



Descritores estatísticos na caracterização das fricativas do Português Brasileiro: Características espectrais das fricativas

Audinéia Ferreira-Silva^{1*}, Vera Pacheco² e Luiz Carlos Cagliari¹

¹Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rod. Araraquara-Jaú, Km 1, 14800-901, Araraquara, São Paulo, Brasil. ²Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: audineia.ferreira@gmail.com

RESUMO. Neste artigo, as características do espectro de frequência das fricativas labiodentais, alveolares e palatoalveolares do Português Brasileiro foram investigadas com relação ao ponto de articulação e contexto vocálico. A mensuração do espectro de frequência das fricativas foi realizada por meio da análise dos quatro momentos espectrais (centroide, variância, assimetria e curtose). Nossos resultados indicam um efeito significativo do ponto de articulação e contexto vocálico nos valores dos quatro momentos espectrais das fricativas do Português Brasileiro. Os resultados indicam que os momentos espectrais centroide e variância foram mais eficazes para diferenciar as fricativas do que os outros dois momentos, assimetria e curtose.

Palavras-chave: características espectrais, ponto de articulação, fricativa.

Statistical descriptors on the characterization of the Brazilian Portuguese fricatives: Spectral characteristics of fricatives

ABSTRACT. In this paper, we investigated the spectral characteristics of labiodental, alveolar and postalveolar fricatives of the Brazilian Portuguese in terms of place of articulation and vowel context. We measured the spectral characteristic of fricative noise using the analysis of four spectral moments (center of gravity, standard deviation, skewness and kurtosis). Our results indicated a significant effect of place of articulation and vowel context on values of spectral moments for fricatives of Brazilian Portuguese. The results show that the fricatives were well differentiated by the center of gravity and standard deviation more than the other spectral moments, skewness and kurtosis.

Keywords: spectral characteristics, place of articulation, fricative.

Introdução

As fricativas são sons fonologicamente importantes para o Português Brasileiro, ocupam posição de *onset* (*faca, vaca, sapo, chá, já*) e *coda* (*festa, casas*). As fricativas são sons complexos com características acústico-articulatórias rebuscadas, o que nos fornece um amplo campo de investigação, importante na compreensão dos mecanismos subjacentes na produção dos sons da fala e no conhecimento da organização fonológica das línguas.

Apesar de o interesse em estudar os sons fricativos no PB vir crescendo nos últimos anos, pouco ainda se sabe sobre essa classe de consoantes bastante produtiva em nossa língua.

São poucas as pesquisas que se dedicam à caracterização acústica desses sons e, na sua maior parte, são trabalhos que visam às características acústicas das fricativas do PB, focando a fala infantil (aquisição das fricativas) e as patologias da fala (BERTI, 2006; FREITAS, 2007; RINALDI,

2010). As exceções são os trabalhos de Samczuk e Gama-Rossi (2004), Haupt (2007) e Ferreira-Silva e Pacheco (2009, 2012) sobre as características da duração e da frequência do ruído fricativo.

Essas pesquisas não dão conta de responder perguntas como: a) quais são as características acústicas das fricativas produzidas por brasileiros adultos e sem patologia?; b) que/quais parâmetros acústicos são mais eficazes para distinguir os três pontos de articulação (labiodental, alveolar e palatoalveolar) das fricativas que compõem o nosso sistema fonológico?; o espectro fricativo pode alterar-se em função da vogal que lhe é adjacente?

Dessa forma, nosso trabalho objetiva descrever as características do espectro de frequência das fricativas do PB e verificar se parâmetros como ponto de articulação e contexto vocálico podem interferir nessas características. Nossa hipótese é a de que as nossas fricativas apresentam espectros prototípicos e que estes podem alterar-se em função das vogais adjacentes.

Sons fricativos: característica acústico-articulatória

Em termos de produção, os sons das línguas naturais podem ser agrupados em dois grandes conjuntos: aqueles produzidos sem obstrução – as vogais – e aqueles com obstrução total ou parcial do trato vocal – as consoantes.

Aquelas consoantes em cuja produção está envolvido um mecanismo de constrição que impede que o fluxo de ar passe através do nariz ou da boca são consideradas, de um modo geral, obstruintes (CRYSTAL, 1985).

Dentre as obstruintes, as fricativas são sons consonânticos produzidos por uma estreita constrição do trato vocal. Nesse sentido, a produção dessas consoantes conta com a participação da fonte de ruído, resultante da turbulência de ar gerada pela constrição do trato vocal (KENT; READ, 1992).

Como toda obstruinte, as fricativas podem ser classificadas de acordo com o vozeamento e o ponto de articulação. Assim, as fricativas podem ser surdas (ausência da vibração das cordas vocais) ou sonoras (vibração das cordas vocais, participação da fonte laríngea) e, quanto ao ponto de articulação, podem ser labiodentais, alveolares, palatoalveolares e interdentais, glotais, uvulares, faríngeas etc. (MALMBERG, 1954; KENT; READ, 1992; CAGLIARI, 2007).

Além da classificação quanto ao vozeamento e ao ponto de articulação, as fricativas podem ainda ser caracterizadas quanto à quantidade de concentração de energia do ruído. Assim, uma fricativa pode ser sibilante ou não sibilante (KENT; READ, 1992). São consideradas sibilantes as fricativas que possuem uma maior concentração de ruído em altas energias, a exemplo das fricativas alveolares e palatoalveolares, e não sibilantes aquelas que, quando comparadas com as sibilantes, apresentam menor concentração de ruído em altas energias, a exemplo das fricativas labiodentais [f] e [v].

Assim, podemos dizer que o padrão de concentração de energia do ruído das fricativas pode variar em função dos diferentes pontos de articulação. Desse modo, as fricativas alveolares possuem seus picos de concentração de energia em regiões de frequência mais altas do que as fricativas palatais, por exemplo (KENT; READ, 1992; JESUS, 2001).

As fricativas do português brasileiro

O sistema fonológico do Português do Brasil (doravante PB) conta com seis fricativas opositivas em posição de *onset* silábico: labiodental surda e sonora; alveolar surda e sonora; e palatoalveolar

surda e sonora, como podemos observar nos exemplos abaixo. Adaptado de Cagliari (2007).

- a) labiodentais – exemplo: *faca*; *vaca*.
- b) alveolares – exemplo: *caça*; *casa*.
- c) palatoalveolares – exemplo: *chá*; *já*.
- d) velares – exemplo: *rato*; *barriga*.
- e) uvulares – exemplo: *roda*; *curral*.
- f) glotais – exemplo: *roda*.

Também é possível encontrar, de acordo com Cagliari (2007), em alguns dialetos do PB, as fricativas velares, uvulares e glotais, como nos exemplos em *d*, *e* e *f*, acima. Nesses casos, essas fricativas, velares, uvulares e glotais, estão em uma relação de alofonia, não havendo oposição fonológica entre elas.

Segundo Cagliari (2007), no dialeto carioca e no Nordeste do Brasil, é comum encontrarmos uma fricativa velar, ao passo que, no dialeto mineiro, por exemplo, observamos a realização da fricativa glotal e, em outros dialetos, a ocorrência de uma vibrante (CAGLIARI, 2007), especificamente uma vibrante alveolar.

Em posição de *coda*, ou de trava silábica, o quadro das fricativas do PB se reduz, havendo, de acordo com Camara Júnior (1970), uma neutralização das fricativas alveolar e palatoalveolar surdas e sonoras. Para esse linguista, nessa posição silábica, o sistema fonológico do PB apresenta um arquifonema fricativo /S/.

Teoria acústica da produção da fala

A Teoria Acústica da Produção da Fala, também conhecida como Teoria Fonte-Filtro, foi proposta por Gunnar Fant (1970) com o objetivo principal de relacionar propriedades acústicas a correlatos articulatórios na produção da fala.

Essa teoria propõe uma simplificação do trato vocal humano, que é representado por um vibrador (uma membrana elástica com um corte estreito no meio, representando as pregas vocais) acoplado a um dos lados de um tubo reto. O vibrador é uma fonte de energia acústica que se propaga através do tubo, que atua como ressoador ou filtro (tubo uniforme fechado de um lado e aberto do outro), referindo-se às estruturas supraglóticas do trato vocal (KENT; READ, 1992).

Esse modelo de tubo uniforme fechado em uma extremidade e aberto na outra representa primordialmente, na Teoria de Fant (1970), o modelo de produção de uma vogal, correspondente à vogal média central, neutra, conhecida como *schwa*, e variações na configuração desse tubo podem representar as demais vogais.

A simplificação do trato vocal humano para a produção das vogais (tubo uniforme) também pode ser adaptado para a produção das fricativas. Neste caso, o tubo deixa de ser reto (uniforme) e passa a ser representado com uma forte constrição (KENT; READ, 1992).

Na produção das fricativas, de acordo com Kent e Read (1992), a constrição no trato vocal funciona como um esguicho. A passagem de ar pela constrição forma um jato que se mistura com o ar ao redor, gerando a turbulência. A turbulência é, conforme afirmam esses autores, produzida com a geração de vórtices que se formam no fluxo da vizinhança da contração e da expansão do conduto.

Para a produção dessas obstruintes, é necessário que se cumpram dois passos: (1) produção de uma forte constrição em algum ponto do trato vocal; e (2) passagem do ar em alta velocidade através da constrição. Quando as condições físicas são satisfeitas, o fluxo turbulento é gerado na vizinhança da constrição (KENT; READ, 1992).

Há, pelo menos, dois modos pelos quais os sons fricativos são produzidos. O primeiro refere-se à existência de uma fonte de obstáculo, em que o som é gerado primariamente em um corpo rígido posicionado de forma perpendicular ao fluxo (SHADLE, 1985, KENT; READ, 1992). Na produção da fricativa palatal surda, por exemplo, os dentes inferiores exercem a função de obstáculo. No caso da fricativa alveolar surda, o obstáculo é formado pelos dentes superiores. A fonte de obstáculo pode ser parecida com um *spoiler* (uma obstrução, como uma batida na direção do fluxo de ar) em um conduto (KENT; READ, 1992). O segundo modo de produção das fricativas está associado à existência de uma fonte de parede, casos em que o som é gerado ao longo de uma parede relativamente rígida posicionada de forma paralela ao fluxo (KENT; READ, 1992). Para Shadle (1985), a fonte de parede é uma fonte distribuída, ao contrário da fonte de obstáculo, que pode ser modelada como uma fonte de pressão em série localizada no obstáculo.

Assim, parâmetros como local da constrição, comprimento da cavidade anterior, duração e presença ou não de obstáculo são fundamentais para a caracterização das fricativas (SHADLE, 1985). Quando a cavidade anterior é muito curta, como nos casos das fricativas labiodentais [f, v], sua frequência de ressonância mais baixa é alta demais para oferecer um formato considerável da energia do ruído. Por isso, o espectro para essas fricativas é plano ou difuso, perdendo picos proeminentes ou vales. Mas, quando o ponto de articulação se move para trás na cavidade oral, a extensão da cavidade frontal

aumenta, e sua frequência de ressonância mais baixa diminui. No caso da fricativa alveolar [s], a frequência de ressonância mais baixa é cerca de 4 kHz para um homem (KENT; READ, 1992).

Dessa forma, podemos afirmar que a extensão da cavidade e o ponto onde ocorre a constrição/articulação determinam uma maior ou menor energia do ruído. As fricativas articuladas mais anteriormente (lábios, dentes) apresentam menor energia do ruído, já as fricativas articuladas mais posteriormente (alvéolos, palato) apresentam maior energia do ruído. Isso se deve principalmente à extensão da cavidade anterior (SHADLE, 1985, KENT; READ, 1992).

Metodologia

Montagem do corpus

Para este estudo, foi montado um *corpus* composto por palavras dissílabas (reais e logatomas - palavras que não existem, mas que estão de acordo com a fonotaxe da língua).

Assim, a posição de *onset* foi ocupada pelas fricativas labiodentais, alveolares e palatoalveolares e pela oclusiva bilabial surda, /p/. De acordo com Shadle (2006), a oclusiva bilabial surda tem sido usada nas análises acústicas porque é facilmente identificada e segmentada no sinal acústico, o que colabora com as análises acústicas.

O núcleo silábico, por sua vez, foi ocupado pelas vogais /a/, /i/ e /u/ com o objetivo de verificar se o contexto vocálico interfere nas características das fricativas. De acordo com a Teoria Quântica (STEVENS, 1971), as vogais /a/, /i/, /u/, chamadas vogais Quânticas ou vogais ponto, são produzidas em um ponto do trato vocal em que pequenas perturbações na articulação produzem somente mudanças mínimas nas suas frequências formânticas. Por este motivo, optamos por utilizar apenas essas três vogais como núcleo silábico no *corpus*, como nos exemplos apresentados na Figura 1.

VAPA	VIPE	VUPU
FAPA	FIPE	FUPU
SAPA	SIPE	SUPU
ZAPA	ZIPE	ZUPU
JAPA	JIPE	JUPU
CHAPA	CHIPE	CHUPU

Figura 1. Síntese das palavras que constituíram o *corpus*.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Optou-se por analisar as fricativas sempre em sílaba tônica; assim, a sílaba onde se encontra a fricativa-alvo é sempre tônica, por ser esta a condição ótima da sílaba.

As palavras do *corpus* foram inseridas na frase veículo “Digo ‘palavra-alvo’ baixinho”, com o objetivo de homogeneizar o ambiente fonético.

Informantes e gravação do corpus

O *corpus* deste estudo foi gravado por cinco informantes (três homens e duas mulheres) naturais de Vitória da Conquista, estado da Bahia, universitários com idade entre 18 e 27 anos.

Para a gravação, as frases-veículo com as fricativas-alvo foram impressas e apresentadas aos informantes, que deveriam ler a frase e depois repeti-la em voz alta, em taxa de elocução normal. Cada informante repetiu as frases três vezes. Entre as frases veículos, foram inseridas frases distratoras.

As gravações foram feitas em câmara com isolamento acústico, por meio da placa de som MBOX2 da Digidesign/M-audio, que utiliza o programa de gravação de áudio Protools LE. Todas as gravações foram feitas no Laboratório de Pesquisa em Estudos Fonéticos e Fonológicos (LAPEFF) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB.

Metodologia utilizada para análise da frequência das fricativas

O método utilizado para a análise da taxa de frequência das fricativas foi a análise dos quatro primeiros momentos espectrais.

A análise dos momentos espectrais para a caracterização acústica dos segmentos foi proposta inicialmente por Forrest et al. (1988) para a diferenciação de oclusivas do inglês. Posteriormente, Jongman et al. (2000) utilizaram o mesmo método para a caracterização das fricativas do inglês. Pesquisadores como Jesus (2001), Jesus e Shadle (2002), Berti (2006) e Rinaldi (2010), entre outros, também têm utilizado os quatro momentos espectrais como método eficaz para a análise da frequência das fricativas.

A análise dos momentos espectrais refere-se a uma métrica quantitativa baseada na análise estatística do espectro (FORREST et al., 1988). Esse procedimento nos permite calcular a média, a variância, a assimetria e a curtose do espectro.

De acordo com Berti (2006), tais medidas tentam incorporar tanto informações locais quanto informações mais gerais do espectro. Os momentos espectrais são obtidos automaticamente pelo PRAAT (2014) (Software de análise de fala, desenvolvido por Boersma e Weenink), a partir do espectro de frequência da fricativa, que é dado pela FFT e pode ser calculado em diferentes pontos do ruído fricativo. Neste trabalho, a análise dos momentos

espectrais foi feita a partir de uma janela de 0.10 ms, medida na porção medial de cada fricativa.

O primeiro momento espectral - centroide (*centre of gravity*) - corresponde à média das frequências ponderadas a partir de um conjunto de frequências dadas pelo espectro do ruído da fricativa. O centroide é, em outras palavras, obtido pela multiplicação de cada valor de frequência dada pelo espectro com o valor de cada intensidade correspondente, dividindo a soma desses produtos pela soma de todos os valores de frequência do espectro (BERTI, 2006). O segundo momento espectral corresponde à variância (*standard deviation*) das frequências dadas pelo espectro. Ou seja, é uma medida da dispersão das frequências em relação à média (centroide).

O terceiro momento corresponde à assimetria (*Skewness*) das frequências dadas pelo espectro. A assimetria é uma medida que indica como as frequências do espectro são distribuídas em torno da média. De acordo com Berti (2006), um valor de assimetria igual a zero indica que a distribuição das frequências em torno da média é simétrica. Já um valor de assimetria positiva indica que a distribuição das frequências no espectro tem uma inclinação negativa, com concentração de energia em frequências baixas, e, ao contrário, uma assimetria negativa tem inclinação positiva, apontando para uma concentração de energia em frequências altas.

O quarto momento espectral corresponde à curtose (*kurtosis*) das frequências dadas pelo espectro. A curtose é um indicador do pico de distribuição das frequências no espectro. Berti (2006) afirma que uma curtose positiva indica picos relativamente altos no espectro, ou ainda, quanto maior o valor da curtose, mais picos estão presentes na distribuição do espectro. Já uma curtose negativa indica que a distribuição apresenta picos mais achatados, ou então um espectro sem picos bem definidos.

Análise estatística

Os valores dos quatro momentos espectrais para as fricativas analisadas foram catalogados e submetidos à análise estatística por meio do software BioEstat (AYRES et al., 2007). O objetivo dessa análise era verificar se os valores dos quatro momentos espectrais eram diferentes em função do ponto de articulação.

Inicialmente, utilizamos o teste *Bootstrap*, que consiste em retirar de uma pequena amostra outras amostras maiores com reposição, por exemplo, 500, 1.000, 10.000 ou mais (AYRES et al., 2007). Essa técnica também é denominada simulação ou reamostragem. O aplicativo tipo *Bootstrap* utilizado

foi o teste ANOVA (um critério). Adotamos simulação de 10.000 reposições. Com esse procedimento metodológico, obtivemos valores de probabilidade mais robustos. Consideramos diferenças significativas os valores de $p \leq 0,05$, para alfa 0,05.

Os dados que apresentaram valores significativos, ou seja, $p \leq 0,05$ foram submetidos aos testes de separação de médias, o Dunn e o Student-Newman-Keuls (AYRES et al., 2007). Com o teste de separação de médias, foi possível observar quais fricativas eram iguais ou diferentes entre si.

Resultados e discussões

Nossos resultados, apresentados a partir de agora, mostram que as fricativas no PB tendem a seguir, de um modo geral, as tendências acústicas encontradas para outras línguas naturais.

Avaliando o centroide, o primeiro momento espectral avaliado consiste em um dispositivo analítico que oferece as médias ponderadas das frequências do ruído obtidas a partir de um ponto específico. Por meio do centroide, podemos avaliar a natureza acústica dos ruídos fricativos e levantar hipóteses acerca de suas características articulatórias.

Assim, a natureza acústica do espectro das fricativas do PB pode ser avaliada a partir da tabela 1, em que apresentamos os valores médios obtidos para o primeiro momento espectral, o centroide, e os valores de p obtidos a partir da análise estatística.

Na Tabela 1, podemos observar que as fricativas labiodentais, alveolares e palatoalveolares apresentam valores de centroide que são, na maior parte, diferentes significativamente, como evidenciado pelos valores de p . Os valores do centroide das fricativas não foram significativos, $\leq 0,05$, apenas em contexto da vogal /u/ para os sujeitos 1 e 5 (S1 e S5). Em todos os demais contextos, os valores encontrados para a comparação entre as fricativas foram significativos.

Além disso, os dados da Tabela 1 mostram que há uma forte tendência de as frequências da labiodental e da palatoalveolar não serem estatisticamente diferentes entre si. Na tabela 1, essa condição é atestada pela presença das mesmas letras junto das médias, o que reforça o fato de a alveolar apresentar uma média geral bem superior à das outras fricativas.

Podemos observar, na Tabela 1, que as fricativas alveolares são as que apresentam os valores de centroide mais elevados. Para estas fricativas, os valores de centroide variam de 5410Hz (S5, vogal /u/) a 9051Hz (S3, vogal /a/). Já as fricativas labiodentais e palatoalveolares apresentam valores de

centroide que variam, respectivamente, de 3538Hz (S2, vogal /a/) a 6382 Hz (S3, vogal /i/) e 3348Hz (S5, vogal /a/) a 5697Hz (S3, vogal /u/). Como vemos, estas fricativas apresentam os valores de centroide semelhantes.

Tabela 1. Valores médios do centroide (Hz) das fricativas labiodental, alveolar e palatoalveolar em contexto de /a/, /i/ e /u/ para os cinco sujeitos e respectivos valores de p .

Sujeitos	Vogais	Ponto de articulação			Valor de p
		Labiodental	Alveolar	Palatoalveolar	
S1	/a/	5892 a ⁽¹⁾	7130b ⁽²⁾	5294a	0.023s ⁽³⁾
	/i/	4935a	7529b	4909a	0.002s
	/u/	4360	5649	4573	0.143ns ⁽⁴⁾
S2	/a/	3538a	7946b	4619a	0.000s
	/i/	4200a	7779b	4597a	0.000s
	/u/	3848a	6914b	3996ab	0.004s
S3	/a/	5985a	9051b	4572a	0.000s
	/i/	6382a	8829b	5373a	0.011s
	/u/	6226a	7950a	5697ab	0.009s
S4	/a/	4826a	8345a	4353ab	0.000s
	/i/	5798a	8277b	5359a	0.000s
	/u/	3972a	6880b	4712ab	0.020s
S5	/a/	5032a	6305a	3348ab	0.039s
	/i/	6089a	7265a	4290ab	0.008s
	/u/	3971	5410	3437	0.111ns
Média geral		5003	7417	4608	

Obs.: ⁽¹⁾Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre as médias. ⁽²⁾Letras diferentes indicam não haver diferenças significativas entre as médias. ⁽³⁾Valores estatisticamente significativos. ⁽⁴⁾Valores estatisticamente não significativos.

Fonte: elaboração própria.

Nesse sentido, nossos resultados estão de acordo com os resultados apresentados no clássico trabalho de Strevens (1960) sobre as fricativas do inglês. Strevens (1960) dividiu as fricativas em anteriores, mediais e posteriores em função das características do espectro de frequência das fricativas. Conforme o autor, as fricativas anteriores, como as labiodentais, possuem um espectro mais longo e com poucos picos de energia. De acordo com ele, as frequências mais baixas das fricativas labiodentais giram em torno de 1500Hz a 1700Hz, ao passo que as frequências mais altas variam de 1900 Hz a 4000Hz. Essas fricativas, segundo o autor, podem, ocasionalmente, apresentar frequências em torno de 5000Hz.

Para Strevens (1960), as fricativas mediais, como as alveolares, apresentam um espectro menor e com muitas regiões com altas frequências de energia, se comparadas com as fricativas dos demais grupos. Ainda de acordo com o pesquisador, as fricativas alveolares têm suas frequências mais baixas na faixa de 3500 Hz, enquanto que as frequências mais altas podem atingir picos que ultrapassam 8000Hz.

As fricativas posteriores, como as palatoalveolares, apresentam, por sua vez, um espectro de duração média e frequências intermediárias entre os outros dois grupos. O autor afirma que essas fricativas têm suas frequências mais baixas em torno de 1600Hz – 2500Hz. Já as

frequências mais altas podem atingir picos de até 7000Hz (STREVENS, 1960).

Com relação ao contexto vocálico, na Tabela 1 acima, podemos observar que as fricativas apresentam valores de centroide mais elevados em contexto de vogal /a/ e /i/, com exceção do sujeito 3 (S3), que apresenta, para a fricativa palatoalveolar, valor de centroide mais elevado em contexto de vogal /u/. Os resultados, na tabela 1, evidenciam que o contexto de vogal /i/ é favorecedor de valores de centroides elevados. Conforme a tabela 1, entre os valores mais baixos de centroide, para as fricativas analisadas, nenhum ocorre nesse contexto vocálico; em outras palavras, nossos resultados evidenciam que a vogal /i/ nunca faz baixar os valores de centroide para as fricativas analisadas.

Nossos resultados indicam que a vogal /a/ pode favorecer tanto o alçamento quanto o abaixamento dos valores do centroide das fricativas. Com base na tabela 1, constatamos que a vogal /a/ foi responsável por 40% dos valores mais baixos e por 46,66% dos valores mais elevados registrados para o centroide das fricativas analisadas.

Podemos observar, na tabela 1 acima, que a vogal /u/ é responsável por 60% de todos os valores mais baixos registrados para o centroide das fricativas, e apenas 6,68% dos valores mais elevados de centroide ocorrem nesse contexto vocálico. Nota-se, na tabela 1, que os valores mais baixos de centroide para a fricativa alveolar ocorrem na vizinhança da vogal /u/, ou seja, a fricativa alveolar sempre apresenta menor frequência em contexto de /u/.

Os trabalhos de Soli (1981) e Yeni-Komshian e Soli (1981) trouxeram importantes contribuições para os estudos sobre a relevância do contexto vocálico para a caracterização das fricativas sibilantes do inglês. Os autores analisaram os picos espectrais das fricativas e as características espectrais da transição entre a fricativa e a vogal seguinte, por meio do F2. Os resultados dos autores evidenciam que o ruído fricativo apresentava diferentes padrões espectrais a depender do contexto vocálico. As frequências das fricativas chegam a apresentar um aumento de 100 a 300 Hz quando estão diante da vogal /i/, se comparadas com as frequências das fricativas em ambiente de /u/ e /a/ (SOLI, 1981). De acordo com Soli (1981), a presença desses picos no espectro das fricativas indica que, durante a última parte da fricativa, a constrição começa a abrir, antecipando a articulação das vogais, e, como consequência, as ressonâncias do segundo formante são excitadas. Assim, conforme os autores, as características acústicas dos formantes fricativos variam em função do contexto vocálico devido a diferenças na coarticulação antecipatória da vogal.

Os resultados dos autores evidenciaram que os valores de F2 na transição da vogal para a fricativa eram mais altos em contexto da vogal /i/ e mais baixos em contexto da vogal /u/.

Desse modo, nossos resultados, para as fricativas do PB, com relação ao contexto vocálico, vão ao encontro dos resultados de Soli (1981) e Yeni-Komshian e Soli (1981) para as fricativas do inglês e também os de Manrique e Massone (1981) para o espanhol de Buenos Aires e Jesus (2001) para o português europeu. Os dois últimos autores afirmam, assim como Soli (1981) e Yeni-Komshian e Soli (1981), que o espectro de frequência das fricativas é fortemente influenciado pelo contexto vocálico. Em seus trabalhos, esses autores evidenciam que as frequências das fricativas tendem a ser mais altas em ambiente de vogal /i/ e mais baixas em ambiente de /u/. À semelhança desses resultados, podemos observar, nos nossos dados, apresentados na tabela 1, que a vogal /i/ nunca favorece o abaixamento dos valores de centroide, enquanto que é em contexto de vogal /u/ que ocorre a maioria dos valores mais baixos de centroide.

O segundo momento espectral aqui avaliado foi a variância, que nos indica a dispersão das frequências do ruído em torno da média. Os valores de variância encontrados se mostraram significativos para diferenciar as fricativas do PB quanto ao ponto de articulação, à semelhança do centroide.

Na Tabela 2, apresentamos os resultados obtidos na análise da variância e verificamos que todos os valores da variância diferenciaram as fricativas significativamente. Nossos resultados indicam que os valores de variância são mais altos para as fricativas labiodentais do que para as alveolares e palatoalveolares, ou seja, a variância foi capaz de diferenciar as fricativas tidas como não sibilantes (labiodentais) das sibilantes (alveolares e palatoalveolares). Esses resultados corroboram os resultados de Jongman et al. (2000) para as fricativas do inglês. Segundo os autores, a variância foi eficaz para diferenciar as fricativas sibilantes das não sibilantes, sendo que estas apresentam valores mais elevados, assim como nos nossos resultados, apresentados na Tabela 2.

Com relação ao contexto vocálico, não podemos afirmar, com base nos resultados da Tabela 2, que a vizinhança vocálica tenha influenciado nos valores da variância, segundo momento espectral, para as fricativas analisadas.

A assimetria foi o terceiro momento espectral analisado e nos informa sobre a distribuição das frequências em torno da média. Os resultados encontrados, dispostos na Tabela 3, para a assimetria das fricativas, não se mostraram tão significativos

para diferenciar as fricativas, em relação ao ponto de articulação, quanto aos dois primeiros momentos espectrais. Nos casos em que temos valores significativos, a diferença se dá, principalmente, entre as fricativas alveolares e palatoalveolares (Tabela 3).

Tabela 2. Valores médios da Variância (MHz) das fricativas labiodental, alveolar e palatoalveolar em contexto de /a/, /i/ e /u/ para os cinco sujeitos e respectivos valores de *p*.

Sujeitos	Vogais	Ponto de articulação			Valor de <i>p</i>
		Labiodental	Alveolar	Palatoalveolar	
S1	/a/	2845a ¹	1801b ²	2002ab	0.003s ³
	/i/	2976a	1503b	1929ab	0.001s
	/u/	2880a	2421a	2242ba	0.004s
S2	/a/	2400a	1260b	1716ab	0.011s
	/i/	2560a	1390b	1739ab	0.002s
	/u/	2845a	1665b	1804b	0.000s
S3	/a/	3025a	1772b	1703b	0.001s
	/i/	2833a	1612b	1640b	0.003s
	/u/	2826a	2080b	1952b	0.019s
S4	/a/	3092a	1238b	1728ab	0.000s
	/i/	3091a	1400b	1765b	0.000s
	/u/	2402a	4154a	2295ab	0.049s
S5	/a/	3078a	2455a	1352ba	0.003s
	/i/	2678a	2455a	1780b	0.025s
	/u/	3411a	2086b	2115b	0.001s
Média geral		2862,8	1952,8	1850,8	

Obs.: ⁽¹⁾Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre as médias. ⁽²⁾Letras diferentes indicam não haver diferenças significativas entre as médias. ⁽³⁾Valores estatisticamente significativos.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3. Valores médios da Assimetria das fricativas labiodental, alveolar e palatoalveolar em contexto de /a/, /i/ e /u/ para os cinco sujeitos e respectivos valores de *p*.

Sujeitos	Vogais	Ponto de articulação			Valor de <i>p</i>
		Labiodental	Alveolar	Palatoalveolar	
S1	/a/	-0.54	-0.50	0.25	0.246ns ¹
	/i/	0.23	-0.56	0.20	0.254ns
	/u/	0.34	0.36	0.33	0.200ns
S2	/a/	1.35a ²	-0.84b ³	1.27a	0.006s ⁴
	/i/	1.00a	-0.93b	0.84a	0.004s
	/u/	1.07a	-0.00a	1.79ab	0.043s
S3	/a/	-0.42a	-1.68a	1.06ab	0.036s
	/i/	-0.54a	-1.91a	0.92ab	0.018s
	/u/	-0.58	-1.13	-0.69	0.333ns
S4	/a/	0.74	-0.35	1.15	0.200ns
	/i/	-0.38	-1.25	0.57	0.102ns
	/u/	1.20	-0.35	0.21	0.249ns
S5	/a/	-0.00a	0a	2.30b	0.000s
	/i/	-0.57a	-0.54a	1.00b	0.001s
	/u/	0.87	3.77	2.07	0.471ns
Média geral		0.25	-0.39	0.88	

Obs.: ⁽¹⁾Valores estatisticamente não significativos. ⁽²⁾Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre as médias. ⁽³⁾Letras diferentes indicam não haver diferenças significativas entre as médias. ⁽⁴⁾Valores estatisticamente significativos.

Fonte: elaboração própria.

Com base nos valores obtidos para a assimetria, apresentados na Tabela 3, podemos afirmar que as fricativas do PB tendem a apresentar distribuição das frequências em torno das médias de forma similar. Como podemos observar na tabela acima, os valores de *p*, obtidos na análise estatística, evidenciaram que as médias dos valores da assimetria para as fricativas labiodentais, alveolares e palatoalveolares foram, na

sua grande maioria, ns, ou seja, não apresentam diferenças significativas.

Como pode ser verificado na Tabela 3, os valores de assimetria para as fricativas não foram influenciados pelo contexto vocálico, ou seja, não há diferença significativa nos valores da assimetria em função da vogal seguinte.

O quarto e último momento espectral avaliado nesta pesquisa foi a curtose, que nos informa sobre a natureza dos picos das frequências do ruído fricativo. Os resultados da análise da curtose são apresentados na Tabela 4.

Os resultados encontrados para a curtose das fricativas, assim como para a assimetria, não se mostram significativos para diferenciar essas consoantes quanto ao ponto de articulação, uma vez que a análise estatística não evidenciou diferença significativa entre as médias de curtose das três fricativas analisadas.

Apesar de verificarmos os valores de *p* não significativos, a análise das médias dos valores da curtose evidencia um comportamento sistemático no que se refere à distribuição dos picos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios da Curtose das fricativas labiodental, alveolar e palatoalveolar em contexto de /a/, /i/ e /u/ para os cinco sujeitos e respectivos valores de *p*.

Sujeitos	Vogais	Ponto de articulação			Valor de <i>p</i>
		Labiodental	Alveolar	Palatoalveolar	
S1	/a/	-0.63	2.98	-0.44	0.135ns ¹
	/i/	-0.75	3.09	0.26	0.235ns
	/u/	-0.37	-0.43	-1.13	0.336ns
S2	/a/	2.50	3.72	2.65	0.216ns
	/i/	0.88	4.45	1.38	0.070ns
	/u/	0.75	0.11	3.78	0.140ns
S3	/a/	-0.42a ²	7.67b ³	2.12ab	0.008s ⁴
	/i/	0.75a	6.78b	0.68a	0.005s
	/u/	-0.15	2.35	-0.41	0.120ns
S4	/a/	3.18	2.17	0.96	0.316ns
	/i/	-0.82	5.76	0.97	0.224ns
	/u/	7.63	-0.86	-1.02	0.121ns
S5	/a/	-0.80a	0.87a	9.37ba	0.008s
	/i/	-0.38a	0.22a	3.32ba	0.028s
	/u/	-0.18	2.54	5.27	0.321ns
Média geral		0.74	2.76	1.85	

Obs.: ⁽¹⁾Valores estatisticamente não significativos. ⁽²⁾Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre as médias. ⁽³⁾Letras diferentes indicam não haver diferenças significativas entre as médias. ⁽⁴⁾Valores estatisticamente significativos.

Fonte: elaboração própria.

Como podemos observar na Tabela 4, as fricativas alveolares são as que apresentam, de maneira geral, os valores mais elevados de curtose. Já as fricativas labiodentais são as que apresentam os valores de curtose mais baixos e as palatoalveolares os valores intermediários. De acordo com Forrest et al. (1988), a curtose é um indicador da distribuição das frequências no espectro; assim, tem-se que valores altos de curtose indicam que há muitos picos em alta frequência no espectro. Dessa forma, podemos afirmar que os nossos resultados para a

curtose das fricativas estão de acordo com o esperado; isto porque, como já foi mencionado, as fricativas alveolares são as que apresentam as frequências mais altas no espectro, enquanto que as labiodentais apresentam frequências mais baixas e as palatoalveolares frequências intermediárias (STREVENS, 1960; SHADLE, 1985; KENT; READ, 1992).

Considerações finais

Diante das perguntas postas neste trabalho e do objetivo do mesmo, que, de um modo geral, buscavam conhecer a natureza do ruído das fricativas do PB, podemos afirmar que nossos resultados cumprem a contento aos propósitos da pesquisa.

Assim, sobre o ruído das fricativas do PB, investigado a partir da análise dos quatro momentos espectrais, podemos afirmar que o primeiro e o segundo momento espectral, centroide e variância, foram os mais eficazes para diferenciar as fricativas quanto ao ponto de articulação. Essa eficácia foi comprovada estatisticamente, como demonstrado pelos valores de *p*, apresentados nas tabelas para esses momentos espectrais.

O centroide corresponde ao cálculo da intensidade das frequências do espectro e, como ficou evidenciado com nossos resultados, as fricativas alveolares são as que possuem os valores mais elevados de centroide, o que era esperado, já que essas fricativas são as que possuem os maiores picos de energia em altas frequências (KENT; READ, 1992; SHADLE, 1985; JESUS, 2001). Esse resultado também está de acordo com os resultados encontrados por Jongman et al. (2000) para as fricativas do inglês. Os autores afirmam que o centroide diferenciou as fricativas do inglês no que se refere ao ponto de articulação. No trabalho de Rinaldi (2010), o centroide também foi eficaz para diferenciar os três locais de constricção das fricativas do PB.

Os valores do centroide para as fricativas também apresentam diferenças com relação ao contexto vocálico. Como ficou evidenciado nos dados, os valores do centroide das fricativas são maiores quando acompanhadas das vogais /a/ e /i/. O que indica que as fricativas apresentam frequências mais altas quando seguidas dessas vogais. Por outro lado, é em contexto de vogal /u/ que ocorre a maioria dos valores mais baixos de centroide para as fricativas. Esse resultado corrobora os resultados de outros pesquisadores, como Soli (1981) e Yeni-Komshian e Soli (1981) para o inglês; Manrique e Massone (1981) para o espanhol; e Jesus (2001) para português europeu.

Com relação ao segundo momento espectral, variância, observamos que seus valores foram eficazes para diferenciar as fricativas sibilantes (alveolares e palatoalveolares) das não sibilantes (labiodentais). Nossos resultados, à semelhança dos resultados encontrados para as fricativas do inglês por Jongman et al. (2000), evidenciam que as fricativas não sibilantes apresentam valores de variância mais elevados que as fricativas sibilantes.

Com relação ao terceiro momento espectral, assimetria, nossos resultados evidenciam que seus valores não foram tão significativos para diferenciar as fricativas quanto ao ponto de articulação. Como vimos, para as fricativas do PB, a distribuição das frequências em torno da média ocorre de maneira semelhante para todas as fricativas. A análise estatística evidenciou que as médias dos valores da assimetria para as fricativas labiodentais, alveolares e palatoalveolares foram na maior parte *ns*, ou seja, não apresentam diferenças significativas.

Os resultados, com relação ao quarto momento espectral, indicam que a curtose foi eficaz para diferenciar as fricativas no que diz respeito ao ponto de articulação. No tocante ao ponto de articulação, nossos resultados evidenciam que, de maneira geral, as fricativas alveolares são as que apresentam os valores de curtose mais elevados, as fricativas labiodentais são as que apresentam os valores de curtose mais baixos e as palatoalveolares os valores intermediários. No que tange ao contexto vocálico, não podemos afirmar que a vizinhança vocálica tenha interferido nos valores de curtose para as fricativas investigadas.

Referências

- AYRES, M.; AYRES, M. J.; AYRES, D. L.; SANTOS, D. A. S. **BioEstat**: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém, 2007. (Programa de computador)
- BERTI, L. C. **Aquisição incompleta do contraste entre /s/ e /ʃ/ em crianças falantes do português brasileiro**. 2006. 221f. Tese (Doutorado em Linguística)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- BOERSMA, P.; WEENINK, D. **Praat**: doing phonetics by computer. Version 5.3.8.2. (Computer program). Disponível em: <<http://www.praat.org/>>. Acesso em: 26 jul. 2014.
- CAGLIARI, L. C. **Elementos de fonética do português brasileiro**. São Paulo: Paulistana, 2007.
- CAMARA JÚNIOR, M. **Estrutura da língua portuguesa**. 36. ed. Petrópolis: Vozes, 1970.
- CRYSTAL, D. **A dictionary of linguistics and phonetics**. 2nd ed. Oxford: Blackwell. 1985.
- FANT, G. **Acoustic theory of speech production**. 2. ed. Paris: Mouton, 1970.

- FERREIRA-SILVA, A.; PACHECO, V. Relação entre duração segmental e percepção de fricativas surdas e sonoras. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA ABRALIN, 6., 2009. João Pessoa. **Anais do VI CONGRESSO INTERNACIONAL DA ABRALIN**. João Pessoa, 2009. v. 2. Disponível em: <<http://www.abralin.org>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- FERREIRA-SILVA, A.; PACHECO, V. Evidências da relação entre duração segmental e percepção de fricativas surdas e sonoras em ataque silábico. **Confluência: Revista do Instituto de Língua Portuguesa**. v. 39-40, n. 39/40, p. 180-200, 2012.
- FORREST, K.; WEISMER, G.; MILENKOVIC, P.; DOUGALL, R. N. Statistical analysis of word-initial voiceless obstruents: preliminary data. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 84, n. 1, p. 115-123, 1988.
- FREITAS, M. C. **Aquisição das obstruintes por crianças de 5-7 anos com queixa Fonoaudiológica**. 2007. 161f. Dissertação (Mestrado em Linguística)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- HAUPT, C. As fricativas [s], [z], [ʃ] e [ʒ] do Português Brasileiro. In: **Gel: Estudos linguísticos XXXVI** (1). Araraquara: Unesp, 2007.
- JESUS, L. M. T. **Acoustic phonetics of european portuguese fricative consonants**. 2001. 249f. Tese (Doutorado em Filosofia)-University of Southampton, Southampton, 2001.
- JESUS, L. M. T.; SHADLE, C. A parametric study of the spectral characteristics of European Portuguese fricatives. **Journal of Phonetics**, v. 30, n. 3, p. 437-464, 2002.
- JONGMAN, A.; WAYLAND, R.; WONG, S. Acoustic characteristics of English fricatives. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 108, n. 3, p. 1252-1263, 2000.
- KENT, R. D.; READ, C. **Acoustic analysis of speech**. Albany: Thomson Learning, 1992.
- MALMBERG, B. **A fonética: no mundo dos sons da linguagem**. Lisboa: Livros do Brasil, 1954.
- MANRIQUE, A. M. B.; MASSONE, M. I. Acoustic analysis and perception of Spanish fricative consonants. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 69, n. 4, p. 1145-1153, 1981.
- RINALDI, L. M. **Procedimentos para a análise das vogais e obstruintes na fala infantil do português brasileiro**. 2010. 175f. Dissertação (Mestrado em Linguística)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- SAMCZUK, I. B.; GAMA-ROSSI, A. **Descrição fonético-acústica das fricativas do português brasileiro**. São Paulo: PUC, 2004.
- SHADLE, C. **The acoustics of fricative consonants**. 1985. 200f. Tese (Doutorado em Filosofia)-Massachusetts Institute of Technology Research Laboratory of Electronics, Massachusetts, 1985.
- SHADLE, C. **Phonetic acoustic**. New Haven: Haskins Laboratories, 2006.
- SOLI, S. D. Second formants in fricatives: Acoustic consequences of fricative-vowel coarticulation. **Journal of Acoustical Society of America**, v. 70, n. 4, p. 976-984, 1981.
- STEVENS, K. N. Airflow and turbulence noise for fricative and stop consonants: static considerations. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 50, n. 4, p. 1.180-1.192, 1971.
- STREVEENS, P. Spectra of fricative noise in human speech. **Language and Speech**, v. 3, n. 1, p. 32-49, 1960.
- YENI-KOMSHIAN, B.; SOLI, S. Recognition of vowels from information in fricatives: perceptual evidence of fricative-vowel coarticulation. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 70, n. 4, p. 966-975, 1981.

Received on September 30, 2014.

Accepted on August 7, 2015.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.