



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

DETERMINAÇÃO DA INTELIGIBILIDADE DA FALA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO.

Stelamaris Rolla Bertoli ; Márcio Henrique de Avelar Gomes

Departamento de Arquitetura e Construção Civil – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Brasil
e-mail: rolla@fec.unicamp.br ; mavelar@fec.unicamp.br

RESUMO

A avaliação pós-ocupação de ambientes no contexto acústico, na maioria dos trabalhos no Brasil envolve medidas de ruído de fundo e de tempo de reverberação. Esses parâmetros interferem na inteligibilidade da fala, mas não são suficientes para quantificá-la. Na literatura internacional são utilizados para determinar a inteligibilidade da fala os parâmetros Speech Interference Level (SIL), Definition (D) e Speech Transmission Index (STI) entre outros. O objetivo desse trabalho é efetuar uma análise comparativa desses parâmetros aplicados a um ambiente onde a compreensão da fala é importante, discutindo o uso adequado de cada um deles. A abordagem da pesquisa é experimental. Os parâmetros D e STI foram determinados a partir da análise das respostas impulsivas medidas através da técnica de deconvolução (varredura de senos). O parâmetro SIL foi calculado a partir do espectro sonoro do ruído de fundo medido em bandas de 1/1 oitava. A inteligibilidade da fala foi avaliada pelo índice de acertos do ditado de uma lista de palavras elaborada especificamente para esse fim. Dessa forma foi possível identificar qual a correlação entre os parâmetros medidos e o teste de inteligibilidade da fala. Da análise dos resultados da aplicação de cada parâmetro estabeleceu-se o contexto onde o uso de cada um é mais adequado. A medição de respostas impulsivas em ambientes e a determinação do STI são pouco divulgadas e aplicadas no Brasil. Espera-se com esse trabalho contribuir para o aprofundamento da análise acústica da avaliação pós-ocupação de ambientes onde se exige o entendimento da palavra falada (salas de aula, auditórios, comunicação de emergência em ambientes públicos). Palavras-chave: Avaliação Pós-ocupação; Acústica; Inteligibilidade da fala.

ABSTRACT

In Brazil, Post Occupancy Evaluation regarding the acoustical quality of auditories is mostly performed through measurements of reverberation time and background noise. These parameters are indications of how speech is intelligible in a room. However, they lack in accuracy in comparison to real situations, more specifically to scores of intelligibility tests. Some parameters have been developed to evaluate speech intelligibility in rooms, such as Speech Interference Level (SIL), Definition (or “Deutlichkeit”, D) and Speech Transmission Index (STI), among others. The main goal of the present work is to perform a comparative analysis of these parameters, measured in two classrooms, and to discuss the use of each one. Our approach is experimental. D and STI were determined from Impulse Responses measured by means of a deconvolution technique (Sweep Sine). The Speech Interference Level was determined from 1/1 octave band analysis of the background noise. Intelligibility tests were performed in the rooms with lists of words in Portuguese. The mean scores from the intelligibility tests were compared to the measured parameters. A final analysis was made in attempt to establish the situations in which the use of each parameter can be more advantageous. Measurement of Impulse Responses in rooms and the determination of STI is still rare in Brazil. With the present work we expect to contribute in and to deepen the discussion about the acoustical analysis in post occupancy evaluation of rooms where speech intelligibility is important (classrooms, auditories, emergency communication in public spaces). Keywords: Post Occupancy Evaluation; Acoustics; Speech Intelligibility.

1 INTRODUÇÃO

A forma mais direta para determinar o quanto o discurso é inteligível em um espaço é através da realização de testes de inteligibilidade, onde um orador profere palavras ou frases e um número estatisticamente representativo de pessoas as anota. O índice médio de acerto e seu desvio padrão mostram então o panorama de uma forma realista. A realização de tais testes não é, no entanto, trivial. Em primeiro lugar, é necessário usar listas de palavras ou frases foneticamente balanceadas. Deve-se tomar o cuidado de não repetir listas usadas anteriormente com a mesma amostra de pessoas e deve-se procurar manter sempre a voz em um mesmo nível. Há a alternativa de usar oradores diferentes, inclusive com timbres de voz diferentes (incluindo oradores masculinos e femininos). O uso de alto-falantes que reproduzem gravações pode resolver a questão relativa à manutenção do nível de voz, mas introduz uma outra: a reprodução do padrão de diretividade do ser humano. Essa última pode ainda ser driblada através da utilização de um “orador artificial”, que é um manequim munido de alto-falantes, cujo padrão de diretividade se assemelha àquele dos seres humanos. Uma dificuldade para a realização de tais testes no Brasil é o acesso à de listas de palavras ou frases foneticamente balanceadas. A formulação de tais listas é uma tarefa da competência de profissionais da fonoaudiologia ou da fonética acústica e não propriamente de arquitetos ou engenheiros. Não existe, no entanto, um banco público de tais listas para o português brasileiro. Apesar dos problemas técnicos envolvidos e da questão do acesso à listas adequadas, a maior desvantagem do método é a necessidade de obter os ouvintes sempre que se queira avaliar um ambiente.

Parâmetros para indicar a inteligibilidade da fala em ambientes têm sido desenvolvidos ao longo dos anos. O próprio Tempo de Reverberação pode ser usado para avaliá-la e é quase consensual que este deve ter um valor entre 0,5 e 1,0 segundos em ambientes onde o entendimento da palavra é importante. Com o advento da tecnologia digital e a facilidade de processar Respostas Impulsivas de Salas (veja a definição adiante), novos parâmetros foram criados, tais como “Early Decay Time”, “Tempo Central”, “Clareza” e “Definição” (referido na literatura como “Definition” ou “Deutlichkeit”). Todos eles são fortemente correlacionados ao Tempo de Reverberação. Os três últimos expressam razões entre a energia contida no trecho inicial no trecho final de um som (ou da Resposta Impulsiva).

A reverberação de um ambiente, no entanto, não é o único fator que pode garantir ou não a inteligibilidade. A relação, na posição do ouvinte, entre o Nível de Pressão Sonora (NPS) da voz e o Nível de Pressão Sonora do ruído de fundo é igualmente importante. Baseado neste fato, desenvolveu-se o parâmetro “Speech Interference Level” (SIL).

Mais recentemente, outros parâmetros para avaliar a inteligibilidade da fala foram desenvolvidos. Lochner e Burger, 1964 (apud BRADLEY, 1999), criaram aquele conhecido como “Useful-to-detrimental Ratio” (U). Segundo Bradley (1999), Houtgast e Steeneken desenvolveram o parâmetro mais recente, o “Speech Transmission Index” (STI). Estes dois parâmetros levam em conta efeitos da reverberação e também do ruído de fundo.

No presente trabalho, testes de inteligibilidade da fala realizados em duas salas de aula da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP são descritos. Ambas as salas possuem ventiladores de teto, cujo uso se faz necessário durante quase todo o período letivo, devido às características do clima local. Por esse motivo, duas situações foram avaliadas: com ventiladores desligados e com ventiladores ligados. Os resultados dos testes são comparados com medições dos parâmetros D, SIL e STI. Este último foi medido também nas duas situações. As definições dos parâmetros são dadas de forma mais detalhada a seguir.

1.2 Nível de Interferência da Fala (“Speech Interference Level”, SIL)

A comunicação através da fala é uma atividade crítica em muitos espaços. O grau de interferência do ruído na fala depende do seu nível no interior desses espaços. A energia sonora da fala está distribuída na faixa de frequência entre 300 e 5000 Hz. Assim, sons nessa faixa de frequência podem mascarar a

fala. O nível de interferência na fala é definido como a média aritmética dos níveis de pressão sonora nas frequências centrais de bandas de oitava de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz. Segundo Beranek (1988), baseado em um grande número de medições de interferência de comunicação entre oradores e ouvintes, estabeleceu-se uma relação entre o valor do SIL e a distância entre eles. Mehta et al (1999) apresenta a relação entre SIL e a distância orador-ouvinte de forma gráfica. Nesse gráfico são apresentadas quatro curvas que correspondem as formas de comunicação: normal, elevada, alta e gritada. A avaliação da inteligibilidade da fala através do SIL é feita medindo-se o nível de pressão sonora do ruído de fundo em bandas de oitava e a distância orador-ouvinte de diferentes pontos da sala. Calcula-se o valor do SIL pela média aritmética dos níveis de pressão sonora entre 500 e 4000Hz. Com os valores de SIL e distância correspondentes estabelece-se o tom de voz possível de comunicação. Com base nesse gráfico é possível identificar que duas pessoas (sexo masculino) podem comunicar-se com tom de voz normal numa distância máxima de 4m para valores de SIL inferiores a 45dB. Para voz feminina o valor de SIL é de 41dB.

1.3 Resposta Impulsiva e parâmetros dela obtidos

A Resposta impulsiva de um sistema (acústico, mecânico, elétrico, entre outros) é definida como a resposta deste a uma excitação impulsiva (um estouro de balão ou um tiro de pistola, por exemplo). Um impulso é matematicamente representado pela função delta de Dirac ($\delta(t)$), que é definida como um impulso de altura infinita, mas com área finita. Pode-se representá-la através do limite:

$$\delta(t) = \lim_{T_0 \rightarrow 0} \frac{1}{T_0} \text{rect}\left(\frac{t}{T_0}\right) \quad (\text{eq.1})$$

rect – função retangular; T_0 - “largura” da função retangular; t – tempo.

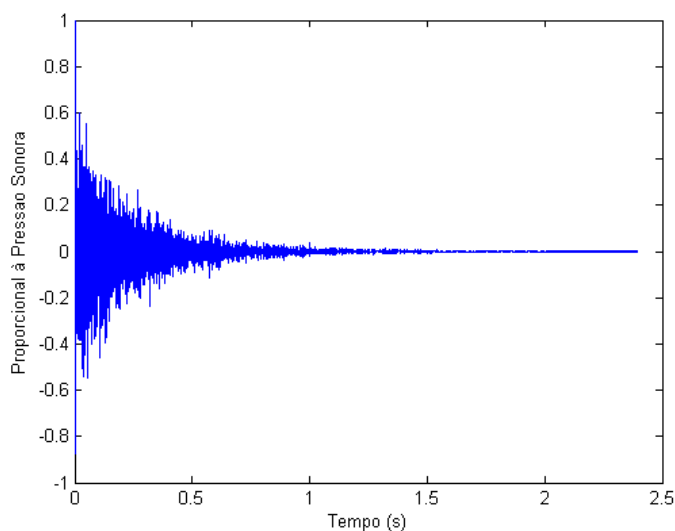


Figura 1 – Resposta Impulsiva de uma sala.

Na prática, uma das excitações impulsivas acústicas mais simples de se reproduzir consiste em estourar um balão. O som do estouro pode ser gravado, por exemplo, com um microfone conectado a um computador, na sala de interesse. A gravação pode ser escutada ou mostrada em forma gráfica, como ilustra a Figura 1. No computador a Resposta Impulsiva pode ser processada como desejado, por exemplo, para obter a curva de decaimento e o Tempo de Reverberação. A Resposta Impulsiva pode alternativamente ser obtida através do uso de técnicas mais elaboradas, que tendem a fornecer resultados de qualidade significativamente maior. Entre estas, as mais conhecidas são a técnica de correlação que usa Sequências de Comprimento Máximo (MLS) como sinal de excitação e a técnica

da deconvolução que usa varredura de senos (MÜLLER e MASSARANI, 1999). Outros parâmetros podem ser calculados, como descrito na norma ISO 3382, 1997. Aqueles parâmetros usados neste trabalho, que têm relação com a Resposta Impulsiva, são descritos a seguir.

1.3.1 Definição

Este parâmetro é definido como a razão entre a energia contida nos 50 ms iniciais de uma Resposta Impulsiva e a energia total da mesma (Figura 2).

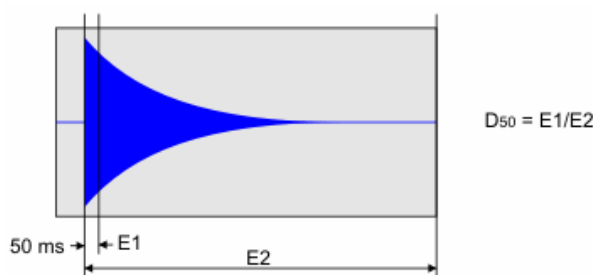


Figura 2 – Ilustração do cálculo do parâmetro “Definição” (Fonte da Imagem: Manual do programa Dirac – Brüel & Kjaer).

Uma forma alternativa quantificar a razão entre a energia sonora útil e a energia do campo reverberante é através do parâmetro “Clareza”, que pode ser obtido da Definição com uma conta simples (ISO 3382). Os valores usuais para Definição em salas variam entre 0,3 e 0,9 e quanto maior este número, maior a inteligibilidade da fala. Não há, entretanto, uma recomendação explícita de valor ou intervalos de valores aos quais se atribua classificações do tipo “Ruim”, “Bom” ou “Ótimo”.

1.3.2 Índice de Transmissão da Fala (“Speech Transmission Index”, STI)

A metodologia de cálculo do STI é mais complexa do que aquelas dos demais parâmetros. No entanto, uma vez implementada computacionalmente, os resultados são mais expressivos, com relação à capacidade de se avaliar a inteligibilidade da fala no ambiente. Essa metodologia se baseia na determinação de Funções de Transferência de Modulação para 14 frequências de modulação. Para cada frequência de modulação, 7 Funções de Transferência de Modulação devem ser calculadas, referentes às bandas de 1/1 oitava com frequência central entre 125 e 8000 Hz (IEC 60268-16, 2005). O cálculo de cada Função de Transferência de Modulação leva em conta distorções sofridas pelo sinal sonoro de teste no ambiente medido. Essas distorções ocorrem tanto por conta da reverberação, quanto por conta do ruído de fundo. O STI pode ser calculado a partir da Resposta Impulsiva. No entanto, se esta for obtida através de técnicas mais sofisticadas (MLS ou varredura de senos), o ruído de fundo presente no resultado é, em geral, muito menor do que o real. Para que o STI calculado leve em conta o ruído de fundo da sala, este deve ser gravado e adicionado à Resposta Impulsiva. Uma grande vantagem deste procedimento é que ele permite a avaliação da sala para diferentes panoramas. Estes panoramas podem ser medidos ou ruídos de fundo podem ser sintetizados como se queira.

Os valores de STI podem variar entre 0 e 1, sendo que a inteligibilidade da fala na sala pode ser avaliada segundo descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre valores de STI e inteligibilidade da fala na sala.

STI (%)	0 - 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 100
Inteligibilidade	Ruim	Pobre	Razoável	Boa	Excelente

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar diferentes técnicas de análise acústica pós-ocupação e indicar as vantagens e desvantagens de cada uma, através de estudos experimentais.

3 METODOLOGIA

A inteligibilidade da fala em duas salas de aula foi avaliada através de quatro métodos: teste de inteligibilidade com lista de palavras; determinação do Índice de Interferência da Fala (SIL); medição do parâmetro Definição (D) e medição do Índice de Transmissão da Fala (STI). As salas e as medições são descritas com mais detalhes a seguir. Foi avaliado se os resultados obtidos são representativos da situação real e que subsídios eles podem fornecer para eventuais intervenções nas construções. Além disso, levou-se em conta a facilidade e praticidade de cada método.

3.1 Salas avaliadas

As salas avaliadas são identificadas como CA-16 e CA-31. Ambas têm planta e secção transversal retangulares. Suas dimensões para comprimento, largura e altura são respectivamente: 17,8m x 8,8m x 3,3m (CA-16) e 14,8 m x 10,8m x 3,3m (CA-31). Três paredes e o teto de ambas as salas são de concreto pintado. Em cada sala, janelas de vidro estão instaladas em uma das paredes com maior dimensão. O piso é cerâmico na CA-16 e Paviflex, na CA-31. A sala CA-16 abriga até 60 estudantes em certas aulas, que sentam em cadeiras com estofamento leve. A sala CA-31 recebe turmas menores de alunos (entre 20 e 30) que ocupam pequenas pranchetas de desenho. Cada sala tem seis ventiladores de teto que eventualmente devem ser utilizados para ajudar a circulação de ar, especialmente nos meses mais quentes, entre outubro e março, quando a temperatura máxima frequentemente atinge os 29 °C, segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP). O ruído de fundo medido na CA-16 é de 59 dB (linear) quando os ventiladores estão desligados e 66,8 dB, quando estão ligados. A sala menos reverberante das duas é a CA-16 que, quando desocupada, tem um Tempo de Reverberação de aproximadamente 1,6 segundos. Este valor é de aproximadamente 2,3 segundos na CA-31.

3.2 Testes de Inteligibilidade

Os testes de inteligibilidade foram realizados em horários de aula. Cada teste contou com 20 participantes. Um orador e uma oradora proferiram listas de 20 palavras monossilábicas, algumas com significado e outras não. Os participantes as anotavam para posterior avaliação do índice de acertos. As anotações foram feitas em uma folha onde cada participante anotou seu nome e o local onde estava sentado.

Os oradores proferiram as listas uma vez cada um, em duas situações: primeiro com os ventiladores desligados e depois com eles em funcionamento. Ambos procuraram manter a voz no mesmo nível nas duas situações e se posicionaram em pé, sempre no mesmo local, à frente da sala. Procurou-se apresentar as palavras em ritmo constante, com intervalo de tempo justo ao tempo necessário para escrevê-las. Os testes foram feitos com três grupos de 20 pessoas na sala CA-16 e apenas um, na sala CA-31.

3.3 Medições

3.3.1 Nível de Interferência da Fala (SIL)

Para avaliação de SIL nas salas CA16 e CA 31, foram escolhidos oito (8) e sete (7) pontos respectivamente. Mediu-se o ruído de fundo em cada um deles, com um medidor de nível de pressão sonora da marca Brüel & Kjaer, modelo 2238, devidamente calibrado e aferido. Com esses resultados e conhecendo as distâncias entre orador e ouvinte, calculou-se o SIL, conforme descrito anteriormente.

Nas Tabelas 2 e 3, no capítulo “Resultados”, são apresentados as distâncias dos pontos em relação à fonte, os resultados de SIL calculados a partir do espectro em banda de oitava e as identificações do tipo de tom de fala relativo ao ruído de fundo. Foram analisadas as situações de ruído de fundo com e sem ventiladores ligados na sala.

3.3.2 Definição (D)

A Resposta Impulsiva foi medida entre uma posição da fonte sonora e dez pontos (10), na sala CA-16 e sete (7), na sala CA-31. Utilizou-se a técnica de deconvolução (varredura de senos), implementada através do programa comercial Dirac (Brüel & Kjaer). A relação sinal-ruído das medições variou entre 38 e 58 dB para as bandas de 1/1 oitava entre 125 e 8000 Hz.. Com isso, a correta determinação do parâmetro D foi garantida. A fonte sonora utilizada foi uma caixa acústica especial, construída em forma de dodecaedro (Brüel & Kjaer), com diretividade presumidamente onidirecional. O microfone do medidor de nível de pressão sonora descrito anteriormente foi utilizado. O amplificador de potência e o medidor se conectam a um computador portátil através de uma placa de som de boa qualidade (Marca Digigram, modelo VX-Pocket). O sinal foi amostrado com frequência de 48 kHz.

3.3.3 Índice de Transmissão da Fala (STI)

O STI foi determinado também a partir de Respostas Impulsivas medidas (entre a fonte sonora e dez pontos, na sala CA-16 e sete, na sala CA-31). Alguns ajustes adicionais, no entanto, foram feitos e o sinal de teste foi filtrado de forma que seu conteúdo em frequência fosse equivalente ao da voz. O filtro é descrito na norma IEC 60268-16. Antes de proceder às medições, o sistema de medição foi calibrado e o nível do sinal de teste foi ajustado para que fosse equivalente àquele da voz de uma pessoa discursando em um tom natural, isto é, sem elevá-la ou gritar. Para isso, um dos autores deste trabalho se posicionou ao lado da caixa acústica usada e proferiu seu discurso da forma mais contínua possível. O Nível de Pressão Sonora equivalente a um período de 10 s (Leq) foi registrado em uma determinada posição. Um sinal do tipo MLS, devidamente filtrado, foi reproduzido continuamente e o ganho do amplificador foi ajustado até que o Leq nessa mesma posição fosse o igual ao anterior. Gravou-se o ruído de fundo, que foi arquivado digitalmente no mesmo formato das Respostas Impulsivas medidas (.wav). Duas gravações foram feitas, uma do ruído de fundo na sala, com os ventiladores parados e outra, com os mesmos em funcionamento. As Respostas Impulsivas medidas foram pós-processadas, para somar os sinais equivalentes aos ruídos de fundo gravados. Feito isso, realizou-se o cálculo do STI. Todo este procedimento, foi executado através do programa de medição (Dirac). O STI foi determinado em sete (7) posições em cada sala.

4 RESULTADOS

4.1 Testes de inteligibilidade

Os resultados dos testes de inteligibilidade feitos na sala CA-16 são apresentados na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta os resultados para a sala CA-31. O índice médio de acerto para o orador é surpreendente, pois tende a aumentar quando os ventiladores estão ligados. Esse resultado é desconsiderado na análise dos resultados, pois pode indicar uma falha na execução do teste. Uma hipótese para justificar este fato é de que o orador elevou instintivamente sua voz durante os testes com os ventiladores em funcionamento. Pode haver uma relação entre o conteúdo em frequência do ruído dos ventiladores e o conteúdo em frequência da voz do orador. Os resultados obtidos com a oradora são mais plausíveis e indicam que, na sala CA-16, o índice médio de acerto caiu de 93% para 73% quando os ventiladores foram ligados. O desvio padrão aumentou consideravelmente, de 5,4% para 14,7%. Estes resultados têm o suporte de resultados obtidos através de testes feitos em uma “sala virtual” com as mesmas características da sala CA-16 (GOMES e BERTOLI, 2005). Os índices obtidos na sala CA-31 são similares àqueles obtidos na sala CA-16. É interessante notar que, com os ventiladores desligados, há uma ligeira tendência de que o índice médio de acerto seja maior na sala menos reverberante. Com os ventiladores em funcionamento, há praticamente um empate entre uma

sala e outra, mas o desvio padrão é consideravelmente maior na sala CA-16. Uma possível explicação é que alguns ouvintes da sala CA-16 se encontram no campo próximo do orador, enquanto na CA-31 a maioria deles já se encontra em campo distante.

Tabela 2 – Resultados dos testes de inteligibilidade realizados na sala CA-16.

	Lista 1	Lista 2	Lista 3	Lista 4
	Orador	Oradora	Orador	Oradora
Ventilador	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
Inteligibilidade média (%)	93	96	98	73
Desvio padrão	4,9	5,4	3,4	14,7

Tabela 3 – Resultados dos testes de inteligibilidade realizados na sala CA-31.

	Lista 1	Lista 2	Lista 3	Lista 4
	Orador	Oradora	Orador	Oradora
Ventilador	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado
Inteligibilidade média (%)	92	94	93	74
Desvio padrão	4,5	5,1	5,9	8,1

4.2 Nível de Interferência da fala (SIL)

Os resultados de SIL para cada sala estudada são apresentados nas tabelas 4 e 5, em função da posição onde o ruído de fundo foi avaliado, expresso em distância entre orador e ouvinte. Observa-se que, para ambas as salas, o nível de ruído de fundo para todos os pontos, independente da distância, é adequado para a comunicação. É possível que a comunicação entre orador e ouvinte aconteça com tom de voz normal. Ao incorporar o ventilador ao ruído de fundo os valores de SIL aumentaram significativamente. O valor de SIL é praticamente o mesmo em todos os pontos da sala, porém com o aumento da distância a comunicação vai ficando prejudicada. A tom de fala normal é possível para distâncias inferiores a 3m, passa para elevada entre 4 e 7 m e alta entre 7 e 10m. Para a região onde a distância é superior a 11m é necessário usar tom de voz gritada.

Tabela 4 – Resultados do Nível de Interferência da Fala (SIL) na sala CA-16.

Ponto	Distância (m)	SIL (dB)	Tom de voz	SIL (dB)	Tom de voz
		Sem vent.		Com Vent.	
1	3,80	16,1	normal	47,8	elevada
2	4,80	15,4	normal	47,3	elevada
3	7,10	15,9	normal	47,7	alta
4	9,45	18,5	normal	47,3	alta
5	9,85	21,0	normal	47,2	alta
6	12,15	16,9	normal	46,9	gritada
7	14,80	13,3	normal	47,4	gritada
8	15,00	19,7	normal	48,1	gritada

Tabela 5 – Resultados do Nível de Interferência da Fala (SIL) na sala CA-31.

Ponto	Distância (m)	SIL (dB)	Tom de voz	SIL (dB)	Tom de voz
		Sem vent.		Com Vent.	
1	2,40	19,5	normal	47,8	normal
2	2,77	23,1	normal	47,2	normal
3	4,16	21,7	normal	47,5	elevada
4	6,77	22,4	normal	46,9	elevada
5	8,34	21,9	normal	47,1	alta
6	11,47	22,6	normal	47,7	gritada
7	11,25	20,8	normal	47,3	gritada

4.3 Definição (D)

Os resultados do parâmetro Definição para a sala CA-31 são apresentados na Figura 3. Os valores apresentados são valores médios ponderados na frequência, para bandas de 1/1 oitava entre 125 Hz e 4000 Hz, e para as posições de medição, respectivamente. As barras verticais indicam o desvio padrão. Observa-se que a Definição tende a diminuir conforme a distância do ouvinte ao orador aumenta.

Nota-se também que o parâmetro determinado por banda de frequência é maior para frequências acima de 1000 Hz. O valor médio de D na sala CA-16, considerando agora frequência e posições, é de 0,4. Na sala CA-31 este valor é 0,3. Considerando que o valor máximo usualmente encontrado em salas é de 0,9, é possível afirmar que ambas as salas deixam muito a desejar, com relação a este parâmetro.

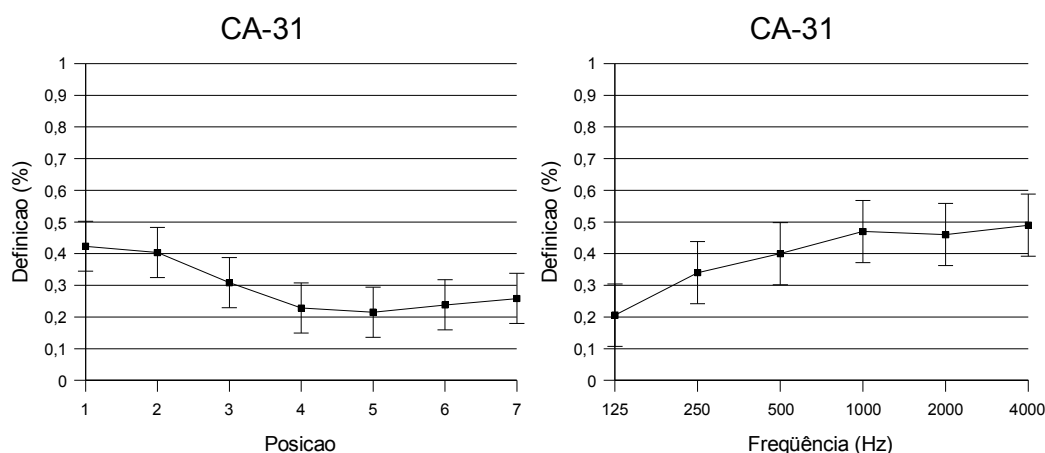


Figura 3 – Resultados de Definição na sala CA-31, em função da posição (à esquerda) e em função da frequência (à direita).

4.4 Índice de Transmissão da Fala (STI)

Os valores de STI medidos em cada posição da sala CA-31 são mostrados na Figura 4, para as duas situações: ventiladores parados e em funcionamento. A média espacial de STI obtida na sala CA-16 é de 0,52, com os ventiladores desligados, e 0,37, quando ligados. Isso corresponde à designação “razoável” e “pobre”, respectivamente, para a inteligibilidade da fala, segundo a Tabela 1 (e a norma IEC 60268-16).

Para a sala CA-31, a média espacial de STI é 0,45 (ventiladores desligados) e 0,32 (ventiladores ligados, recebendo assim, as mesmas designações que a sala CA-16, de acordo com a Tabela 1. Observa-se, no entanto, que o STI médio na sala CA-31, com os ventiladores desligados, encontra-se exatamente no limite entre “pobre” e “razoável”.

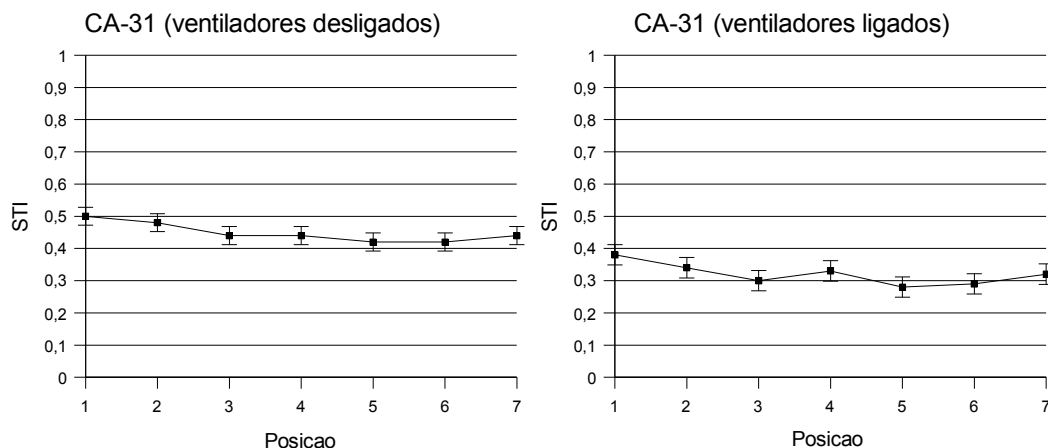


Figura 6 - Resultados de STI, em função da posição, para a sala CA-31. À esquerda são apresentados os resultados determinados com os ventiladores desligados. À direita, com os ventiladores ligados.

5 CONCLUSÕES

A norma IEC 60268-16 apresenta um gráfico que correlaciona valores de STI com índice de acerto em testes de inteligibilidade, feitos sob diferentes condições. Consultando este gráfico é possível prever o índice de acerto em testes feitos com palavras foneticamente balanceadas, especificamente, listas em inglês conhecidas como “Harvard Lists”. Usando os valores médios de STI obtidos, encontra-se que o índice de acerto na sala CA-16 com os ventiladores desligados e ligados seria de 88% e 73%, respectivamente. Estes valores são similares àqueles obtidos nos testes de inteligibilidade apresentados anteriormente ($96 \pm 5,4 \%$ e $73 \pm 14,7 \%$). Para a sala CA-31, a previsão feita através do gráfico apresentado na norma é de índices de acerto de 82% e 66%, enquanto o obtido nos testes aqui apresentados é de $94 \pm 5,1 \%$ e $74 \pm 8,1 \%$. Nesse caso, tem-se a impressão de que a avaliação feita através do STI é mais rígida do que aquela feita através dos testes de inteligibilidade. Deve-se, no entanto, levar em consideração que existem incertezas com relação à lista de palavras em português usada neste estudo e também com relação à constância do Nível de Pressão Sonora da fala durante os testes.

Todos os parâmetros avaliados parecem dar indicações sobre a inteligibilidade da fala em função da distância do ouvinte à fonte sonora. O resultado de apenas um teste de inteligibilidade feito em uma sala pode, no entanto, não mostrar este aspecto. Para isso, um número maior de testes deveria ser feito, com vários grupos de pessoas, para que os resultados, por posição, sejam estatisticamente significativos. O SIL, parece dar uma idéia clara da situação. Observando os resultados nas tabelas 4 e 5, percebe-se claramente a dificuldade das pessoas mais distantes do orador de compreender o discurso. Deve-se lembrar que este resultado mostra apenas o aspecto relativo à relação sinal-ruído em cada posição. Os resultados de D mostram também uma tendência de que a inteligibilidade seja maior nos lugares próximos à fonte sonora. Nos casos aqui estudados, essa relação é mais explícita para a sala CA-31. Lembra-se que D mostra um resultado relativo à reverberação da sala. O parâmetro STI mostra também essa tendência, de forma mais sutil, nos casos estudados. Este leva em conta tanto a relação sinal-ruído de fundo quanto ao balanço de energia sonora contida na parte inicial e final do som que atinge o ouvinte.

Um grande problema observado com relação ao parâmetro D é a falta de intervalos de valores

internacionalmente aceitos e consensuais para relacionar a medição à qualidade da sala. Através do parâmetro SIL pode-se avaliar a sala, mas de uma forma “indireta”. O resultado diz respeito a como o orador deve se comportar, mas não diretamente à qualidade da sala.

O parâmetro STI fornece uma avaliação mais objetiva e realista da sala. Se o ruído de fundo não for somado à Resposta Impulsiva e a relação sinal-ruído desta for alta, tem-se uma avaliação da sala com relação à reverberação. Dessa forma, medir D parece ser dispensável em alguns casos. Não é possível, no entanto, avaliar apenas a relação sinal-ruído através do STI. O efeito da reverberação do ambiente sempre estará presente. Por isso, a determinação de SIL pode ser útil em várias situações.

Resultados de testes de inteligibilidade podem ser considerados os mais realistas, desde que as condições necessárias sejam garantidas. Idealmente os testes deveriam ser feitos através de listas de frases gravadas, cujas palavras de interesse sejam foneticamente balanceadas (Por exemplo: “Escreva agora a palavra dó, escreveu?”). A reprodução ideal seria através de uma fonte sonora com o mesmo padrão de diretividade de um orador.

Comparando os quatro métodos analisados, com o foco na avaliação pós-ocupação, conclui-se que os parâmetros D e SIL fornecem dados sobre aspectos da sala (reverberação e relação sinal-ruído) e podem não representar a situação real. O parâmetro STI fornece resultados mais representativos, sob este ponto de vista. Há, aparentemente, uma tendência de que estes resultados mostrem um quadro pouco pior do que a realidade. Essa tendência deve ser melhor investigada e pode estar relacionada à diretividade da fonte sonora. De qualquer forma, levando em consideração as dificuldades práticas de realizar testes de inteligibilidade, o parâmetro STI parece ser uma alternativa prática, objetiva e confiável para avaliar uma sala, com relação ao conforto acústico.

6 REFERÊNCIAS

BERANEK, L., **Acoustical Measurements**, Acoustical Society of America Publications, 1988.

BRADLEY, J.S., REICH, R.D. e NORCROSS, S.G., On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility, **Journal of the Acoustical Society of America**, 106 (4), 1999, p.1820-1828.

GOMES, M.H.A. e BERTOLI, Auralization for Classroom acoustics, **Proceedings of the 12th Congress on Sound and Vibration**, Lisboa, Portugal, 11 a 14 de julho de 2005.

LOCHNER, J. P. A. e BURGER, J.F., The influence of reflections on auditorium acoustics, **Journal of Sound and Vibration** 1, 1964, p. 426–454.

MEHTA, M., JOHNSON, J. e ROCAFORT, J., **Architectural Acoustics: Principles and Design**. Columbus : Prentice Hall, 1999.

MÜLLER, S e MASSARANI, P., Transfer-Function Measurement with Sweeps, **Journal of the Audio Engineering Society**, Vol. 49, No 6, 2001, p.443.

IEC 60268-16 International Standard, Sound System Equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2005.

ISO 3382: Acoustics – Measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters, 1997.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro. Agradecem também à aluna Adriana Eloá Amorim, que realizou as medições das Respostas Impulsivas e ao pesquisador Swen Müller (INMETRO) por ter fornecido as listas de palavras usadas nos testes de inteligibilidade.