

SALAS DE AULA: COMPARAÇÃO DE FORMAS E QUALIDADE ACÚSTICA

Adriana Eloá Bento Amorim (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)

- (1) Departamento de Arquitetura e Construção – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo- Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil – End: Rua Gilberto Pattaro, 150, casa 154, Barão Geraldo, Campinas/SP, CEP: 13084-375- Tel: 55 (19)3288-0863
e-mail: elo@fec.unicamp.br
- (2) Departamento de Arquitetura e Construção – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo- Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil – End.: Caixa Postal 6021: Av. Albert Einstein, 951, Cidade Universitária Zeferino Vaz , Barão Geraldo, Campinas/SP- CEP:13083-852.- Tel: 55 (19) 3521-2382
e-mail: rolla@fec.unicamp.br

RESUMO

Nas últimas décadas houve um crescente interesse no desenvolvimento de pesquisas associadas à qualidade acústica de salas de aula, devido à sua influência nas questões de ensino-aprendizagem. Estas pesquisas utilizam metodologias para diagnosticar e avaliar a qualidade acústica da sala que, em geral, estão associadas aos resultados das medições do nível de pressão sonora e do tempo de reverberação. O objetivo desse trabalho é apresentar um estudo de caso, onde foram realizadas comparações de formas geométricas de salas de aula e parâmetros acústicos que indicam qualidade quanto à inteligibilidade da fala. Para a realização deste estudo foram selecionadas as salas de aula da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP, em Campinas. De um conjunto de vinte salas foram escolhidas nove com formas de plantas variadas, mas com características construtivas semelhantes. A técnica de medida empregada foi a da resposta impulsiva e para o cálculo dos parâmetros acústicos utilizou-se o programa de acústica de salas, o DIRAC[®], da empresa Brüel & Kjaer. Os parâmetros analisados foram: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Transmissão da Fala (STI), Definição (D₅₀) e Nível de Pressão Sonora (NPS). A análise dos resultados permitiu identificar elementos técnicos que poderão contribuir para a qualidade acústica no planejamento de projetos de salas de aula.

Palavras-chave: acústica de salas de aula, parâmetros acústicos, inteligibilidade da fala, forma geométrica.

ABSTRACT

In the last decades interest has increased the development of research associated to the acoustical quality on classrooms, due to its influence in the teach-learning aspects. These researchs use methodologies to diagnostical and to evaluate room's acoustic generally on results of sound pressure level measurements and reverberation time. The objective of this work is to present a case study, comparing geometric forms of classrooms and acoustical parameters that indicate speech intelligibility quality. For the accomplishment of this study, classrooms were selected of the College of Civil Engineering, Architecture and Urbanism, of UNICAMP, in Campinas. From a whole of the twenty classrooms, nine were selected containing several plans, but similar constructive characteristics. The measurement technique executed was the impulsive response. The acoustical parameters were calculated using the acoustic classroom Software, the DIRAC[®], by Brüel & Kjaer. The analyzed parameters were: Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Speech Transmission Index (STI), Definition (D₅₀) and Sound Pressure Level (SPL). The finding's analysis give to recognize technical elements that will can contribute for acoustical quality in development of classroom's projects.

Keywords: classroom's acoustic, acoustical parameters, speech intelligibility, geometric form.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade acústicas de salas de aula tornou-se relevante a partir dos questionamentos quanto à sua interferência na qualidade do ensino-aprendizagem e as conseqüências na saúde e na vida acadêmica dos alunos e professores. O projeto acústico de ambientes necessita muito mais que a garantia de nível de ruído compatível com a atividade nele desenvolvida. É preciso garantir a qualidade sonora desses ambientes.

No caso das salas de aula a inteligibilidade e clareza da fala devem ser máximas. Reverberação e ecos excessivos são aspectos que impedem a clareza da audição, portanto, esses fenômenos devem ser analisados cuidadosamente uma vez que a eficiência ou ineficiência acústica destes ambientes interfere diretamente na compreensão da fala, no ensino e aprendizagem, além de gerarem um grande desgaste físico e psicológico nos alunos e educadores (PAIXÃO; SANTOS, 1995).

Os parâmetros tradicionais utilizados para caracterização da acústica em salas de aula, tais como tempo de reverberação e nível de pressão sonora, têm-se mostrados insuficientes no sentido de revelar sua qualidade acústica. Torna-se necessário, portanto, desenvolver novas pesquisas buscando identificar outros parâmetros acústicos e sua relação com os parâmetros arquitetônicos que contribuam para a qualidade acústica desejada.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar relações entre formas geométricas e os parâmetros acústicos que indicam a qualidade acústica de salas de aula quanto à inteligibilidade da fala.

3. AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE SALAS DE AULA

Os parâmetros de avaliação da qualidade acústica para salas em geral podem ser classificados em objetivos e subjetivos, sendo alguns destes específicos para avaliação da inteligibilidade da fala. Em geral, os métodos subjetivos de avaliação da inteligibilidade são baseados em testes de percepção da fala e questionários aplicados aos ouvintes, onde é estimada a quantidade ou porcentagem de acertos e erros de palavras e frases que “quantificam” o grau de inteligibilidade.

Entre os parâmetros objetivos de qualidade sonora de salas, pode-se citar o Tempo de Reverberação (TR); o Tempo de Decaimento Inicial (EDT); a Definição (D_{50}), definidos pela ISO 3382 (1997) e também o Índice de Transmissão da Fala (STI) e Nível de Pressão Sonora ambiental ou Ruído de Fundo (NPS). O TR é o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia de 60dB após cessada a fonte. Seu valor depende do volume, dos materiais de acabamento da sala e da sua ocupação, mas independe da posição do ouvinte, tendendo a um único valor para a sala. O EDT é o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia os primeiros 10dB e corresponde a um importante parâmetro acústico de avaliação de um ambiente, pois considera a energia sonora contida no início da propagação, sendo esta energia importante para a melhor inteligibilidade, devido aos fenômenos das reflexões e suas conseqüências. A Definição (D_{50}) representa a razão entre a energia total e a energia inicial que chega num ponto da sala durante os primeiros 50ms, após o som direto. Seu valor varia de 0 a 1. Quanto mais próximo o valor de D_{50} for de 1 (um), melhor a Definição e portanto melhor a inteligibilidade (ISO 3382, 1997). O Nível de Pressão Sonora (NPS) é caracterizado como ruído ambiental ou de fundo, pode ser considerado como aquele ruído existente em um determinado local e que não diz respeito ao objeto de apreciação ou medição (ABNT 10151, 2000). O STI compreende valores entre 0 (inteligibilidade nula) e 1 (inteligibilidade ótima) e é considerado o parâmetro mais importante para análise da inteligibilidade da fala, pois é o único método que leva em conta os dois critérios: a relação entre sinal e ruído e a reverberação (BRÜEL & KJAER, 2005). Para FEIJÓO, CHISCA e BARROS (2006), o valor do STI tem pouca dependência em relação à ocupação da sala e proporciona uma estimativa muito restrita, já que requer condições acústicas excelentes para atender valores acima de 0,65, não encontrados em salas de aula que são consideradas com inteligibilidade “aceitável” em testes de percepção.

Segundo BENTLER (2000) apud DREOSSI e MOMENSOHN-SANTOS (2005), o que mais interfere na qualidade sonora de ambientes projetados para a fala é a relação entre o sinal gerado e o ruído existente (SNR). Quanto maior for a diferença entre os níveis sonoros do sinal e do ruído, melhor a condição de escuta oferecida aos ouvintes, portanto, maior o grau de inteligibilidade da fala. BRADLEY (2002) aponta para salas de aula que o sinal deve ser 15dB superior ao ruído. Esse valor foi também adotado pela norma internacional ANSI S12.60 (2002). Para SEEP et al (2000) a inteligibilidade da fala pode ser prevista a partir do TR e da relação SNR. A situação mais crítica ocorre com os alunos localizados mais distantes do professor, pois o nível da voz vai decrescendo com a distância. Por outro lado, os locais da sala próximos às outras fontes de ruído, como janelas voltadas para a rua e/ou ventiladores podem ser considerados similarmente críticos. A ANSI 12-60 (2002, p. 11) adverte que em salas onde o TR excede os valores entre 0,4 e 0,6s há redução da inteligibilidade da fala, seja em situação de silêncio ou ruído.

Todos os parâmetros acústicos definidos pela norma ISO 3382 (1997) são derivados da Resposta Impulsiva (IR) da sala. Segundo MASIERO e IAZETTA (2004), a IR é um registro de pressão sonora em determinado ponto da sala, feito a partir do momento em que a sala é sonorizada com um som impulsivo (impulso de Dirac). A técnica da resposta impulsiva da sala tem como característica avaliar o parâmetro acústico numa posição em relação à fonte e é obtida através de métodos empíricos ou medições acústicas da sala, realizadas com o auxílio de equipamentos e programas de computação.

A comparação entre os parâmetros acústicos em função da respectiva dimensão da sala foi proposta em pesquisa realizada na Itália, por BONDI, PICCININNI e STEFANIZZI (2001). A partir de medidas experimentais e simulações com auxílio do programa Aurora, foram estudadas 3 salas de aula com formatos retangulares e de diferentes dimensões. Através da obtenção da resposta impulsiva foram analisados, entre outros parâmetros acústicos, o TR, EDT, D_{50} , e o STI, considerados essenciais para a inteligibilidade da fala. Entre os resultados obtidos destaca-se que nas salas com menores dimensões o STI apresentou valores maiores e vice-versa.

4. METODOLOGIA

De acordo com os procedimentos técnicos utilizados esta pesquisa constitui um “Estudo de Caso” e com base em seus objetivos, pode ser classificada como de natureza “Exploratória”, pois permite explorar situações de um determinado problema (GIL, 2002). A unidade-caso refere-se a uma população (salas de aula), num contexto definido (Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da (FEC), da UNICAMP, em Campinas, SP). O prédio da FEC contém 20 salas de aula. Um levantamento prévio foi realizado nestas salas para a identificação da quantidade de formas geométricas distintas e respectivas dimensões. Desse grupo escolheu-se nove salas com características construtivas semelhantes, mas dimensões variadas. As dimensões e volumes das salas estão apresentados na **Tabela 1**.

As características construtivas das nove salas são: paredes paralelas em alvenaria com espessura final de 15cm, com acabamentos de textura lisa, teto em laje de concreto, com espessura de até 12 cm e acabamento aparente ou outro acabamento liso, piso do tipo cerâmico ou vinílico, com acabamento liso; portas metálicas de duas folhas (1,20x2,10m), com acabamento liso. As janelas situam-se na direção oposta à porta, constituídas de caixilhos metálicos e vidraçaria transparente, incolor e espessura de 4mm; cortinas de lona plástica. O mobiliário de todas as salas em estudo (medidas) foram os mesmos, a saber: 45 (quarenta e cinco) carteiras escolares com braços, constituídas de estrutura metálica e madeira, com o assento estofado revestido de tecido e o conjunto de mesa/cadeira em madeira do professor.

Tabela 1- Dimensões e volumes das salas

SALA	COMPRIMENTO (m ²)	LARGURA* (m ²)	ALTURA (m)	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
CA-12	11,81	7,81	3,37	92,24	310,84
CA-14	11,81	7,81	3,37	92,24	310,84
CA-16	17,81	8,81	3,37	156,91	528,77
CA-22	8,81	7,81	3,37	68,81	231,88
CA-24	14,81	8,81	3,37	130,48	439,70
CA-31	14,81	10,81	3,37	160,10	539,52
CA-32	5,81	7,81	3,37	45,38	152,92
CA-35	11,81	7,81	3,37	92,24	310,84
PG-01	5,91	8,81	3,37	52,07	175,47

* **LARGURA:** dimensão paralela ao quadro negro (lousa) ou tela de projeção.

Para as medições acústicas em cada sala foi escolhido o posicionamento único da fonte (geração de som), denominado de “F” e os vários pontos de recepção (posições de microfones), denominados de “P_n”, onde “n” corresponde ao número da respectiva posição ou ponto de medição. Foram escolhidos 3 (três) pontos (P1, P2 e P3) comuns a todas as formas geométricas (pontos próximos à fonte com distância menores que 4,50m). Outros pontos foram escolhidos de forma a abranger todo o campo sonoro da sala, dependendo de suas dimensões. A escolha do posicionamento da Fonte sonora (F) para todas as salas foi baseada na posição mais habitual do professor diante da sala, à frente da lousa. Adotou-se a distância entre a fonte e a lousa de 1,00m e altura em relação ao piso de 1,70m. A altura do medidor de nível de pressão sonora foi escolhida considerando a altura do ouvido de uma pessoa sentada (1,20m em relação ao piso). Na **Figura 1** estão apresentadas as configurações das salas escolhidas, contendo a posição da fonte (F) e os pontos de medição (P_n). A distância entre a fonte e o receptor, em cada ponto, está indicada na **Tabela 2**.

Tabela 2- Distâncias entre fonte (F) e receptor (P_n)

SALA (n.º pontos)	Pontos de recepção (P _n)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
CA-12 (6)	2,40	2,77	4,16	6,60	8,25	9,40	-	-	-	-
CA-14 (6)	2,40	2,77	4,16	6,60	8,25	9,40	-	-	-	-
CA-16 (10)	2,40	2,77	4,16	5,85	9,73	11,45	15,10	15,25	12,82	7,10
CA-22 (5)	2,40	2,77	4,16	6,41	4,60	-	-	-	-	-
CA-24 (6)	2,40	2,77	4,16	8,53	6,23	12,05	-	-	-	-
CA-31 (7)	2,40	2,77	4,16	6,77	8,34	11,47	11,25	-	-	-
CA-32 (3)	2,40	2,77	4,16	-	-	-	-	-	-	-
CA-35 (6)	2,40	2,77	4,16	6,60	8,25	9,40	-	-	-	-
PG-01 (3)	2,40	2,77	4,16	-	-	-	-	-	-	-

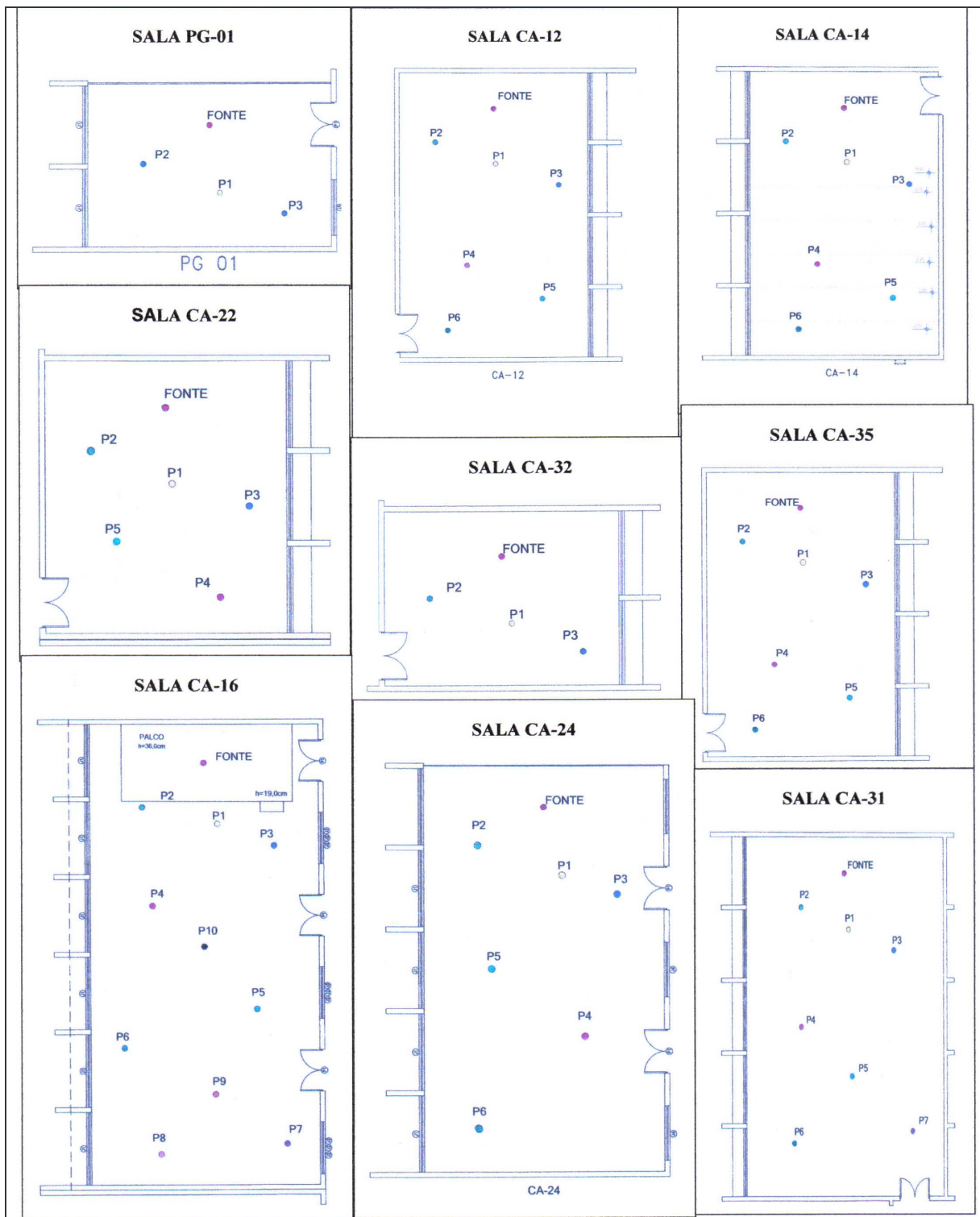


Figura 1: Configuração das salas selecionadas para o estudo.

Os parâmetros acústicos escolhidos para a avaliação foram: Tempo de Reverberação (TR); Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Transmissão da Fala (STI), Definição (D_{50}) e Nível de Pressão Sonora (NPS), este correspondendo ao ruído de fundo. Esses parâmetros foram obtidos através de técnica de resposta impulsiva, utilizando o programa de avaliação acústica de salas, o DIRAC[®], e o conjunto de equipamentos para medição acústica constituído de: uma fonte omnidirecional, um amplificador de potência, um medidor de nível de pressão sonora (modelo BK 2238), todos da Brüel & Kjaer.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta sessão são apresentados os resultados dos parâmetros acústicos: Tempo de Reverberação (TR); Tempo de Decaimento Inicial (EDT); Definição (D_{50}) e o Índice de Transmissão da Fala (STI) com e sem influência do ventilador (NPS ou ruído de fundo), obtidos nos pontos escolhidos de cada sala avaliada. Junto de cada parâmetro é apresentada a análise dos resultados.

Analisando o comportamento do desvio padrão dos resultados dos tempos de reverberação (TR) em relação aos pontos medidos verificou-se que não há diferença significativa entre os pontos de uma mesma sala. Assim para efeito de análise entre salas optou-se por comparar o valor médio calculado de TR, por frequência. Os resultados dos valores médios de TR para cada sala e os respectivos desvios padrões estão reunidos na **Tabela 3**.

Os resultados mostram que o tempo de reverberação tem seus maiores valores em baixas frequências, diminuindo com o aumento da frequência. Os valores de TR são muito maiores que os recomendados pela norma ANSI S12.60(2002). Estudo recente desenvolvido por OITICICA e BERTOLI (2006) indicou que, com a presença dos alunos, os valores de TR, em médias e altas frequências, atingem o recomendado. Observa-se que, para as baixas frequências os resultados de TR da sala de maior volume não correspondem aos maiores valores para TR. Isso pode ser um indicativo de que a forma interfere no comportamento de TR, mas essa afirmação merece um estudo mais aprofundado. As salas de mesmos volumes e materiais de acabamento apresentaram TR próximos (dentro do desvio padrão), para as médias e altas frequências.

Tabela 3 – Tempos de Reverberação das salas em função da frequência

SALA (n.º pontos)	TR (s) Desvio padrão	FREQÜÊNCIA(Hz)							
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
CA-12 (6)	TR	2,79	2,27	1,54	1,10	1,07	1,09	0,89	0,72
	σ	0,10	0,08	0,07	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03
Ca-14 (6)	TR	2,51	2,15	1,49	1,04	1,00	0,99	0,84	0,69
	σ	0,30	0,15	0,10	0,07	0,08	0,07	0,06	0,04
CA-16 (10)	TR	2,65	2,50	1,82	1,38	1,26	1,17	0,89	0,68
	σ	0,16	0,08	0,08	0,02	0,03	0,05	0,05	0,04
CA-22 (5)	TR	1,92	1,88	1,19	0,88	0,86	0,87	0,74	0,63
	σ	0,09	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
CA-24 (6)	TR	3,79	3,68	3,21	2,64	2,46	2,17	1,45	1,04
	σ	0,23	0,11	0,10	0,06	0,04	0,06	0,02	0,02
CA-31 (7)	TR	3,12	3,09	2,78	2,42	1,88	1,58	1,14	0,86
	σ	0,30	0,09	0,11	0,05	0,05	0,02	0,03	0,02
CA-32 (3)	TR	2,10	1,89	1,33	1,07	1,08	1,11	0,90	0,74
	σ	0,21	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
CA-35 (6)	TR	2,52	2,29	1,57	1,19	1,12	1,14	0,93	0,76
	σ	0,18	0,10	0,030	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
PG-01 (3)	TR	2,11	1,97	1,50	1,10	1,06	1,04	0,87	0,72
	σ	0,28	0,10	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02

Os resultados dos Tempos de Decaimento Inicial (EDT), indicados na **Tabela 4**, apresentaram um padrão de comportamento e valores similares aos do tempo de reverberação (TR). Como a percepção auditiva da reverberação esta intimamente relacionada ao EDT esses resultados indicam que a sensação auditiva da sala é de um ambiente vivo. Esse resultado é favorável à inteligibilidade da fala. Porém, assim como no caso da reverberação, os resultados de EDT são também elevados e necessitam de ajuste. Entre os pontos avaliados os resultados não apresentaram diferença significativa o que prejudicou a análise da influência da forma a partir desse parâmetro.

Tabela 4 – Tempo de Decaimento Inicial (EDT) das salas em função da frequência

SALA (n.º pontos)	EDT (s) Desvio padrão	FREQÜÊNCIA (Hz)							
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
CA-12 (6)	EDT	2,75	2,19	1,43	1,11	1,08	1,07	0,81	0,61
	σ	0,22	0,25	0,09	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07
Ca-14 (6)	EDT	2,56	1,99	1,30	0,99	1,00	1,02	0,78	0,60
	σ	0,31	0,36	0,01	0,01	0,05	0,06	0,03	0,06
CA-16 (10)	EDT	2,84	2,51	1,65	1,36	1,29	1,18	0,81	0,59
	σ	0,32	0,22	0,14	0,11	0,06	0,05	0,07	0,07
CA-22 (5)	EDT	1,96	1,83	1,11	0,88	0,85	0,84	0,70	0,59
	σ	0,30	0,15	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02	0,03
CA-24 (6)	EDT	3,11	3,56	3,06	2,62	2,40	2,07	1,26	0,84
	σ	0,54	0,24	0,31	0,10	0,08	0,03	0,04	0,03
CA-31 (7)	EDT	2,43	2,89	2,72	2,33	1,83	1,51	1,02	0,74
	σ	0,78	0,27	0,17	0,11	0,05	0,06	0,06	0,08
CA-32 (3)	EDT	2,08	1,61	1,26	1,02	1,12	1,06	0,84	0,69
	σ	0,29	0,16	0,19	0,06	0,05	0,03	0,01	0,01
CA-35 (6)	EDT	2,91	2,21	1,57	1,17	1,14	1,12	0,86	0,68
	σ	0,18	0,10	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
PG-01 (3)	EDT	1,89	1,76	1,42	1,00	1,03	1,04	0,84	0,67
	σ	0,25	0,20	0,03	0,12	0,08	0,01	0,04	0,06

A exemplo dos parâmetros TR e EDT, o desvio padrão indicou que diferença de valores da Definição (D_{50}) entre pontos de uma mesma sala não é significativa. Em função da frequência, os resultados são piores para as baixas frequências comparando com as médias e altas frequências, o que vêm reforçar a discussão de que o TR e EDT inadequados influenciam na Definição e conseqüentemente na inteligibilidade da fala. Observou-se que as salas de maiores volumes têm os piores valores de D_{50} . Para os três pontos comuns a todas as salas (pontos próximos à fonte com distância menores que 4,50m) não houve diferença significativa no valor de D_{50} . Para pontos mais afastados das geometrias estudadas existe uma tendência de que o valor de D_{50} diminui com a distância, mas os resultados merecem uma investigação mais aprofundada. Na **Tabela 5** são apresentados os resultados dos valores médios de D_{50} de cada sala e o respectivo desvio-padrão.

Tabela 5 – Definição (D_{50}) das salas em função da frequência

SALA (n.ºpontos)	D_{50}	FREQÜÊNCIA (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
CA-12 (6)	D_{50}	0,21	0,30	0,43	0,51	0,52	0,55
	σ	0,07	0,16	0,10	0,06	0,07	0,05
CA-14 (6)	D_{50}	0,27	0,31	0,49	0,52	0,53	0,56
	σ	0,11	0,08	0,10	0,04	0,09	0,09
CA-16 (10)	D_{50}	0,31	0,34	0,40	0,47	0,46	0,49
	σ	0,10	0,11	0,12	0,08	0,07	0,07
CA-22 (5)	D_{50}	0,34	0,34	0,53	0,58	0,56	0,59
	σ	0,11	0,11	0,06	0,06	0,06	0,06
CA-24 (6)	D_{50}	0,25	0,24	0,26	0,30	0,31	0,35
	σ	0,05	0,07	0,09	0,09	0,06	0,07
CA-31 (7)	D_{50}	0,20	0,25	0,25	0,31	0,36	0,44
	σ	0,07	0,08	0,11	0,10	0,10	0,11
CA-32 (3)	D_{50}	0,33	0,32	0,42	0,47	0,51	0,54
	σ	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06
CA-35 (6)	D_{50}	0,28	0,28	0,44	0,49	0,45	0,49
	σ	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05
PG-01 (3)	D_{50}	0,30	0,26	0,41	0,54	0,52	0,54
	σ	0,02	0,06	0,03	0,03	0,06	0,06

O Índice de Transmissão de Fala (STI) foi avaliado nos vários pontos das salas com diferentes ruídos de fundo (com e sem ventilador em funcionamento). A classificação: ruim, pobre, razoável, boa e excelente é feita de acordo com a faixa de STI indicada na norma IEC60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005). Os resultados confirmam que a elevação do ruído de fundo, com o acionamento da ventilação, prejudica a inteligibilidade da fala em todas as posições da sala. Mesmo para as menores distâncias, o nível de transmissão da fala é pobre. Comparando pontos similares em salas retangulares e em salas quadradas observa-se a tendência de que os valores de STI são menores para a configuração retangular. Observa-se também que os valores de STI são melhores para os pontos distantes em salas de configuração retangular, onde a largura (posição da lousa) é maior que o comprimento. Os resultados do STI estão apresentados na **Tabela 6**.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dessa pesquisa vem mostrando que não é muito simples associar forma e qualidade acústica de ambientes somente com base em medidas de parâmetros como TR, EDT e D_{50} . Destaca-se como contribuição desse trabalho, a tendência de que a forma quadrada seja favorável à inteligibilidade para dimensões de até 4,50m (ou distância máxima entre fonte e receptor) e, entre as formas retangulares, as mais favoráveis são aquelas onde a largura (posição da lousa) é maior que o comprimento. Para as dimensões, configurações e acabamentos similares aos estudados, os valores de tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial têm valores próximos. Cabe um aprofundamento na pesquisa buscando identificar as possíveis interferências da forma nos parâmetros acústicos, bem como a interação entre eles. A elevação do ruído de fundo pela inserção de ventiladores pode comprometer significativamente o desempenho da sala quanto à inteligibilidade da fala. Os valores dos parâmetros acústicos obtidos não estão de acordo com os recomendados por normas internacionais. Estes resultados apontam a necessidade de adequações acústicas nas salas avaliadas

para obter a qualidade desejada, porém, existem poucos indícios de que os parâmetros arquitetônicos interferem na Definição (D₅₀), por exemplo.

Tabela 6 – Índice de Transmissão da Fala (STI), médias por Ponto (Pn)

SALA	Ruído Fundo	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
CA-12	c/ ventilador	0,31 Pobre	0,31 Pobre	0,32 Pobre	0,23 Ruim	0,29 Ruim	0,26 Ruim	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,55 Razoável	0,59 Razoável	0,53 Razoável	0,51 Razoável	0,49 Razoável	0,52 Razoável	- -	- -	- -	- -
CA-14	c/ ventilador	0,23 Ruim	0,23 Ruim	0,24 Ruim	0,29 Ruim	0,30 Ruim	0,24 Ruim	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,55 Razoável	0,59 Razoável	0,55 Razoável	0,54 Razoável	0,53 Razoável	0,52 Razoável	- -	- -	- -	- -
CA-16	c/ ventilador	0,24 Ruim	0,08 Ruim	0,26 Ruim	0,19 Ruim	0,22 Ruim	0,23 Ruim	0,25 Ruim	0,33 Pobre	0,19 Ruim	0,20 Ruim
	s/ ventilador	0,56 Razoável	0,54 Razoável	0,56 Razoável	0,49 Razoável	0,49 Razoável	0,50 Razoável	0,52 Razoável	0,49 Razoável	0,48 Razoável	0,50 Razoável
CA-22	c/ ventilador	0,36 Pobre	0,34 Pobre	0,23 Ruim	0,36 Pobre	0,39 Pobre	- -	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,56 Razoável	0,60 Razoável	0,54 Razoável	0,58 Razoável	0,60 Bom	- -	- -	- -	- -	- -
CA-24	c/ ventilador	0,25 Ruim	0,12 Ruim	0,14 Ruim	0,17 Ruim	0,12 Ruim	0,18 Ruim	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,47 Razoável	0,46 Razoável	0,39 Pobre	0,40 Pobre	0,40 Pobre	0,40 Pobre	- -	- -	- -	- -
CA-31	c/ ventilador	0,20 Ruim	0,16 Ruim	0,14 Ruim	0,17 Ruim	0,11 Ruim	0,13 Ruim	0,15 Ruim	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,46 Razoável	0,40 Pobre	0,40 Pobre	0,36 Pobre	0,37 Pobre	0,37 Pobre	0,39 Pobre	- -	- -	- -
CA-32	c/ ventilador	0,40 Pobre	0,31 Pobre	0,32 Pobre	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,54 Razoável	0,59 Razoável	0,52 Razoável	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
CA-35	c/ ventilador	0,27 Ruim	0,35 Pobre	0,26 Ruim	0,26 Ruim	0,23 Ruim	0,27 Ruim	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,53 Razoável	0,56 Razoável	0,52 Razoável	0,49 Razoável	0,49 Razoável	0,51 Razoável	- -	- -	- -	- -
PG-01	c/ ventilador	0,37 Pobre	0,39 Pobre	0,32 Pobre	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	s/ ventilador	0,59 Razoável	0,48 Razoável	0,48 Razoável	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

Nota:- c/ ventilador: com ventilação; s/ ventilador: sem ventilação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2000).** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000. 4p.
- ANSI S12.60 (2002).** AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI S12.60: **acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools.** Accredited Standards Committee S12, Noise. Standards Secretariat Acoustical Society of America, Melville, NY: American National Standards Institute, Inc, June 2002. 50p.
- BENTLER, R. A (2000).** List equivalency and test-retest reliability of the speech in noise test. **America Journal Audiology**, v. 9, n. 2, p. 84-100, dec. 2000.
- BONDI P.; PICCININNI, F.; STEFANIZZI, P. (2001).** Acoustic performance of rectangular classrooms. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep. 2001, Rome, Italy. **Proceedings...** Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, Session 5_05, 2p. 4 CD-ROM.
- BRADLEY, J. (2002).** Optimising Sound Quality for Classrooms. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 20, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES- SIBRAMA, 2, 2002, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. **Palestra.** 15p.1CD-ROM.
- BRÜEL & KJAER (2005).** Application Note: measuring speech intelligibility using DIRAC- Type 7841. **In:** CATÁLOGO TÉCNICO, Brüel & Kjaer Instruments, Chigago, Illinois, USA, 2005. Disponível em: <<http://www.acoustics-engineering.com/dirac/files/Bp1974.pdf>> Acesso em: 01 set. 2005.
- DROSSI, R.C.F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. (2005).** O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, Barueri (SP), v. 17, n. 2, p. 251-258, maio-ago. 2005.
- FEIJÓO, S.; CHISCA, B.; BARROS, N.(2006).** Estimación de la inteligibilidad en función de la ocupación en aulas de enseñanza. **In:** CONGRESSO IBERO AMERICANO DE ACÚSTICA, 5, 2006. **Anais...** Santiago de Chile, Chile. Paper ID: A028, 6p.1CD-ROM.
- GIL, A. C. (2002).** **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.175p.
- IEC (1998).** INTERNACIONAL ELETROTECHINICAL COMMISSION. **IEC 60268-16:** Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index, 1998.
- ISO 3382 (1997).** INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382:** Acoustics-measurements of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Geneva, Switzerland, 1997. 21p.
- MASIERO, B.S.;IAZETTA,F.(2004).** **Estudo e implementação de métodos de medição de resposta impulsiva em salas de pequeno porte.** Relatório Final de Iniciação Científica –Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP e Departamento de Música da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2004. 89p.
- OITICICA, M. L R. ; BERTOLI, S. R. (2006).** Contribuição da absorção sonora de diferentes elementos em salas de aula. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA-SOBRAC, 21, 2006, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SOBRAC, 2006. CD-ROM (em preparação).
- PAIXÃO,D. X.; SANTOS, J.L.P. (1995).** A acústica da sala de aula. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA-SOBRAC, 16., 1995, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: Plêiade Ltda M. E., 1995. p 61-64.
- SEEP, B.; HULCE, E., LINN, M.; WHO, P.A. (2000).** **Classroom Acoustics I: a resource for creating learning environment with desired listening conditions.** Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America- ASA, Melville, NY, USA, Ago-2000, 28p. Disponível em: <<http://asa.aip.org/classroom/booklet.html>www.asa.aip.org> ou <www.sobrac.ufsc.br/artigos/Artigo01-29.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2005.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, que concedeu a Bolsa de Mestrado, contribuindo para a realização desta pesquisa, a qual constituiu um “pré-teste” para a elaboração do estudo de caso que está sendo realizado nas escolas da rede pública estadual da cidade de Campinas/SP.