

Inteligibilidade de Fala por Listas de Palavras Foneticamente Balanceadas num Átrio Projetado Segundo Padrões Construtivos Green Building

OLIVEIRA, Helton Luiz Santana*; VERGARA, E. Felipe⁺.

*Petróleo Brasileiro S.A, Universidade Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, heltonluiz@petrobras.com.br

+ Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. de Engenharia Mecânica, Florianópolis, SC, e.f.vergara@ufsc.br

Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre inteligibilidade de fala com base no método das listas de palavras foneticamente balanceadas ajustadas para a língua portuguesa na forma usualmente empregada na cidade do Rio de Janeiro. O estudo é aplicado num átrio central envidraçado de usos múltiplos existente no edifício de um dos campi de uma universidade corporativa. São apresentadas características típicas da edificação, a forma de estruturação do tipo de ensaio de inteligibilidade e exibidos os resultados obtidos em três sequências de execução e compara a coerência dos resultados mediante aplicação do teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Palavras-chave: Inteligibilidade de fala, palavras foneticamente balanceadas, Acústica de edifícios, Átrio.

1. Introdução

O edifício objeto deste estudo abriga a sede da universidade corporativa de uma grande organização empresarial brasileira que atua, de forma integrada, no setor econômico de energia. Esta universidade corporativa tem por atribuições o desenvolvimento de soluções educacionais corporativas dirigidas à melhoria da capacitação dos empregados dessa companhia. No edifício em estudo um dos elementos arquitetônicos de maior destaque é o grande átrio envidraçado de usos múltiplos e, que fica localizado no centro das prumadas da edificação.

A condução dos trabalhos deste estudo é guiada, sobretudo pelas diretrizes da norma ANSI/ASA S3.2 (2009). Esta abordagem permite determinar a inteligibilidade de fala através de testes subjetivos desenvolvidos com a participação de voluntários selecionados de acordo com critérios específicos. Pela inexistência deste tipo de teste padronizado para as características da língua portuguesa tal como é falada na cidade do Rio de Janeiro.

2. Objetivos

Os objetivos que nortearam o estudo desenvolvido para a construção deste artigo são:

- Identificar como os critérios de arquitetura sustentável empregados atualmente no projeto de edificações comerciais consideram as questões de condicionamento acústico;
- Estimar os níveis de inteligibilidade de fala através de testes subjetivos para a qualificação do átrio.

3. Construções Sustentáveis e Acústica

Segundo Kubba (2006), as construções sustentáveis têm se tornado objeto de norma em muitos novos projetos de construção. Programas nacionais e locais promovem os princípios de construção sustentável estão florescendo em nível mundial. O termo edificação verde ou sustentável é relativamente novo para a língua portuguesa, e uma definição precisa ainda não está bem consolidada. Edifícios sustentáveis e/ou verdes também são conhecidos como "edifícios de alto desempenho".

Na visão de Kwok & Grondzik (2013) a promoção da discussão sobre as certificações de edificações sustentáveis ajuda a

compreender a grande força que tem favorecido o repensar dos projetos e dos requisitos de desempenho das edificações.

Segundo Zunino (2011), o primeiro método de avaliação ambiental de edifícios é o BREEAM, lançado em 1990 no Reino Unido. Em 1998 o conselho americano de construções sustentáveis - USGBC lançou o sistema de liderança em energia e projeto ambiental - LEED. Sistemas semelhantes de avaliação, classificação e certificação de construções sustentáveis têm sido verificados em vários países do mundo, por exemplo: na França tem-se a certificação de alta qualidade ambiental das edificações - HQE; no Canadá tem-se o 'Green Globes'; no Japão tem-se o sistema de avaliação compreensiva para a eficiência ambiente construído - CASBEE; na Alemanha tem-se o sistema da Sociedade Alemã de Construção Sustentável - DGNB; na Austrália tem-se o Sistema nacional australiano de classificação do ambiente construído - NABERS; na África do Sul tem-se a Ferramenta de Avaliação de Construções Sustentáveis - SBAT; em Portugal tem-se o 'LiderA' (acrônimo de Liderar pelo Ambiente para a Construção Sustentável).

Segundo a ABRAMAT (2012) entre 2010 e 2011 a importância da construção civil na economia brasileira é estimada em 8,9% do PIB nacional, sendo que o valor agregado da cadeia produtiva de construção movimentou neste período cerca de R\$ 315,276 bilhões e empregou uma força de trabalho total de 12.845.257 pessoas. A despeito disso, de acordo com Zunino (2011) a construção civil é apontada como um dos setores de maior impacto ambiental, seja pelos recursos extraídos da natureza, pela queima de combustíveis fósseis, pelos rejeitos poluentes, pelo desmatamento, problemas hidro geológicos e impactos pós-ocupação. No Brasil essa busca pela sustentabilidade, sobretudo quanto aos aspectos de eficiência energética tornou-se objeto da lei federal 10.295/2001 (Brasil, 2001).

De acordo com Mahdavi (2007), a maioria dos átrios são espaços inerentemente polivalentes, tornando assim muito difícil especificar os

requisitos inequívocos e de desempenho. Por serem generosamente dimensionadas as entradas, áreas de transição em geral e soluções de átrio, em particular, tem ganhado uma grande popularidade na arquitetura. Existe, contudo, certa falta no estudo científico da acústica de tais espaços e só recentemente foram feitos maiores esforços para estudar sistematicamente as características acústicas para átrios.

Sob o ponto de vista de acústica, segundo Mahdavi (2007), o projeto de espaços do tipo átrio parece não atender explicitamente às exigências acústicas. A acústica dos átrios geralmente não suporta a maneira como os espaços são utilizados e os tempos de reverberação nos átrios em sua maioria são muito longos. As propriedades acústicas dos elementos de construção raramente são especificadas nas documentações arquitetônicas. Percebeu-se no caso de átrios dificuldades em determinar com precisão os coeficientes de absorção das superfícies. Também se verificou que a documentação de arquitetura de edifícios em geral e de átrios em particular, precisam incluir informações detalhadas sobre as propriedades acústicas de materiais e componentes aplicados.

A ampla gama de opções em geometrias e materiais de construção utilizados representa um desafio adicional. Em comparação com espaços mais típicos de desempenho acústico (salas de concertos, espaços de teatro, cinemas, etc.), no caso dos átrios têm-se menos orientações de projeto explícitas e menor disponibilidade de experiências documentadas. As simulações baseadas em previsões de desempenho acústico no caso de átrios são especialmente perturbadas com incertezas, não só devido a problemas de modelagem de geometria, mas também por causa das dificuldades em especificar corretamente as propriedades dos materiais envolvidos.

Os materiais empregados no átrio central avaliado neste estudo (ver figura 1) são listados

na Tabela 1, onde são descritas as áreas dos respectivos materiais.



Figura 1: Planta baixa com destaque para a localização do átrio central na edificação em estudo e vista em perspectiva desse mesmo ambiente. Fonte: RRA (2008).

Tabela 1: Composição de áreas por tipo de materiais empregados

Material Empregado	Área total exposta [m ²]	Área total [%]
Aço inoxidável – AISI 304	139,3	2,94
Alvenaria de tijolos rebocada e pintada em látex	631,9	13,36
Piso de granito Santa Cecília 55cm x 55cm x 2,5cm	783,6	16,56
Revestimentos de mármore branco levigado	218,0	4,61
Painel de vidro insulado 'low-e' 5mm+0,38PVB+5mm	2.958,3	62,53
Total geral	4.731,1	100,00

Fonte: Oliveira (2013).

4. Inteligibilidade de Fala: avaliação subjetiva

Segundo a definição da norma internacional IEC 60849 (2002) a inteligibilidade é a medida da proporção do conteúdo de uma mensagem de voz que pode ser entendida corretamente. De acordo com Oliveira (2013) a inteligibilidade de fala não é uma quantidade física tal como: Ampère, Volts, Watt, Ohm, ao contrário ela é uma medida do grau em que se pode entender um idioma num dado contexto de espaço-tempo. É muito importante ressaltar que a fala não é necessariamente inteligível pelo fato de ser audível, pois os sinais da fala podem ser influenciados por ecos e/ou distorções devido às características do ambiente.

Na descrição de Lancastre (1988) os testes de inteligibilidade da palavra têm seus resultados influenciados pelo tipo de material de teste e pelo tipo de resposta requerida dos ouvintes. Quanto ao tipo de material de teste, estes podem ser: palavras, logátomos (sons de discurso sem significado para os ouvintes) e frases.

Para Lancastre (1988) quanto ao tipo de resposta requerida dos ouvintes podem ser: Testes de resposta fechada ou Testes de resposta livre. Nos testes de resposta fechada, o ouvinte é exposto a um número finito de alternativas de resposta e se vê diante da escolha da resposta que lhe pareça mais correta, sendo exemplos de teste de resposta fechado: Teste de rima diagnóstica e Teste de rima modificada. Num teste de resposta livre, segundo Lancastre (1988) o ouvinte atribui a resposta que julga ser igual à que foi proferida repetindo-a ou escrevendo-a, constituindo um exemplo deste teste de inteligibilidade o conhecido teste de palavras foneticamente balanceadas (*Phonetically Balanced Test – PB Test*).

5. Estruturação de um Teste por Palavras Foneticamente Balanceadas

A estruturação de um teste de inteligibilidade de fala pelo método das listas de palavras foneticamente balanceadas em língua

portuguesa é desafiador pois listas de palavras que são insumo básico não são amplamente disponíveis tal como ocorre em outros idiomas, como por exemplo na língua inglesa. Por isso, tais listas precisam ser elaboradas a partir do próprio reconhecimento da frequência dos fonemas que caracterizam a língua portuguesa, o que segundo Zaidan e Sameshima (2003) apresenta a distribuição de frequência de ocorrência que é apresentada na figura 2 que é apresentada no final do artigo para melhor visualização.

O processo de balanceamento fonético de um material de fala não se limita à mera contagem dos fonemas e a correspondente verificação de sua presença ou não no material. Para um material ser considerado como foneticamente balanceado a ocorrência dos fonemas no corpus a ser considerado balanceado deve obedecer à tendência de ocorrência dos fonemas numa amostragem significativa da língua na qual o material está sendo balanceado.

Como critério referencial, Zaidan e Sameshima (2003) consideram que as listas de palavras podem ser consideradas foneticamente balanceadas quando alcançam um grau de correlação maior ou igual a 95% no teste de Spearman, cuja expressão matemática é dada por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m) \cdot (y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}} \quad [\text{Eq.01}]$$

sendo que r representa o coeficiente de correlação de Spearman; x_i a i -ésima medida da variável X; y_i a i -ésima medida da variável Y; x_m o valor médio da variável X; y_m o valor médio da variável Y; n o número de pares de valores de X e Y.

Para a elaboração das listas a serem balanceadas, Zaidan e Sameshima (2003) recomendam que as palavras escolhidas, além de terem uma distribuição fonética semelhante ao do idioma correntemente em uso e, sejam comuns para que o teste não seja influenciado

pelo vocabulário. Também devem ser adequadas para a idade e nível educacional. Deve-se dar também atenção ao número de sílabas.

Para se incluir as considerações sobre o número de sílabas das palavras, explicita-se que segundo Viaro e Guimarães-Filho (2007), na língua portuguesa em uso no Brasil a distribuição de sílabas obedece ao seguinte:

Tabela 2: Distribuição silábica das palavras da língua portuguesa.

Número de sílabas	Palavras transcritas [%]
1	0,36
2	7,76
3	24,38
4	31,96
5	21,96
6	9,23
7	3,09
8	0,95
9	0,24
10	0,05
> 10	0,01

Fonte: Adaptado de Viaro e Guimarães-Filho (2007).

A despeito de palavras com três, quatro e cinco sílabas serem as mais frequentes da língua portuguesa, estas não são recomendadas porque devido a sua maior duração poderia fornecer pistas acústicas ao ouvinte e assim facilitando seu reconhecimento durante a realização do teste de inteligibilidade.

Também do estudo de Viaro e Guimarães-Filho (2007), no que se refere à tonicidade, as palavras da língua portuguesa são assim distribuídas:

Tabela 3: Distribuição da tonicidade das palavras da língua portuguesa.

Tonicidade	Ocorrências [%]
Monossílabos tônicos e átonos	0,36
Oxítone	24,92
Paroxítone	62,52
Proparoxítone	12,20
TOTAL	100,00

Fonte: Adaptado de Viaro e Guimarães-Filho (2007).

6. Resultados e Discussão

Compôs a amostra efetiva neste estudo um total de 28 indivíduos voluntários, sendo 71,4% dos participantes do sexo masculino e 28,6% do sexo feminino, com idades variando desde 26 anos até 64 anos (média = 41,8 anos). Do que foi declarado pelos voluntários todos têm a língua portuguesa como idioma nativo e não houve quaisquer registros de deficiência auditiva sensorioneural de grau leve e/ou severo, tampouco nenhum dos participantes foi identificado como usuário de aparelho de amplificação sonora individual (AASI).

O percentual de inteligibilidade de fala num teste com lista de palavras foneticamente balanceadas, segundo a ANSI/ASA (2009), pode ser avaliado por meio da seguinte fórmula:

$$I_{\%} = \frac{100}{T} \times \left(R - \frac{W}{N - 1} \right), \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde, $I_{\%}$ representa o índice de inteligibilidade da fala expresso em percentagem; T o número de itens no teste; N o número de alternativas de cada item; R o número de itens corretamente identificados; W o número de erros na identificação de itens.

A figura 3, que é exibida no final do artigo para melhor visualização, apresenta a distribuição de fonemas da língua portuguesa, presentes na lista de palavras nº 01, utilizada no teste de palavras foneticamente balanceadas. Como se pode ver na figura 3, esta primeira lista assegura um grau de correlação não paramétrica de Spearman equivalente a 97,85% com a lista geral do corpus de referência.

Um comparativo dos índices subjetivos de inteligibilidade por palavras foneticamente balanceadas é apresentado na tabela 4 que se segue. Notar que o desvio relativo foi da ordem de 5%, sugerindo uma faixa estreita de variação entre as estimativas.

Tabela 4: Comparação de índices de inteligibilidade de palavras “I%” nas três rodadas da avaliação subjetiva por lista de palavras foneticamente balanceadas.

I [%]	Rodada			Média	Desvio-Padrão	/μ
	1	2	3			
	42,8	39,9	44,3	42,3	2,2	5,1%

Com a realização de cada uma das três rodadas do experimento de inteligibilidade foram obtidos diferentes resultados em termos de números de acertos, registros em branco e registros incorretos feitos pelos voluntários.

Uma destas rodadas é exibida na tabela 5 que é apresentada adiante para uma melhor visualização.

A seguir se apresenta uma análise de variância sobre os resultados de inteligibilidade obtidos por experimentos subjetivos feitas com o emprego do método não paramétrico de Kruskal-Wallis. Considerando-se que não há como assegurar que os dados atendam aos requisitos para emprego de uma análise de variância paramétrica, ao mesmo tempo em que não se quer sacrificar o rigor da análise aplica-se a análise de Kruskal-Wallis conforme resumido na Tabela 6, que é apresentada no final do artigo para melhor visualização.

Da análise de Kruskal-Wallis conclui-se que não se pode rejeitar hipótese nula! Isto é, não há diferenças significativas entre médias dos valores de inteligibilidade subjetiva por listas de palavras foneticamente balanceadas.

7. Conclusões

O presente estudo possibilitou concluir que tal como afirma Mahdavi (2007), o projeto de espaços do tipo átrio e, em particular o átrio considerado no presente estudo, parece não atender explicitamente às exigências acústicas no que tange à inteligibilidade de fala.

O teste de inteligibilidade pelo método das listas de palavras foneticamente balanceadas revelou-se de execução complexa tanto pelas questões logísticas quanto pela baixa disponibilidade de voluntários dispostas a submeter-se à sua realização.

A inteligibilidade média de fala no átrio de estudo foi de 42,5% o que revela uma baixa

aptidão deste ambiente para a comunicação por voz humana.

Tabela 5: Índice de inteligibilidade de palavras foneticamente balanceadas na primeira rodada do experimento da avaliação subjetiva.

PALAVRA	ACERTOS	BRANCOS	ERROS	I [%]
PONTA	18	3	7	35,98
MUITA	24	0	4	47,99
GRADE	25	0	3	49,99
CESTA	27	0	1	54,00
FUNDO	28	0	0	56,00
MINHA	22	2	4	43,99
LOUCO	16	6	6	31,98
PADRE	26	1	1	52,00
DRAMA	1	2	25	1,95
MILHO	28	0	0	56,00
SALA	24	0	4	47,99
SENTA	26	0	2	52,00
PIRES	24	2	2	47,99
TARDE	15	4	9	29,97
QUEIJO	28	0	0	56,00
TRAÇO	23	0	5	45,99
ÓRFÃO	11	13	4	21,97
CREME	27	0	1	54,00
LINDO	25	2	1	49,99
SINO	24	0	4	47,99
TESTA	13	2	13	25,97
UVA	22	1	5	43,99
DENTE	17	1	10	33,98
ÓRGÃO	18	5	5	35,98
CINTO	19	0	9	37,98
BECO	24	2	2	47,99
DIA	27	0	1	54,00
CINCO	27	0	1	54,00
LADO	22	0	6	43,99
MANGA	28	0	0	56,00
SÓTÃO	17	6	5	33,98
PURA	14	4	10	27,97
QUEDA	9	13	6	17,96
PENA	26	1	1	52,00
RUA	19	3	6	37,98
TIRA	19	0	9	37,98
RISO	12	8	8	23,97
SUCO	24	0	4	47,99
TIME	20	1	7	39,98
VILA	26	0	2	52,00
BODE	26	1	1	52,00
PASTA	25	1	2	49,99
NADA	23	4	1	45,99
SARA	9	0	19	17,96
BÊNÇÃO	28	0	0	56,00
ZÍPER	27	1	0	54,00
NAVE	27	1	0	54,00
LATA	16	3	9	31,98

CHIFRE	22	1	5	43,99
BOLSA	21	0	7	41,99

REFERÊNCIAS

ABRAMAT. **perfil da cadeia produtiva da construção e da indústria de materiais**. São Paulo: Abrammat / Rio de Janeiro: FGV, 2012.

ANSI/ASA. **S3.2-2009**. Method For Measuring The Intelligibility Of Speech Over Communication Systems. Acoustical Society Of America. 2009

IEC. **IEC-60.268-16**: Sound System Equipment – Part 16: Objective Rating Of Speech Intelligibility By Speech Transmission Index. Edition 4, 2011.

_____. **IEC 60.849**: Sound Systems For Emergency Purposes. 2002.

KUBBA, S. Handbook Of Green Building Design And Construction: Leed®, Breeam®, And Green Globes®. New York: Butterworth-Heinemann, 2012.

KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. T. Manual De Arquitetura Ecológica. 2ª ed. Porto Alegre- RS: BOOKMAN, 2013.

LANCASTRE, M. M. M. F. Q. **A Inteligibilidade da Palavra em Igrejas Católicas Através de Análises de Caráter Objetivo e Subjetivo**. 1988. 207f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 1988.

MAHDAVI, A.; PAK, J. G.; LECHLEITNER, J. Acoustics Of Atria: Contrasting Measurement And Modeling Results. In: **BS2007 Proceedings Of The 10th International Building Performance Simulation Association Conference And Exhibition**", B. Zhao, D. Yan, X. Zhou, C. Wang, C. Li, J. Wang, X. Zhou, J. Li, B. Cao, Q. Deng (Hrg.). 1219-1226, 2007.

OLIVEIRA, H. L. S. **Caracterização e Análise de Parâmetros Acústicos do Átrio de Usos Múltiplos num Edifício Comercial Construído Segundo os Critérios do “Green Building Council do Brasil”**. 2013. 219f. (Monografia de Especialização – Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2013.

VIARO, M. E.; GUIMARÃES-FILHO, Z. O. Análise quantitativa da frequência dos fonemas e estruturas silábicas portuguesas. **Estudos linguísticos XXXVI**(1), janeiro-abril, 2007.

ZAIDAN, E.; SAMESHIMA, K. Desenvolvimento de listas de palavras foneticamente balanceadas para avaliação do processamento auditivo. **Pró-fono Revista de Atualização Científica**. Barueri (SP)., v. 15, n. 3, p. 307-316, set-dez, 2003.

ZUNINO, L. **Rotulagem e Certificação: Análise Crítica das Certificações, Selos e Premiações**

Nacionais e Internacionais Utilizadas no Brasil, Relativos à Urbanização e Construção Sustentável. Rio de Janeiro, 2011 <http://archive.iclei.org/fileadmin/user_upload/documents/lacs/portugues/programas/ccps_-_rj/versao_executiva_15mar11/secao_iii_4_certificacao_es_docfinal.pdf> acesso em 15 ago. 2013, 10:15:10.

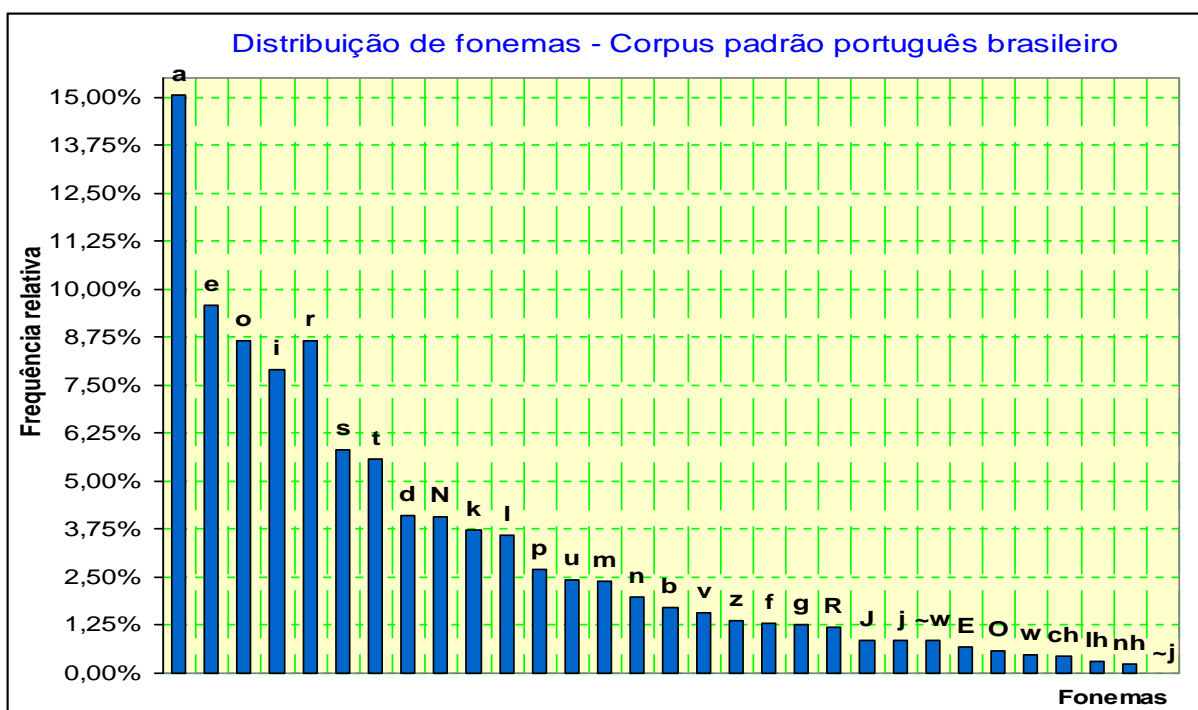


Figura 2: Distribuição de ocorrência de fonemas no corpus da língua portuguesa. Fonte: Elaborado a partir dos dados de Zaidan e Sameshima (2003).

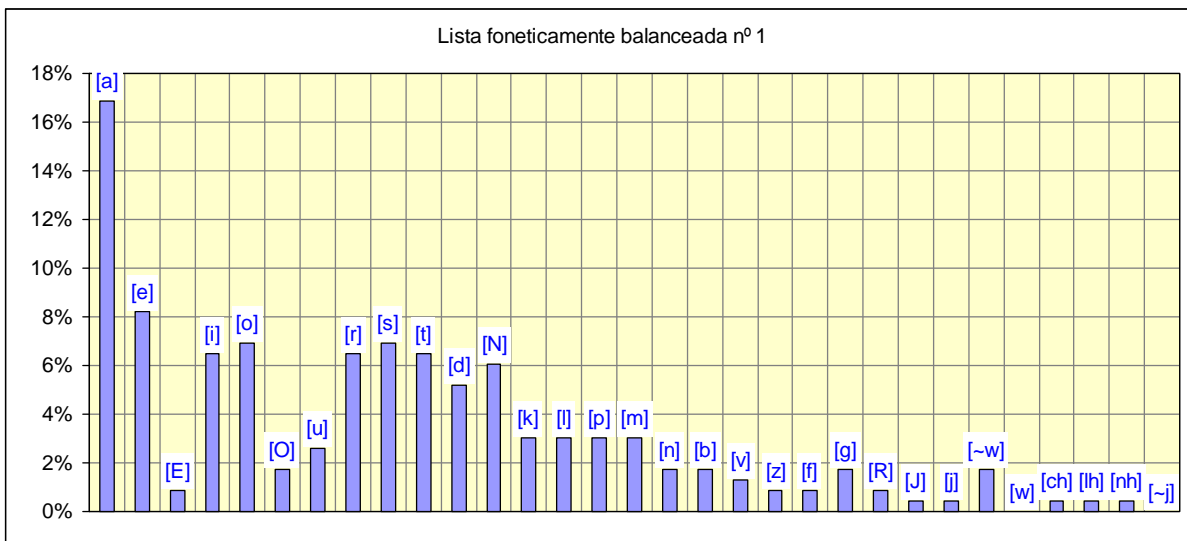


Figura 3: Distribuição de fonemas da lista utilizada no primeiro teste de inteligibilidade por palavras foneticamente balanceadas.

Tabela 6: Resumo da análise de Kruskal-Wallis para as rodadas do experimento de inteligibilidade por listas de palavras foneticamente balanceadas.

	1ª rodada	2ª rodada	3ª rodada	Somatório
ni: Número de itens por rodada	50	50	50	150,00
Ri: Somatório dos postos por rodada	3.990	3.221	4.114	11.325
Ri ² /n	318.402,00	207.496,82	338.499,92	864.398,74
Hcalc	4,9595	m (Número de grupos com postos empatados)		
(Ti ³ -Ti)	17.724	Fator de correção: C	0,994748	
k=	3	Valor corrigido: Hcorr	4,98578	=k-1
=	5%	Chi-Square (=5%; =2)	5,9915	2
Decisão		Não Rejeitar a hipótese nula! Ho		