

# Estimação das Trajectórias dos Parâmetros Articulatórios da Dinâmica Acústica do Sinal de Fala

Carlos A. Silva<sup>1</sup>, Isabel Trancoso<sup>2</sup>, and Samir Chennoukh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Electrónica Industrial, Universidade do Minho,  
Portugal, [cas@eng.uminho.pt](mailto:cas@eng.uminho.pt),

<sup>2</sup> INESC/IST, Portugal,

[Isabel.Trancoso@inesc.pt](mailto:Isabel.Trancoso@inesc.pt),

<sup>3</sup> Philips Research Labs, Netherland,  
[chennoukh@natlab.research.philips.com](mailto:chennoukh@natlab.research.philips.com)

**Resumo** Este trabalho tem como objectivo a análise articulatória da fala como base para a especificação das regras de um sintetizador articulatório para o Português Europeu. A abordagem clássica consiste em juntar um grande número de pares de vectores articulatórios e acústicos numa tabela. Então, com base num dado critério, a não unicidade das trajectórias dos parâmetros articulatórios é resolvida através de um método de optimização dinâmica. Uma tabela de parâmetros articulatórios requer um modelo capaz de gerar geometrias de todos os sons possíveis da língua. Este artigo apresenta uma nova abordagem introduzindo o ápice da língua no modelo da função de área do tracto vocal de Ishizaka de modo a produzir com mais detalhe certas classes de consoantes. Apresentamos, igualmente, os resultados deste trabalho quanto à pesquisa com uma tabela optimizada construída com diferentes métodos de amostragem dos parâmetros do modelo.

## 1 Introdução

A investigação em produção de fala colecta uma vasta quantidade de dados sobre a geometria do tracto vocal, a sua mecânica, as suas propriedades acústicas e a informação que esta codifica. A análise destes dados deve permitir estabelecer as características do sistemas de produção de modo a poder modelizá-lo. Dada a dificuldade na obtenção de dados sobre a dinâmica dos vários articuladores, é necessário usar técnicas de estimação para obter a função de área do tracto vocal directamente do sinal da fala. O problema de estimar a geometria do tracto vocal directamente do sinal acústico é frequentemente denominado na literatura da especialidade como o problema inverso, sendo de difícil resolução dada a natureza não unívoca da relação acústica-geométrica.

O nosso esforço centra-se na resolução do problema inverso através de um mecanismo de optimização usando uma tabela de parâmetros articulatórios. Esta tabela é usada para obter uma primeira estimativa da geometria do tracto vocal que possa ter produzido uma dada combinação dos parâmetros acústicos. Deve,

igualmente, ser construída de modo a cobrir todo o espaço articulatório natural do falante. Este espaço deve ter a sua cadência de amostragem ajustada de modo a que haja sempre um vector acústico com um vector articulatório associado perto do extremo global. Contudo, à medida que o tamanho da tabela aumenta, a sua pesquisa torna-se cada vez mais complexa com um aumento das soluções possíveis para cada entrada. Este trabalho tem como objectivo a construção de uma tabela óptima. Neste artigo, apresentamos os nossos resultados com diferentes tabelas construídas com um modelo melhorado do tracto vocal e com técnicas mais apropriadas de amostragem dos seus parâmetros.

Na secção 2 discutimos a construção de uma tabela otimizada com o novo modelo do tracto vocal; discutimos igualmente os diferentes métodos de amostragem dos parâmetros. Na secção 3 apresentamos a nossa estratégia para resolver o problema da não unicidade das trajectórias dos parâmetros articulatórios. Os resultados são apresentados na quarta secção; por último discutimos os resultados e o trabalho futuro.

## 2 Construção da Tabela de Parâmetros Articulatórios

A dificuldade no uso de tabelas de parâmetros articulatórios para a análise articulatória pode ser resumida em quatro pontos. Em primeiro lugar, os vectores do modelo articulatório deveriam ser ordenados no domínio articulatório de modo a permitir a construção controlada da tabela; contudo, devido ao acesso na análise ser feito segundo o domínio acústico, os vectores aparecerão desordenados na tabela, o que condiciona o método na pesquisa; por isso, seria conveniente ordenar os vectores segundo o domínio acústico. Em segundo lugar, o mapeamento inverso acústico-articulatório geralmente não é unívoco; logo, se aumentarmos o tamanho da tabela, teremos mais vectores como solução possível para cada trama, aumentando assim a ambiguidade na decisão. Em terceiro lugar, o mapeamento não é linear; portanto, a interpolação de um par de vectores articulatórios não coincide com o vector articulatório que corresponde à interpolação dos respectivos vectores acústicos. Por último, o centróide de um conjunto de vectores articulatórios não coincide com o centróide dos respectivos vectores acústicos; por isso, embora possamos amostrar regularmente todo o espaço articulatório poderemos ter mesmo assim lacunas na cobertura do espaço acústico. Por estas razões, os investigadores têm tentado reduzir a dimensão da tabela [1] e obter melhores métodos de agrupamento (*clustering*) dos vectores [2] de modo a poderem reduzir o tempo de acesso. Visto não haver um conjunto de parâmetros ortogonais bem estabelecido para o modelo do tracto vocal, a construção da tabela de vectores articulatórios não deve ser limitada quanto a sua dimensão, procurando-se garantir apenas que os vectores introduzidos correspondam às geometrias fisiologicamente correctas do tracto vocal.

O modo de acesso à tabela de parâmetros articulatórios depende da forma como foi construída. O método geralmente usado na construção das tabelas [1] consiste em ordenar os vectores dos parâmetros do modelo articulatório e os respectivos vectores acústicos simultaneamente à medida que são calculados. O

cálculo dos vectores dos parâmetros articulatórios pode ser efectuado de duas maneiras: a primeira consiste na interpolação de vectores estrategicamente escolhidos que representam fonemas; a segunda consiste em considerar que cada componente é uma variável aleatória com uma distribuição uniforme. O tempo de procura em ambos os métodos é longo, não sendo adequado para pesquisas em tempo real [3]. Neste trabalho, usou-se um mapeamento inverso *off-line* [4] para construção das tabelas, permitindo simplificar o acesso e pesquisa dos vectores de parâmetros articulatórios. Este método classifica o espaço articulatório em blocos numa rede acústica, que é obtida pela amostragem do espaço acústico coberto pelo modelo articulatório. O acesso à rede acústica é feito através do vector acústico calculado para cada trama do sinal de fala.

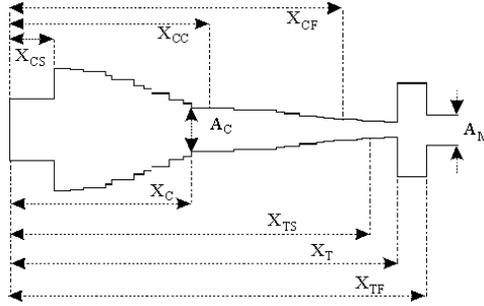
Na análise do sinal de fala, durante a pesquisa dos vectores articulatórios na rede acústica, nem sempre se encontram vectores no nó objectivo endereçado pelo vector acústico. Tendo-se então que proceder a uma pesquisa na sua vizinhança de modo a encontrar uma solução. Nesta pesquisa são considerados todos os vectores que estão a uma distância do nó objectivo, igual à distância usada durante a amostragem do espaço acústico,  $ds$ . Se não for encontrado qualquer vector que satisfaça simultaneamente a condição de continuidade para o domínio articulatório e para o domínio acústico, então a pesquisa é repetida após aumentar a distância de pesquisa. No trabalho anterior [4], pesquisava-se apenas segundo determinadas direcções, terminando-se quando um vector era encontrado. Contudo, verificámos que este método por vezes não é capaz de seguir a trajectória dos parâmetros acústicos, porque, embora procure manter a continuidade dos mesmos, permite um erro considerável na trajectória dos parâmetros articulatórios, resultando numa predição errada do estado seguinte da rede dinâmica predictiva.

## 2.1 Modelo da Função de Área do Tracto Vocal

Durante a produção da fala, a superfície da língua, que define quase a totalidade da geometria do tracto vocal, descreve centenas de formas subtilmente diferentes combinadas com diferentes aberturas dos lábios. Cada uma dessas formas é em particular uma curva não linear, não tendo geralmente uma representação matemática fácil. Contudo, examinando essas formas torna-se claro que estão relacionadas entre si de alguma maneira. Por exemplo, parece haver um padrão regular entre as formas do tracto vocal usadas por diferentes indivíduos na produção das mesmas vogais. Tais padrões de variação são particularmente importantes no modelamento do tracto vocal.

Um dos métodos para este modelamento usa três parâmetros na função de área: a distância desde a glote até ao ponto de constricção com o corpo da língua ( $x_c$ ), a área da constricção ( $a_c$ ) e a área de abertura dos lábios ( $a_m$ ) [5,6,7,8]. Neste trabalho, apresentamos uma extensão ao modelo da função de área proposto por Ishizaka [8] para descrever as formas do tracto vocal. Estendemos o modelo de Ishizaka com a introdução de dois novos parâmetros, a posição e a área descrita pelo ápice da língua, Fig. 1. A introdução destes dois parâmetros permite caracterizar constricções e oclusões na região alveolar com mais detalhe

na função de área do tracto vocal. Esta região desempenha um papel importante na produção de frictivas e oclusivas.



**Figura1.** Novo modelo da função de área.

O ápice da língua é modelado pela sua posição e pela área descrita relativamente quer ao palato duro quer aos alvéolos. No cálculo da posição, consideramos a localização da constrição com o corpo da língua e a sua propriedade de incompressibilidade. Quando a constrição é efectuada perto do véu, como na produção de /u/, o levantamento do corpo da língua e a correspondente diminuição da área de constrição deve-se à contracção dos músculos genioglosso posterior e estiloglosso [9]. Este último tem o efeito de trazer o ápice da língua em direcção à sua posição mínima,  $x_{ts}$ , e de limitar o seu movimento na direcção ascendente. Já a produção dos alofones de /a/ na parte inferior da faringe é feita pela contracção do músculo hioglosso e pelos constritores faríngeos [9]. A contracção destes músculos resulta no recuo do corpo da língua e no abaixamento da sua lâmina. O movimento da lâmina da língua traz o ápice para a frente junto aos dentes, onde o ápice tem liberdade de se movimentar na direcção perpendicular ao eixo do tracto vocal. Um comportamento semelhante é encontrado para os alofones das vogais frontais, como por exemplo em /i/. Este comportamento pode ser modelado pelo seguinte conjunto de equações. A posição do ápice é descrita por:

$$x_t(x_c) = x_{tf} - d_x(x_c). \quad (1)$$

onde  $x_{tf}$  representa a posição máxima do ápice, coincidindo com a posição dos dentes, sendo medida a partir da glote e  $d_x$ , deslocamento relativo do ápice, é modelado por:

$$d_x(x_c) = \begin{cases} \sqrt{\frac{K}{\pi}} \times \frac{x_c - x_{cs}}{x_{cc} - x_{cs}}, & x_c < x_{cc} \\ \sqrt{\frac{K}{\pi}} \times \frac{x_{cf} - x_c}{x_{cf} - x_{cc}}, & x_c \geq x_{cc} \end{cases} \quad (2)$$

Nas expressões acima  $x_{cc}$  é a posição velar, e  $x_{cs}$  e  $x_{cf}$  são respectivamente a posição máxima e mínima da constrição com o corpo da língua,  $x_c$ . O factor

$K$  é descrito por:

$$K = \begin{cases} A_n - A_v, & A_v < A_n \\ 0 & , A_v \geq A_n \end{cases} \quad (3)$$

onde  $A_n$  é a área do tracto vocal na produção do *schwa*, e  $A_v$  é a área junto ao véu. Estas equações modelam a posição do ápice em função da posição da constricção com o corpo da língua e do seu volume. A introdução do modelamento do ápice no modelo da função de área do tracto vocal permitiu descrever uma cavidade,  $A_{ad}$ , entre o ápice e os dentes. A área desta cavidade foi fixada em  $2.0 \text{ cm}^2$  acima da área descrita nos lábios,  $A_m$ . A região entre a posição da constricção com o corpo da língua,  $x_c$ , e a posição da constricção junto ao ápice,  $x_t$ , é modelada pela sobreposição de uma recta com um arco de seno entre as coordenadas  $(x_c, A_c)$  e  $(x_t, A_t)$ , descrita por:

$$area(x, y) = k_1(y) \sin\left(\pi \frac{x - x_c}{x_t - x_c}\right) + \frac{A_t - A_c}{x_t - x_c} \times (x - x_c) + A_c. \quad (4)$$

O factor  $k_1$  descreve a amplitude do arco do seno. Este varia de acordo com a distância entre as duas constricções:

$$k_1(y) = 0.41 \times (y - 1.5), \quad (5)$$

onde  $y$  é a distância Euclideana entre as duas coordenadas:

$$y = \sqrt{(x_t - x_c)^2 + (A_t - A_c)^2}. \quad (6)$$

A equação completa da função de área do tracto vocal é:

$$area(x) = \begin{cases} 2.0, & x < x_{cs} \\ \frac{A_b + A_c}{2} - \frac{A_b - A_c}{2} \times \\ \quad \cos\left(\pi \frac{x_c - x}{l_b}\right), & x_{cs} \leq x \leq x_c \\ \frac{A_f + A_c}{2} - \frac{A_f - A_c}{2} \times \\ \quad \cos\left\{\pi \left[0.4 + 0.6 \frac{x - x_c}{l_f}\right] \frac{x - x_c}{l_f}\right\}, & x_c < x \leq x_{tf} \wedge A_t \geq A_{t_{max}} \\ k_1 \sin\left(\pi \frac{x - x_c}{x_t - x_c}\right) + \frac{A_t - A_c}{x_t - x_c} \times \\ \quad (x - x_c) + A_c, & x_c < x \leq x_t \wedge A_t < A_{t_{max}} \\ A_m + A_{alv}, & x_t < x \leq x_{tf} \wedge A_t < A_{t_{max}} \\ A_m, & x_{tf} < x < L \end{cases} \quad (7)$$

Portanto, quando  $A_t$  é maior que  $A_{t_{max}}$ , este modelo comporta-se exactamente como o modelo de Ishizaka, visto que os valores para a área junto ao ápice acima de  $A_{t_{max}}$  não têm relevância acústica.

## 2.2 Métodos de Amostragem do Tracto Vocal

O desempenho da tabela de parâmetros articulatórios depende da sua dimensão e da capacidade do modelo da função de área em gerar geometrias que cubram convenientemente o espaço acústico. A cobertura do espaço acústico é o objectivo principal na construção da tabela. Nomeadamente, precisamos de uma tabela que forneça um grupo de vectores potenciais soluções para uma região arbitrária do espaço acústico. Logo, a técnica de amostragem dos parâmetros desempenha uma função importante ao garantir que os vectores articulatórios cobrem o espaço acústico mais eficazmente. Neste trabalho consideraram-se diferentes técnicas de amostragem: linear, logarítmica, duas técnicas empíricas e combinações destas.

O método de amostragem linear consiste em, dado o número de amostras, dividir a gama de variação do parâmetro em sub-regiões com distância constante.

No método de amostragem logarítmica, fixa-se o número de amostras e aplica-se uma escala logarítmica. Se o parâmetro é uma área, então a amostragem é feita de forma que a maior densidade de amostras seja para áreas de pequeno valor. No caso da posição  $x_c$ , a amostragem é tal que a maior densidade de amostras esteja junto aos dentes, o que permite ter maior resolução no posicionamento do ápice.

No método de amostragem percentual, uma das técnicas empíricas, a amostra seguinte é dada por:

$$x_{next} = (1 + k) \times x_{prev}, \quad (8)$$

onde  $0.0 < k < 1.0$ .

No método de amostragem irregular, a amostra seguinte é dada por:

$$x_{next} = r_n \times x_{prev}. \quad (9)$$

O factor,  $r_n$ , é actualizado a cada iteração segundo a seguinte expressão:

$$r_n = \begin{cases} \lceil \frac{r_{n-1}}{2.0} \rceil, & r_{n-1} > 3 \\ 1.5, & r_{n-1} \leq 3 \end{cases}. \quad (10)$$

O operador  $\lceil \cdot \rceil$  retorna o inteiro imediatamente superior ao seu argumento. Todos estes métodos têm como objectivo concentrar a maioria das amostras em áreas pequenas (áreas  $< 1.0cm^2$ ). O método de amostragem irregular não foi aplicado na variável  $x_c$ .

## 3 Não Unicidade das Trajectórias Articulatórias

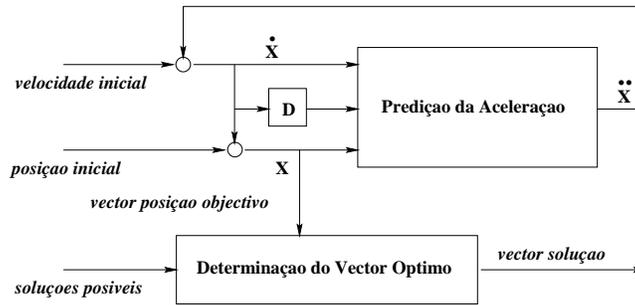
O mapeamento acústico-articulatório não é unívoco. Logo, a trajectória articulatória também não é unívoca. Schroeter [10] propôs um método de decisão para resolver este problema baseado em programação dinâmica. Esta abordagem adia a decisão sobre a melhor solução para uma trama até que um segmento de fala, geralmente de  $80ms$ , tenha sido analisado. A escolha sobre a melhor trajectória

é feita segundo uma função de custo que tem duas componentes. A primeira componente é a distância acústica entre as características acústicas da trama e as dos vectores articulatorios contidos no nó endereçado; a segunda componente é a distância geométrica entre o vector articulatorio obtido na análise da trama anterior e os vectores contidos no nó analisado. A decisão é tomada de forma a minimizar o custo acumulado ao longo do segmento analisado. Esta abordagem é computacionalmente muito pesada.

Chennoukh [4] propôs uma solução para este problema através do uso de redes preditivas dinâmicas (*Forward Dynamic Network - FDN*). Esta técnica estima o vector de parâmetros articulatorios da trama actual com base na posição, velocidade e aceleração dos parâmetros do modelo da função de área da trama anterior, Fig. 2. Esta estimativa é usada para decidir qual é o vector no nó que melhor descreve a dinâmica do sistema. A função de custo é a soma do quadrado da distância Euclideana entre a posição estimada e a posição descrita pelo vector de parâmetros articulatorios:

$$custo = \sum_{i=1}^N (a_i - p_i)^2, \quad (11)$$

onde  $N$  é o número de parâmetros,  $a$  é o valor do parâmetro do vector encontrado no nó e  $p$  é o valor estimado pela *FDN*. Esta abordagem tem em conta as propriedades dinâmicas dos articuladores. Esta dinâmica é atualizada a cada trama pelo vector articulatorio obtido de acordo com a função de custo. Desta maneira, a trajectória dos parâmetros articulatorios é estimada trama a trama durante a análise.



**Figura2.** Estrutura da *Forward Dynamic Network*.

## 4 Resultados

De modo a avaliar o desempenho do novo modelo da função de área do tracto vocal e dos métodos de amostragem dos parâmetro do modelo relativamente

ao modelo de Ishizaka, contruimos diferentes tipos de tabelas. O desempenho destas tabelas é medido em termos do tipo de amostragem e da sua dimensão. A tabela 1 apresenta a gama de valores para cada um dos parâmetros usada na construção das tabelas.

**Tabela1.** Gama de variação dos parâmetros do modelo.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Unidades</i>
$A_c$	0.3	4.0	$cm^2$
$x_c$	4.0	13.5	$cm$
$A_m$	0.5	8.0	$cm^2$
$A_{tip}$	0.001	4.0	$cm^2$

As tabelas foram avaliadas de acordo com a percentagem de sucesso no acesso. Esta é definida como a percentagem entre o número de tramas na frase para o qual os nós destino tinham vectores e o número total de tramas.

Três frases foram usadas, "i a i a o", "Who are you?" e "Where are you?". Estas foram faladas por três falantes masculinos. Os sinais foram amostrados a  $16KHz$ , tendo sido processados com uma janela de Hamming de  $32ms$  com um passo de  $15ms$ . Foi usado o método de Levinson-Durbin para calcular os coeficientes LPC de ordem 18. O método de Newton-Raphson foi usado para estimar os pólos da função de transferência do modelo. As formantes obtidas foram usadas para aceder a tabela de vectores articulatórios. Então, a tabela forneceu os vectores contidos no nó endereçado que foram processados pela rede preditiva dinâmica. À saída da rede temos o vector articulatório solução óptima para a trama analisada.

Na tabela 2, encontramos os resultados do desempenho das tabelas de teste construídas com o modelo de Ishizaka e com o modelo proposto deste trabalho usando as diferentes técnicas de amostragem dos parâmetros articulatórios. Para avaliar os modelos e as técnicas de amostragem comparamos as tabelas para diferentes dimensões - 8.000, 18.000, 38.000 e 64.000 vectores articulatórios. Se considerarmos os modelos para a amostragem linear, o novo modelo apresenta um desempenho superior ao de Ishizaka, excepto para a segunda frase - "Who are you?". O novo modelo tem um parâmetro a mais que o de Ishizaka, logo para dimensões semelhantes, a tabela construída com este tem uma resolução inferior para os parâmetros  $A_c$ ,  $X_c$  e  $A_m$ , Portanto, verifica-se uma degradação do desempenho das tabelas construídas com o novo modelo para tabelas de pequena dimensão.

Notamos na Tabela 2 que, à medida que a dimensão das tabelas aumenta, o desempenho das mesmas construídas com o novo modelo aumenta igualmente. Na verdade, a tabela *cdb-64.3* tem um desempenho 18% superior ao da tabela *cdb-64.1* que foi construída com o modelo de Ishizaka. Quando comparamos os desempenhos das tabelas *cdb-10.3* e *cdb-64.3* para a terceira frase, verificamos

que com a introdução do ápice da língua foi possível a uma tabela construída com o novo modelo apresentar um desempenho superior a uma tabela construída com o outro modelo mas de dimensão 8 vezes maior.

De acordo com os resultados do uso de diferentes tipos de amostragem dos parâmetros, verificamos o método de amostragem logarítmica e a combinação da amostragem logarítmica com a amostragem irregular são os métodos que permitem construir tabelas com melhor desempenho. Contudo, verificamos que, à medida que a dimensão das tabelas aumenta, o método de amostragem torna-se menos crucial.

## 5 Conclusões e Trabalho Futuro

A análise articulatória requer modelos fisiológicos do sistema de produção da fala. Nesta modelação é necessário o conhecimento de um conjunto optimizado de parâmetros geométricos, acústicos e mecânicos para descrever a complexidade da produção da fala. Uma das dificuldades na análise reside em especificar as condições da realização dos vários processos fisiológicos envolvidos nesta produção através de um conjunto restrito de parâmetros. A qualidade do sinal de fala resintetizado é de certa forma uma medida da eficiência do algoritmo de mapeamento inverso acústico-articulatório e da inclusão das condições acústicas e fisiológicas.

Neste artigo, apresentamos o progresso do nosso trabalho em direcção a este objectivo usando uma rede dinâmica predictiva com uma tabela de parâmetros articulatórios melhorada através de um novo modelo da função de área do tracto vocal e do uso criterioso de métodos de amostragem dos seus parâmetros, o que nos permitiu melhorar a inteligibilidade do sinal resintetizado quando comparado com trabalhos anteriores [4]. No momento, estamos a melhorar a rede dinâmica predictiva pela inclusão de restrições fisiológicas que modelam a dinâmica do sistema de produção de determinados fonemas. Esta abordagem deve permitir-nos analisar o problema da co-articulação durante a produção das consoantes e determinar o local da articulação da consoante. Um outro aspecto a estudar é a existência de alternativas ao uso das formantes como vector acústico de acesso à tabela.

## Referências

1. J. Schroeter and M.M. Sondhi, "Speech coding based on physiological models of speech production", in: Furui S. and M.M. Sondhi Eds., *Advances in Speech Signal Processing* (Marcel Dekker, New York), pp. 231-268, 1992.
2. J. Larar, J. Schroeter and M. M. Sondhi, "Vector Quantization of the Articulatory Space", *IEEE trans. on Acoustic, Speech and Signal Processing*, pp. 1812-1818, 1988.
3. S. Chennoukh, D. Sinder and J. Flanagan, "Voice Mimic System," *CAIP Technical Report TF-228*, New-Jersey, 1998.

4. S. Chennoukh, D. Sinder, G. Richard, and J. Flanagan, "Voice Mimic System using Articulatory Codebook for Estimation of Vocal Tract Shape," *EuroSpeech'97*, Patras, Greece, September 1997.
5. H. Dunn, "The calculation of vowel resonances", *J. Acoust. Soc. Am.* 22, pp. 740-753, 1950.
6. K. Stevens and A. House, "Development of a quantitative of vowel articulation", *J. Acoust. Soc. Am.* 27, pp. 484-493, 1955.
7. G. Fant, "Acoustic Theory of Speech", Mouton eds-Grevenhage, The Netherlands, 1960.
8. J. Flanagan, K. Ishizaka, and K. Shipley, "Signal models for low bite-rate coding of speech", *J. Acoust. Soc. Am.* 68, pp. 780-791, 1980.
9. J. S. Perkell, "Properties of the Tongue Help to Define Vowel Categories: Hypotheses based on Physiologically-Oriented Modeling.", *J. of Phonetics* 24, pp. 3-22, 1996.
10. J. Schroeter, M. M. Sondhi, "Dynamic Programming Search for Articulatory Codebooks.", *ICASSP*, Glasgow, 1989.

**Tabela2.** Desempenho das tabelas construídas com várias dimensões e diferentes métodos de amostragem. 1) Modelo da função de área: Ish (Modelo de Ishizaka), NM (Novo modelo). 2) Nesta coluna, a primeira letra indica o método de amostragem e o dígito indica o número de parâmetros que usa esse método. Os métodos são: *L* (linear), *O* (logarítmico), *P* (percentual) and *I* (irregular). A ordem dos parâmetros é  $A_c$ ,  $x_c$ ,  $A_m$  and  $A_t$ . Por exemplo, *P3I* significa que  $A_c$ ,  $x_c$  e  $A_m$  usam o método de amostragem percentual, enquanto  $A_t$  usa o método irregular.

<i>Tabela</i>	<i>Modelo</i> <sup>1</sup>	<i>Amostragem</i> <sup>2</sup>	<i>Dimensão</i>	<b>Frases I Frase II Frase III</b>		
				(%)	(%)	(%)
Cdb-10.1	Ish	L3	8320	43.1	28.8	6.6
Cdb-10.2	Ish	O3	8320	57.6	37.3	13.2
Cdb-10.3	NM	L4	7956	47.7	15.3	14.5
Cdb-10.4	NM	O4	9236	60.3	30.5	21
Cdb-10.5	NM	P4	8.541	55.6	37.3	11.8
Cdb-10.6	NM	P3I	8840	63.6	44.1	11.8
Cdb-10.7	NM	O3I	8931	59	35.6	13.2
Cdb-20.1	Ish	L3	19800	42.4	35.6	9.2
Cdb-20.2	Ish	O3	19800	57	37.3	13.2
Cdb-20.3	NM	L4	19965	67.6	25.4	—
Cdb-20.4	NM	O4	19710	69.5	39	25
Cdb-20.5	NM	P4	16530	55.6	32.2	17.1
Cdb-20.6	NM	P3I	17595	68.2	33.9	23.7
Cdb-20.7	NM	O3I	19140	63.6	33.9	25
Cdb-40.1	Ish	L3	39600	54.3	40.7	11.8
Cdb-40.2	Ish	O3	39600	61.6	42.4	13.2
Cdb-40.3	NM	L4	39120	87.4	32.2	25
Cdb-40.4	NM	O4	38368	72.9	47.5	25
Cdb-40.5	NM	P4	33768	57	42.4	33.4
Cdb-40.6	NM	P3I	36162	73.5	45.8	26.3
Cdb-40.7	NM	O3I	35802	65.6	42.4	23.7
Cdb-64.1	Ish	L3	64000	61.6	40.5	13.2
Cdb-64.2	Ish	O3	64000	62.3	42.4	13.2
Cdb-64.3	NM	L4	65076	85.4	47.8	26.3
Cdb-64.4	NM	O4	63580	76.8	49.2	29
Cdb-64.5	NM	P4	54802	65.6	39	15.8
Cdb-64.6	NM	P3I	61532	80.1	45.8	29
Cdb-64.7	NM	O3I	63206	88.1	49.2	21.4