH, identificamos quatro fontes de variação que explicam os resultados da variável dependente: *primeiro fator*, *segundo fator*, *interação entre fatores* e *resíduos*. O tamanho do efeito foi calculado por meio do coeficiente de eta quadrado (η^2), que representa a proporção da variância total explicada pelo fator:

$$(5) \eta^2 = \text{Soma das Quadrados dos erros devido ao fator} / \text{Soma Total dos Quadrados dos erros}$$

Essa fórmula resulta em um número que pode variar de 0 a 1 e indica a proporção da variância total do parâmetro-acústico que é explicado pelo fator *estilo*.

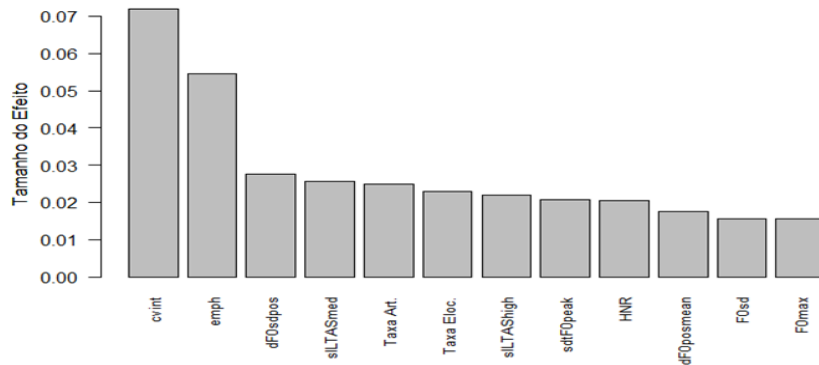
Na próxima seção, apresentaremos os resultados dos modelos de SRH e os valores *p* dos parâmetros prosódico-acústicos, de acordo com o nível de significância <0,05, e o tamanho do efeito dos parâmetros em ordem de relevância por sexo.

4 RESULTADOS

Apresentaremos primeiramente os resultados do cálculo do tamanho do efeito nos modelos SRH 2-Fatores, seguido dos parâmetros com maior tamanho do efeito nos modelos. Quanto à análise estatística dos dados acústicos, foi aplicado o teste não paramétrico SRH com todos os fatores, mostrando efeitos principais e interações significativas. As seções a seguir apresentam os parâmetros com os maiores tamanhos de efeito, juntamente com os resultados dos testes *post hoc* de *Wilcoxon* aplicando a correção de Bonferroni. Em todos os casos, $\alpha = 0,05$.

Para os modelos SRH no grupo feminino, tanto o que considera o estilo de fala em relação aos grupos controle e experimental quanto o modelo que leva em consideração o estilo de fala em relação aos grupos controle, segundo estágio da DP e terceiro estágio da DP, os valores *p* dos seguintes parâmetros prosódico-acústicos foram significativos para o fator *estilo* em ordem decrescente de tamanho do efeito: coeficiente de variação de intensidade (cvint), ênfase espectral (emph), desvio padrão da primeira derivada positiva da F0 (dF0sdpos), inclinação de LTAS em frequências médias (slLTASmed), taxa de articulação, taxa de elocução, inclinação de LTAS em frequência altas (slLTAShigh), desvio padrão das posições dos picos da F0 (sdtF0peak), relação harmônico-ruído (HNR), média da primeira derivada positiva da F0 (dF0posmean), desvio padrão da F0 (F0sd) e máximo da F0 (F0max). Segue o Gráfico 1⁹ que representa o tamanho do efeito dos parâmetros no grupo feminino.

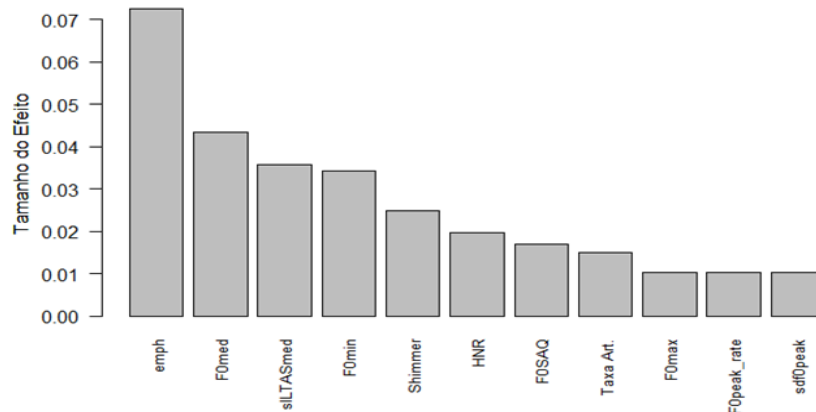
⁹ O eixo y representa o tamanho do efeito dos parâmetros prosódico-acústicos, considerando o fator *estilo* em relação aos grupos *controle* e *estágios da DP*, enquanto o eixo x representa os diferentes parâmetros. Cada barra representa um parâmetro, ordenado pelo tamanho do efeito.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1 – Tamanho do efeito no primeiro e segundo modelos SRH – feminino.

Para os modelos SRH no grupo masculino, tanto o modelo que considera o estilo de fala em relação aos grupos controle e experimental quanto o modelo que leva em consideração o estilo de fala em relação aos grupos controle, segundo estágio da DP e terceiro estágio da DP, os valores *p* dos seguintes parâmetros prosódico-acústicos foram significativos para o fator *estilo* em ordem decrescente de tamanho do efeito: ênfase espectral (*emph*), mediana da F0 (*F0med*), inclinação de LTAS em frequência média (*slLTASmed*), mínimo da F0 (*F0min*), *shimmer*, relação harmônico-ruído (*HNR*), semi-amplitude entre os quartis da F0 (*F0SAQ*), desvio padrão da primeira derivada negativa da F0 (*dF0sdneg*), taxa de articulação, máximo da F0 (*F0max*), taxa de picos da F0 (*F0peakrate*) e desvio padrão das posições dos picos da F0 (*sdF0peak*). Segue o Gráfico 2¹⁰, no qual aparece representado o tamanho do efeito dos parâmetros no grupo masculino.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 2 – Tamanho do efeito no terceiro e quarto modelos SRH – masculino.

O idoso mais velho da amostra, com 93 anos e no terceiro estágio da DP, apresenta diferenças significativas nos estilos de fala em relação ao grupo de homens no mesmo estágio nos parâmetros *F0med*, *F0min*, *cvint* e *jitter*. Para os dois estilos de

¹⁰ O eixo y representa o tamanho do efeito dos parâmetros prosódico-acústicos, considerando o fator *estilo* em relação aos grupos controle e estágios da DP, enquanto o eixo x representa os diferentes parâmetros. Cada barra representa um parâmetro, ordenado pelo tamanho do efeito.

fala em relação ao grupo DP3, o idoso mais velho apresentou médias mais baixas para F0med e F0min e médias maiores para *cvint* e *jitter*.

A ordem dos parâmetros com maior tamanho de efeito da amostra, excluindo o participante mais velho, varia, mas os cinco primeiros são consistentemente os mesmos para ambos os modelos SHR 2-Fatores: *emph* (0,09), F0med (0,05), *shimmer* (0,041), *sLTASmed* (0,04), F0min (0,038).

A seguir, apresentamos os parâmetros com maior tamanho de efeito na amostra que usamos para analisar as variáveis dependentes (parâmetros prosódico-acústicos).

4.1 Parâmetros com maior tamanho de efeito

Selecionamos os cinco parâmetros com o maior tamanho de efeito em cada modelo SRH. O primeiro e o segundo modelos compartilharam os mesmos cinco parâmetros de maior tamanho de efeito e em ordem de relevância, assim como os terceiro e quarto modelos.

Nos primeiro e segundo modelos, os parâmetros com maior efeito em ordem de relevância foram: coeficiente de variação da intensidade (*cvint*), ênfase espectral (*emph*), desvio padrão da primeira derivada positiva da F0 (*dF0sdpos*), inclinação de LTAS em frequência média (*sLTASmed*) e taxa de articulação.

Nos terceiro e quarto modelos, os parâmetros com maior efeito em ordem de relevância foram: ênfase espectral (*emph*), mediana da F0 (F0med), inclinação de LTAS em frequência média (*sLTASmed*), mínimo da F0 (F0min) e *shimmer*. A seguir, apresentamos os resultados desses parâmetros prosódico-acústicos com maior efeito na variância total. Na próxima seção, apresentamos os resultados de acordo com o sexo.

4.2 Parâmetros significativos para ambos os sexos

A ênfase espectral foi o segundo parâmetro de maior impacto na variância total entre as mulheres. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo feminino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), e estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 1 - *Post-hoc* não paramétrico da *emph* para *estilo* e *severidade* do grupo feminino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1,00	-	-	-	-
DP3.C	1,00	1,00	-	-	-
DP3.L	1×10^{-3}	9×10^{-4}	1×10^{-3}	-	-
CT.C	0,03	6×10^{-6}	0,01	4×10^{-14}	-
CT.L	2×10^{-3}	1×10^{-7}	2×10^{-3}	$< 2 \times 10^{-16}$	1,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 1, identificamos diferenças significativas na ênfase espectral entre os estágios de severidade: controle-comentário e DP2-comentário ($p = 0,03$), DP2-leitura e DP3-leitura ($p = 9 \times 10^{-4}$), controle-leitura e DP2-leitura ($p = 1 \times 10^{-7}$), controle-comentário e DP3-comentário ($p = 0,01$) e controle-leitura e DP3-leitura ($p = < 2 \times 10^{-16}$). Ao comparar os estilos de fala, somente os grupos DP3-leitura e DP3-comentário ($p = 1 \times 10^{-3}$) se diferenciaram.

Os valores médios da ênfase espectral do grupo feminino para os fatores de estilo de fala de acordo com os estágios de severidade da DP foram: 1,2 dB em DP3-leitura, 1,8 dB em DP2-leitura, 2,3 dB em DP2-comentário, 2,5 dB em DP3-comentário, 3,7 dB em controle-leitura e 4 dB em controle-comentário

No grupo masculino, a ênfase espectral foi o parâmetro com maior efeito na variância total. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo masculino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), e estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 2 - *Post-hoc* não paramétrico da *emph* para *estilo e severidade* do grupo Masculino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	0.03	-	-	-	-
DP3.C	0.95	5×10^{-10}	-	-	-
DP3.L	1.00	6×10^{-4}	0.19	-	-
CT.C	1.00	7×10^{-5}	0.10	1.00	-
CT.L	1.00	0.03	2×10^{-5}	0.68	0.76

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 2, identificamos diferenças significativas na ênfase espectral entre os estágios de severidade: DP3-leitura e DP2-leitura ($p = 6 \times 10^{-4}$) e controle-leitura e DP2-leitura ($p = 0,03$). Ao compararmos os estilos de fala, somente os grupos DP2-leitura e DP2-comentário ($p = 0,03$) se diferenciaram.

Os valores médios da ênfase espectral do grupo masculino para os fatores de estilo de fala, de acordo com os estágios de severidade da DP, foram: 2,5 dB no DP3-comentário, 2 dB no DP3-leitura, 2 dB no controle-comentário e 2 dB no DP2-comentário, 1,5 dB no controle-leitura e 1,1 dB no DP2-leitura.

O parâmetro *sLTASmed* teve o quarto maior tamanho de efeito no grupo feminino. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo feminino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 3 - *Post-hoc* não paramétrico da *sLTASmed* para *estilo e severidade* do grupo feminino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	0.75	0.38	-	-	-
DP3.L	1×10^{-4}	2×10^{-8}	3×10^{-3}	-	-
CT.C	1.00	0.22	2×10^{-3}	7×10^{-12}	-
CT.L	0.67	0.03	1×10^{-4}	5×10^{-16}	1.00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 3, identificamos diferenças significativas na inclinação de LTAS em frequência média entre os estágios de severidade: DP3-leitura e DP2-leitura ($p = 2 \times 10^{-8}$), controle-leitura e DP2-leitura ($p = 0,03$), controle-comentário e DP3-comentário ($p = 2 \times 10^{-3}$) e controle-leitura e DP3-leitura ($p = 5 \times 10^{-16}$). Ao comparar os estilos de fala, somente os grupos DP3-leitura e DP3-comentário ($p = 3 \times 10^{-3}$) se diferenciaram.

Os valores médios da inclinação de LTAS em frequência média do grupo feminino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: -29,5 dB/quadro no DP3-leitura, -21 dB/quadro DP3-comentário, -18 dB/quadro no DP2-comentário, -18 dB/quadro no DP2-leitura, -16,5 dB/quadro no controle-comentário, -15,5 dB/quadro no controle-leitura.

O sLTASmed foi o terceiro parâmetro com maior impacto na variância total do grupo masculino. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo masculino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 4 - *Post-hoc* não paramétrico do sLTASmed para *estilo e severidade* do grupo masculino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	4×10^{-6}	2×10^{-13}	-	-	-
DP3.L	0.07	4×10^{-6}	0.07	-	-
CT.C	1.00	0.03	1×10^{-6}	0.17	-
CT.L	1.00	0.06	4×10^{-7}	0.10	1.00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 4, identificamos diferenças significativas na inclinação de LTAS em frequência média entre os estágios de severidade: DP2-comentário e DP3-comentário ($p = 4 \times 10^{-6}$), DP3-leitura e DP2-leitura ($p = 4 \times 10^{-6}$), controle-leitura e DP2-leitura ($p = 0,03$) e DP3-comentário e controle-comentário ($p = 1 \times 10^{-6}$). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os estilos de fala.

Os valores médios da inclinação de LTAS em frequência média do grupo masculino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: -17,5 dB/quadro no DP3-comentário, -20 dB/quadro no DP3-leitura, -21 dB/quadro no controle-comentário, -22 dB/quadro no controle-leitura, -22,5 dB/quadro no DP2-comentário e -24,5 dB/quadro DP2-leitura.

4.2 Parâmetros significativos para o sexo feminino

O coeficiente de variação de intensidade foi o parâmetro de maior tamanho de efeito para as mulheres. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo feminino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 5 - *Post-hoc* não paramétrico do cvint para *estilo e severidade* do grupo feminino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	1.00	1.00	-	-	-
DP3.L	0.15	0.90	0.56	-	-
CT.C	0.25	5×10^{-7}	0.26	2×10^{-9}	-
CT.L	1.00	0.04	1.00	5×10^{-5}	0.06

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 5, identificamos diferença significativa no coeficiente de variação de intensidade entre os estágios controle-leitura e DP3-leitura ($p = 5 \times 10^{-5}$). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os estilos de fala.

Os valores médios do coeficiente de variação da intensidade do grupo feminino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: 20% no DP3-leitura, 18,26% no DP2-leitura, 17,37% no DP3-comentário, 16,2% DP2-comentário, 15,76% no controle-leitura e 13,64% no controle-comentário.

O desvio padrão da primeira derivada positiva da frequência fundamental foi o terceiro parâmetro com maior efeito no grupo feminino. A seguir, apresentamos o

teste *post-hoc* não paramétrico do grupo feminino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 6 - *Post-hoc* não paramétrico do dF_{0sdpos} para *estilo e severidade* do grupo feminino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	1.00	1.00	-	-	-
DP3.L	0.13	0.80	0.01	-	-
CT.C	1.00	0.24	1.00	1×10^{-4}	-
CT.L	1.00	0.04	1.00	2×10^{-6}	1.00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 6, identificamos diferenças significativas no desvio padrão da primeira derivada positiva da frequência fundamental entre os estágios de severidade: DP2-leitura e controle-leitura ($p = 0,04$) e DP3-leitura e controle-leitura ($p = 2 \times 10^{-6}$). No estilo de fala, somente os grupos DP3-leitura e DP3-comentário ($p = 0,01$) se diferenciaram.

Os valores médios do desvio padrão da primeira derivada positiva da frequência fundamental do grupo feminino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: 2 Hz/quadro no DP3-leitura, 2,7 Hz/quadro no DP2-leitura, 3,2 Hz/quadro no DP3-comentário, 3,4 Hz/quadro no controle-leitura, 3,4 dB/quadro no DP2-comentário e 3,6 Hz/quadro no controle-comentário.

A taxa de articulação foi o quinto parâmetro com maior tamanho de efeito entre as mulheres. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo feminino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 7 - *Post-hoc* não paramétrico da taxa de articulação para *estilo e severidade* do grupo feminino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	1.00	1.00	-	-	-
DP3.L	0.84	1.00	0.62	-	-
CT.C	0.74	3×10^{-3}	0.75	1×10^{-7}	-
CT.L	0.20	3×10^{-5}	0.14	2×10^{-11}	1.00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 7, identificamos diferenças significativas na taxa de articulação entre os estágios de severidade controle-leitura e DP2-leitura ($p = 3 \times 10^{-5}$) e controle-leitura e DP3-leitura ($p = 2 \times 10^{-11}$). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os estilos de fala.

Os valores médios da taxa de articulação do grupo feminino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: 3,5 sílabas/segundo no DP3-leitura, 4 sílabas/segundo no DP2-leitura, 4 sílabas/segundo DP2-comentário e 4,2 sílabas/segundo no DP3-comentário, 5 sílabas/segundo no controle-comentário e 5 sílabas/segundo no controle-leitura.

4.3 Parâmetros significativos para o sexo masculino

O parâmetro F0med foi o segundo com maior efeito no grupo masculino. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo masculino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 8 - *Post-hoc* não paramétrico do F0med para *estilo e severidade* do grupo masculino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	0.44	-	-	-	-
DP3.C	1.00	0.02	-	-	-
DP3.L	1.00	1.00	0.05	-	-
CT.C	0.38	1.00	0.03	1.00	-
CT.L	1×10^{-5}	2×10^{-5}	3×10^{-10}	2×10^{-5}	0.03

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 8, identificamos diferenças significativas na mediana da frequência fundamental para os estágios de severidade da DP: DP3-leitura e controle-leitura ($p = 2 \times 10^{-5}$), controle-comentário e DP3-comentário ($p = 0,03$) e controle-leitura e DP2-leitura ($p = 2 \times 10^{-5}$). Para o estilo de fala, há diferença somente entre controle-comentário e controle-leitura ($p = 0,03$).

Os valores médios da mediana da frequência fundamental do grupo masculino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: 150,5 Hz no DP2-comentário, 149 Hz no DP3-comentário, 141 Hz no DP3-leitura, 141 Hz no controle-comentário, 140 Hz no DP2-leitura e 126 Hz no controle-leitura.

F0min foi o quarto parâmetro com maior efeito no grupo masculino. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo masculino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), e estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 9 - *Post-hoc* não paramétrico do F0min para *estilo e severidade* do grupo masculino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	0.58	2×10^{-3}	-	-	-
DP3.L	1.00	1.00	0.09	-	-
CT.C	1.00	1.00	1×10^{-3}	1.00	-
CT.L	0.01	1×10^{-5}	6×10^{-12}	4×10^{-6}	2×10^{-3}

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 9, identificamos diferenças significativas na mediana da frequência fundamental entre os estágios de severidade: DP2-leitura e controle-leitura ($p = 1 \times 10^{-5}$), controle-comentário e DP3-comentário ($p = 0,03$), controle-comentário e DP3-comentário ($p = 1 \times 10^{-3}$) e DP3-leitura e controle-leitura ($p = 4 \times 10^{-6}$). Enquanto para os estilos de fala, somente os grupos controle-leitura e controle-comentário ($p = 2 \times 10^{-3}$) se diferenciaram.

Os valores médios do mínimo da frequência fundamental do grupo masculino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: 132 Hz no DP3-comentário, 126 Hz no controle-leitura, 125 Hz no DP3-leitura, 124,5 Hz no DP2-comentário, 122 Hz no controle-comentário e 122 Hz no DP2-leitura.

O parâmetro *shimmer* foi o quinto com maior tamanho de efeito na amostra entre os homens. A seguir, apresentamos o teste *post-hoc* não paramétrico do grupo masculino para os fatores de estilo de fala, comentário (C) e leitura (L), e estágio de severidade da DP, controle (CT), segundo estágio (DP2) e estágio 3 (DP3).

Tabela 10 - *Post-hoc* não paramétrico do *shimmer* para *estilo e severidade* do grupo masculino.

	DP2.C	DP2.L	DP3.C	DP3.L	CT.C
DP2.L	1.00	-	-	-	-
DP3.C	0.36	0.07	-	-	-
DP3.L	1.00	1.00	0.02	-	-
CT.C	1.00	1.00	9×10^{-3}	3×10^{-7}	-
CT.L	0.01	6×10^{-4}	3×10^{-13}	1×10^{-6}	5×10^{-4}

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 10, identificamos diferenças significativas em *shimmer* entre os grupos de severidade da DP: controle-leitura e DP2-leitura ($p = 6 \times 10^{-4}$), controle-comentário e DP3-comentário ($p = 9 \times 10^{-3}$) e controle-leitura e DP3-leitura ($p = 1 \times 10^{-6}$). Para o estilo de fala, se diferenciaram: DP3-leitura e DP3-comentário ($p = 0,02$) e controle-leitura e controle-comentário (5×10^{-4}).

Os valores médios de *shimmer* do grupo masculino para os fatores de estilo de fala e estágios de severidade da DP foram: 17% no DP3-comentário, 16,3% no DP3-leitura, 15,5% no DP2-leitura, 15,2% no DP2-comentário, 15% no controle-comentário e 13% no controle-leitura.

5 DISCUSSÃO

Dos 24 parâmetros prosódico-acústicos dos 32 idosos desse estudo, oito demonstraram capacidade de discriminação entre os grupos e subgrupos de idosos saudáveis e idosos com DP, destacando-se como aqueles que contribuíram significativamente para explicar a variância total da amostra. A seguir discutimos os resultados desses parâmetros.

Devido às restrições motoras da DP, a ênfase espectral (*emph*) pode ser afetada, pois está diretamente ligada ao sistema respiratório. Isso reflete o esforço vocal e a habilidade do falante em regular a saída de ar durante a fonação (Vieira, 2017). No processo de envelhecimento não patológico, as mudanças fisiológicas também podem influenciar na ênfase espectral, resultando na diminuição da elasticidade das estruturas vocais, da redução da massa muscular ao redor da laringe e vias respiratórias, e da atrofia das pregas vocais, o que contribui para alterações na qualidade vocal (Quedas et al., 2007).

O grupo feminino apresentou diferenças entre os estágios de severidade da DP e para os estilos de fala no terceiro estágio DP. Entre as mulheres, o subgrupo DP3-leitura teve o menor valor médio. O grupo masculino também revelou diferenças entre os estágios de severidade da DP; para os estilos de fala, o subgrupo DP2 se diferenciou e teve o menor valor médio do parâmetro durante a leitura.

Na DP, os parâmetros de qualidade vocal podem ser afetados devido à rigidez muscular, que influencia a vibração das pregas vocais e pode reduzir a área de fechamento glotal, resultando em uma maior perda de energia durante a fala. Isso, por sua vez, tem o potencial de alterar o parâmetro de inclinação de LTAS em frequência

alta e média (Tjaden et al., 2010; Ziemssen; Reichmann, 2010). Por outro lado, em idosos saudáveis, os parâmetros de qualidade de voz podem ser afetados devido ao arqueamento, atrofia das pregas vocais e flacidez na musculatura da laringe. A inclinação de LTAS em frequência média foi significativa para ambos os sexos. No grupo feminino, houve diferenças entre os estágios de severidade e entre os estilos de fala no terceiro estágio da DP. Os valores médios femininos são maiores nos subgrupos DP3 em ambos os estilos, seguidos pelos subgrupos DP2. Os homens somente se diferenciaram entre os estágios de severidade da DP. O terceiro estágio da DP teve os maiores valores médios, enquanto menores foram no segundo estágio da DP em ambos os estilos de fala.

O parâmetro de coeficiente de variação de intensidade, na DP, pode ser afetado devido ao sintoma de rigidez muscular que afeta a mobilidade dos músculos da laringe e devido à perda de amplitude de movimentos, o que pode influenciar na intensidade da voz. A postura curvada para a frente, que é comum em pessoas com DP, pode limitar a expansão do peito e reduzir a capacidade pulmonar (Ziemssen; Reichmann, 2010). Nos idosos saudáveis, por outro lado, esse parâmetro pode ser influenciado pela perda de massa muscular e pelo arqueamento das pregas vocais (Kost; Sataloff, 2018). Entre as mulheres, os subgrupos dos estágios da DP apresentaram valores mais elevados em relação ao grupo controle. As mulheres se diferenciaram somente entre os estágios da DP, e o terceiro estágio teve o maior valor médio do parâmetro.

No desvio padrão da primeira derivada positiva da frequência fundamental ($dF0sdpos$), observamos diferenças significativas somente nas mulheres, tanto para os estágios de severidade da DP quanto para os estilos de fala no terceiro estágio da DP. O subgrupo DP3-leitura teve o menor valor do parâmetro.

Na DP, os parâmetros temporais, como a taxa de elocução e a taxa de articulação, podem ser afetados devido à rigidez muscular, lentidão dos movimentos e demanda de maior esforço vocal (*emph*) para falar. A rigidez muscular na DP afeta a amplitude de movimento dos articuladores, como lábios e língua, levando a uma redução no contraste fônico. Isso pode resultar em um aumento na taxa de elocução e articulação e em inconsistências na produção do acento lexical primário à medida que a doença progride (Soares, 2009). Por outro lado, em idosos saudáveis, as alterações nesses parâmetros podem ser devido a uma combinação de fatores relacionados ao processo natural de envelhecimento que afeta a saúde física (e.g. alterações no controle motor e na força muscular) e a cognição (e.g. declínio cognitivo) (Manderson et al., 2022). A análise estatística revelou diferenças significativas na taxa de articulação no grupo feminino, com uma redução progressiva do valor médio de acordo com o grau de severidade da DP no estilo leitura. Entre os homens, as diferenças foram devidas aos estágios de severidade da DP para a taxa de articulação.

As medidas da frequência fundamental da fala podem ser afetadas pelos sintomas da DP, como a hipofonia, resultando em uma produção vocal reduzida. Variações na F0 podem causar uma voz monótona, enquanto o quadro de disartria pode levar a dificuldades no controle muscular para a produção da fala, afetando o ritmo e a modulação da frequência. Tremores podem causar ruídos na voz e contribuem com alterações na qualidade vocal (Rosa; Cielo; Cechella, 2009). Na mediana da frequência fundamental, o grupo masculino teve diferenças significativas tanto para os estágios de severidade da DP quanto para o grupo controle nos dois estilos de fala. O subgrupo DP3 nos dois estilos de fala apresentou os maiores valores

médios desse parâmetro, embora não tenha se diferenciado nos estilos de fala. No mínimo da frequência fundamental, os homens tiveram diferenças entre os estágios de severidade e entre os subgrupos controles para os estilos de fala. O subgrupo masculino DP3-comentário apresentou o maior valor médio.

O parâmetro de qualidade vocal *shimmer* pode estar alterado devido à variação na amplitude ciclo-a-ciclo e à irregularidade do contato das pregas vocais causados pelos sintomas de rigidez e bradicinesia (Rosa; Cielo; Cechella, 2009). Por outro lado, entre os idosos saudáveis, esse parâmetro é afetado devido ao arqueamento das pregas vocais e à flacidez da musculatura da laringe (Gomes; Simões-Zenari; Nemr, 2021). Os homens se diferenciaram tanto entre os estágios de severidade quanto entre os estilos de fala, sendo o subgrupo do estágio mais avançado os com maiores valores médios nos dois estilos.

Diferentemente de outros estudos (Lowit et al., 2018), não encontramos diferenças significativas entre as pausas. Por outro lado, as alterações em taxa de articulação, parâmetros da F0 e intensidade corroboram com os estudos (Patel; Parveen; Anand, 2016) que analisaram alterações de parâmetros prosódico-acústicos na DP.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste tudo foi analisar as diferenças nos parâmetros acústicos de diferentes dimensões fonéticas em discursos espontâneos e leitura em voz alta entre idosos. À luz da análise acústica, os resultados revelaram que certos parâmetros prosódico-acústicos, como a F0, ênfase espectral, taxas de articulação e elocução e *shimmer* podem ser afetados devido às restrições motoras da DP.

As limitações incluem a amostra geográfica única, o que restringe a generalização para populações diversas. Além disso, a natureza transversal do estudo e as condições específicas de coleta de dados impedem inferências sobre mudanças ao longo do tempo. Isso destaca a necessidade de estudos longitudinais com amostras mais diversas para entender melhor os efeitos da DP e do envelhecimento vocal.

REFERÊNCIAS

- Ackermann H, Konczak J, Hertrich I. The temporal control of repetitive articulatory movements in Parkinson's disease. *Brain and language*. 1997;56(2):312-319.
- Appakaya SB, Sankar R. Classification of Parkinson's disease using pitch synchronous speech analysis. 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC); Jul. 2018; Honolulu, HI, USA: EMBC; 2018, p. 1420-1423.
- Armstrong MJ, Okun MS. Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease. *JAMA*. 2020;323(6):548-560.
- Barbosa MT, et al. Parkinsonism and Parkinson's disease in the elderly: a community-based survey in Brazil (the Bambuí study). *Movement Disorders*. 2006;21(6):800-808.
- Barbosa P. Prosody Descriptor Extractor 2023 [internet].
- Barbosa P. Revelar a estrutura rítmica de uma língua construindo máquinas falantes: pela integração de ciência e tecnologia de fala. In: Scarpa EM, organizadora. *Estudos de prosódia*. Campinas: Editora da Unicamp; 1999. p. 21-52.

- Braak H, et al. Staging of the intracerebral inclusion body pathology associated with idiopathic Parkinson's disease (preclinical and clinical stages). *Journal of Neurology*. 2002;249(3 Suppl):iii1-iii5.
- Boersma, P; Weenink, D. Praat: doing phonetics by computer [programa de computador]. Versão 6.4.07.
- Cascudo LC. História da alimentação no Brasil. 3.^a ed. São Paulo: Global; 2004.
- Dao SVT, et al. An analysis of vocal features for Parkinson's disease classification using evolutionary algorithms. *Diagnostics*. 2022;12(8):1980.
- Dromey C. Spectral measures and perceptual ratings of hypokinetic dysarthria. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*. 2003;11:85-94.
- Dytham C. Choosing and using statistics: a biologist's guide. 3.^a ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2011.
- Fernandes I, Andrade Filho AS. Estudo clínico-epidemiológico de pacientes com doença de Parkinson em Salvador-Bahia. *Revista Brasileira de Neurologia e Psiquiatria*. 2018;22(1):45-59.
- Gomes ABP, Simões-Zenari M, Nemr K. Voz do idoso: o avanço da idade gera diferentes impactos? *CoDAS*. 2021;33(6): e20200126.
- Greffard S, et al. Motor score of the unified Parkinson disease rating scale as a good predictor of Lewy body-associated neuronal loss in the substantia nigra. *Archives of neurology*. 2006;63(4):584-588.
- Grosjean F, Lane H. Pauses and syntax in American Sign Language. *Cognition*. 1977;5:101-117.
- Hoehn MM, Yahr MD. Parkinsonism: onset, progression, and mortality. *Neurology*. 1967;17(5):427-442.
- Ikuta YM, et al. Avaliação da função cognitiva em pacientes com doença de Parkinson. *Rev. para med*. 2012;26(1):1-6.
- Kost KM, Sataloff RT. Voice disorders in the elderly. *Clinics in Geriatric Medicine*. 2018;34(2):191-203.
- Ladd DR. O que é prosódia? Couto TL, Seara IC, tradutoras. *Working Papers em Linguística*. 2019;20(1):8-46.
- Lirani-Silva C, Mourão LF, Gobbi LTB. Dysarthria and quality of life in neurologically healthy elderly and patients with Parkinson's disease. *CoDAS*. 2015;27(3):248-254.
- Lowit A, et al. Rhythmic performance in hypokinetic dysarthria: relationship between reading, spontaneous speech and diadochokinetic tasks. *Journal of Communication Disorders*. 2018;72:26-39.
- Ludlow CL, Connor NP, Bassich CJ. Speech timing in Parkinson's and Huntington's disease. *Brain and Language*. 1987;32(2):195-214.
- Manderson L, et al. A systematic review of the relationships amongst older adults' cognitive and motor speech abilities [internet].
- Maryn Y, et al. Mobile communication devices, ambient noise, and acoustic voice measures. *Journal of Voice*. 2017;31(2):248.e11-248.e23.
- Monnin P, Grosjean F. Les structures de performance en Français: caractérisation et prédiction. *L'année psychologique*. 1993;93(1):9-30.
- Pagano M, Gauvreau K. Principles of biostatistics. 2.^a ed. New York: Chapman and Hall/CRC; 2018.
- Patel S, Parveen S, Anand S. Prosodic changes in Parkinson's disease. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2016;140(4 Suppl):3442-3442.
- Quedas A, Duprat AC, Gasparini G. Lombard's effect's implication in intensity, fundamental frequency and stability on the voice of individuals with Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2007;73(5):675-683.
- RStudio Team. RStudio: integrated development for R [programa de computador]. Boston, MA: RStudio, PBC; 2023.

Rosa JDC, Cielo CAC, Cechella C. Função fonatória em pacientes com doença de Parkinson: uso de instrumento de sopro. *Revista CEFAC*. 2009;11(2):305–313.

Soares MFP. Estratégias de produção de vogais e fricativas: análise acústica da fala de sujeitos portadores de doença de Parkinson [tese]. Campinas: Instituto de Estudos da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas; 2009.

Tanner K, et al. Spectral moments of the long-term average spectrum: sensitive indices of voice change after therapy? *Journal of Voice*. 2005;19(2):211–222.

Tjaden K, et al. Long-term average spectral (LTAS) measures of Dysarthria and their relationship to perceived severity. *Journal of Medical-Speech Language Pathology*. 2010;18(4):125-132.

Traunmüller H, Eriksson A. Acoustic effects of variation in vocal effort by men, women, and children. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2000;107(6):3438-3451.

Vieira MAS. Acento tonal pré-nuclear ascendente no português brasileiro: comparação com fala parkinsoniana [dissertação]. Belo Horizonte: Faculdade de Letras, Universidade Federal de Minas Gerais; 2017.

WEF Máquinas de Embalagens. Saiba como surgiu a paçoca - doce tradicionalmente brasileiro [internet].

Zardeto-Sabec G, et al. Doença de Parkinson, seus mecanismos fisiopatológicos e semiologia: revisão bibliográfica. *Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research - BJSCR*. 2018;22(3):68-75.

Ziemssen T, Reichmann H. Treatment of dysautonomia in extrapyramidal disorders. *Therapeutic Advances in Neurological Disorders*. 2010;3(1):53-67.