

 <p>4ta. REUNION ANUAL DE LA SOCIEDAD ARGENTINA PARA LAS CIENCIAS COGNITIVAS DE LA MÚSICA</p>		 <p>Instituto Superior de Música UNT. Proyecto de Investigación 26/ R201. Consejo de Investigaciones de la UNT.</p>
--	---	---

ANÁLISE DE PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS: CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS DE MÚSICA

Fábio Leão Figueiredo, Bruno Masiero e Fernando Iazzetta

Departamento de Música da Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo

fabioflf@hotmail.com

Resumo: O presente trabalho está dividido em três partes. Na primeira parte é feita uma caracterização dos parâmetros acústicos subjetivos que descrevem as qualidades acústicas de salas de música e que podem ser utilizados como critérios para a avaliação acústica. Discutem-se as necessidades que envolveram o surgimento de tais parâmetros, e são apresentadas descrições qualitativas de cada um deles. São definidas as expressões matemáticas dos parâmetros físicos relacionados a cada parâmetro subjetivo citado. Na segunda parte são feitas considerações a respeito dos procedimentos experimentais efetuados nas medições dos parâmetros físicos. Comenta-se a respeito das técnicas MLS e *sweep sine* utilizadas na obtenção da resposta impulsiva da sala bem como o método de processamento para o cálculo do tempo de reverberação e dos demais parâmetros objetivos. Na terceira e última parte são discutidos os problemas fundamentais envolvidos nos procedimentos de coleta e uso das informações subjetivas. Posteriormente, são abordadas as técnicas estatísticas para a análise subjetiva dos dados levantados a partir da avaliação de um júri. Por fim, são estudados os métodos de correlação entre os parâmetros objetivos e subjetivos, com apresentação de alguns resultados conclusivos.

Palavras-chave: parâmetros subjetivos – acústica de salas – medições – avaliação de qualidade

ANÁLISE DE PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS: CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS DE MÚSICA

Fábio Leão Figueiredo, Bruno Masiero e Fernando Iazzetta

Departamento de Música da Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo

fabioflf@hotmail.com

Introdução

Recentemente, o ramo denominado acústica de salas vem ganhando notoriedade em função da demanda na realização de projetos de estúdios de gravação, home-theaters e salas de música. Entretanto, as pesquisas em acústica geralmente estão mais voltadas para questões de engenharia e *design* do que para problemas musicais específicos. Faz-se necessária, portanto, uma pesquisa voltada para a aferição da qualidade acústica em ambientes, de tal forma que seja privilegiado principalmente o ponto de vista musical.

Em 2002 iniciamos na Universidade de São Paulo, Brasil, um projeto de pesquisa em acústica de salas voltado para questões musicais. O núcleo de trabalho, intitulado AcMus (Iazzetta 2001), concentra-se no desenvolvimento de ferramentas computacionais para projeto, medição e simulação do comportamento acústico de salas destinadas à música. Uma parte importante de nosso trabalho consiste na investigação dos principais aspectos que influenciam a produção e recepção de material musical.

Embora muitos parâmetros acústicos possam ser determinados a partir de medições e cálculos específicos (Baxa 1980, Jordan 1981), nosso interesse recai sobre os parâmetros de natureza subjetiva, ou seja, aqueles relacionados com a sensibilidade e percepção dos indivíduos em um determinado ambiente.

Apesar de relacionados com dados extraídos da percepção subjetiva, esses parâmetros possuem correlação direta com atributos físicos das salas (Hawkes 1971). Beranek (1962) fez um primeiro estudo extensivo sobre o papel dos parâmetros subjetivos na composição das características acústicas de uma sala. Desde então, têm se buscado desenvolver critérios objetivos para formulações teóricas e medições acústicas através das quais avaliam-se em termos quantitativos as condições qualitativas da acústica das salas (Schroeder 1966, Jordan 1970, Hulbert 1982).

Parte desse processo inicia-se com o levantamento estatístico de questionários respondidos por um júri a respeito das impressões acústicas de uma determinada sala (Wilkins 1974, Gade 1989). Essas respostas são posteriormente confrontadas com medições realizadas nesses ambientes para, então, realizar o levantamento das qualidades acústicas. Nesse trabalho o primeiro problema encontrado refere-se à falta de precisão e objetividade nas avaliações realizadas pelos indivíduos que geralmente se expressam por meio de termos vagos ou cuja significação musical não corresponde precisamente a um atributo acústico.

Nas últimas décadas, diversos trabalhos têm se dedicado a realizar uma correlação entre parâmetros físicos e parâmetros subjetivos (Schroeder 1974, Wilkins 1974, Farina 1994) que ajudam a definir a qualidade acústica de uma sala musical.

Parâmetros Acústicos Subjetivos

Os parâmetros mais importantes estão representados por expressões matemáticas que geram índices objetivos, assumindo o papel de grandezas físicas mensuráveis, como TR para reverberação, C80 para a clareza e BR para a razão de graves, entre outros.

A seguir, uma breve descrição qualitativa dos termos que têm sido apontados como os mais relevantes para avaliação de qualidade acústica de salas de música:

Vivacidade (Livness): Salas reverberantes são ditas salas "vivas". Uma sala que reflete pouco som para o ouvinte - por exemplo, quando dotada de excessivos materiais absorvedores- é dita uma sala morta ou seca. Uma sala tem vivacidade quando, entre outras ocorrências, apresenta um volume total muito maior que o volume ocupado pela audiência ou quando apresenta superfícies bastante refletoras. Uma sala viva concede "preenchimento sonoro" à música (*fulness of tone*). Vivacidade está relacionada com o tempo de reverberação das frequências médias e altas (acima de 500 Hz).

Calor (Warmth): Calor em acústica é definido como a presença dos graves (*fulness of bass tones*). Ocorre quando tempo de reverberação para frequência as baixas (menores que 250 Hz) é suficientemente grande para garantir que tais frequências sejam bem percebidas.

Brilho (Brilliance): O som brilhante de uma sala, deriva da proeminência dos harmônicos superiores e do relativo baixo decaimento para essas frequências. É afetado pelo intervalo entre a chegada do som direto e das primeiras reflexões, e pela razão entre os tempos de reverberação de médias e altas frequências. Uma sala que apresenta clareza e vivacidade nas altas frequências, tende também a apresentar um som brilhante.

Nível de som direto e reverberante (Loudness of direct / reverberant sound): Nossa impressão do volume de uma música tocada em determinado ambiente é formada pelas contribuições do som direto e do som reverberante. No caso do som direto, é desejável que não existam pontos desprivilegiados na sala, ou seja, a sala deve ser projetada de forma que em todos os lugares haja uma boa audibilidade. Essa tarefa é particularmente mais complicada para salas maiores. A energia do som reverberante é função de duas variáveis: a intensidade do som que viaja indiretamente até o ouvinte e o tempo de reverberação da sala.

Intimismo (Intimacy): Uma sala possui intimismo acústico se a música tocada em seu interior dá a sensação de estar sendo tocada em uma sala pequena. A impressão que se tem do tamanho da sala é determinada pelo intervalo de tempo entre o som que chega diretamente e sua primeira reflexão proveniente das superfícies refletoras. Em salas apontadas pelos músicos como tendo intimismo acústico, as superfícies refletoras são dispostas de tal forma que o intervalo de reflexão é pequeno, menor que 20 milissegundos.

Clareza ou Definição (Clarity or Definition): Quando a música tocada numa sala soa bem definida, com articulações sonoras límpidas e precisas independentemente do andamento, dizemos que a sala apresenta bom grau de clareza. Estudos psicoacústicos revelaram que os primeiros 50 milissegundo a partir da chegada do som ao ouvido são particularmente importantes para certas propriedades da percepção sonora, como por exemplo a clareza. O grau de definição de uma sala é função do padrão de reflexão de suas superfícies, da distância entre o ouvinte e músico e das dimensões da sala. Mais do que qualquer outro, o tempo de reverberação é o atributo decisivo para o parâmetro clareza.

Impressão Espacial (Spatial Impression): É o efeito psicoacústico causado pelas reflexões sonoras que atingem o ouvinte a partir de várias direções (Barron 1971, Schroeder 1979). Embora não chegue a distinguir tais direções, o sistema auditivo cria uma sensação acústica espacial do ambiente. Este parâmetro está obviamente relacionado com o fenômeno da difusão, mas também é influenciado decisivamente por outras propriedades dentre as quais a mais importante é a *dissimilaridade binauricular*. Essa grandeza é uma medida da diferença entre o que é captado em de cada um dos ouvidos ao longo do tempo de exposição. Fisicamente, a impressão espacial é inversamente proporcional ao grau de correlação entre os sinais binauriculares e está associada ao parâmetro objetivo IACC (*interaural cross correlation*).

A tabela seguinte apresenta a relação entre parâmetros subjetivos e seus respectivos índices físicos:

Parâmetro Subjetivo	Índice Objetivo	Expressão Física
Vivacidade	RT 60	Schroeder (1965)
Calor	BR	$\frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}}$
Brilho	TR	$\frac{RT_{2000} + RT_{4000}}{RT_{500} + RT_{1000}}$
Nível de som	L	$10 \log [Ed / Er]$
Intimismo	ITDG	$t_d - t_r$
Clareza	C50	$10 \log \left[\frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} \right]$
Impressão espacial	IACC	$\max \left \left[\int p_e(t) p_d(t + \alpha) dt \right] \left[\int p_e^2(t) dt \int p_d^2(t) dt \right]^{1/2} \right $

Tabela 1: Os parâmetros acústicos e suas expressões matemáticas

Sendo que:

- $RT\ 60$ é o tempo de reverberação, ou seja, o intervalo de tempo que o sinal sonoro leva para ser amortecido em 60 dB. Esse parâmetro será obtido através do método de Schroeder, a ser comentado mais adiante. RT_{125} , RT_{250} , RT_{500} , são os tempos de reverberação nas frequências 125 Hz, 250Hz, 500Hz e assim respectivamente. Um outro parâmetro relacionado à reverberação é o E.D.T. (*early decay time*).
- BR é razão de graves (*bass ratio*) e TR é razão de agudos (*treble ratio*).
- t_d é o instante em que o som direto chega em determinado ponto de captação, e t_r é o instante em que chega a primeira reflexão. A diferença entre esses dois instantes é o ITDG (*initial time delay gap*).
- Ed e Er são energia de som direto e reverberante, respectivamente.
- $P(t)$ é o valor da pressão acústica num dado instante. A expressão física da clareza $C50$ é a razão da energia que chega nos primeiros 50 milissegundos pela energia total. Essa razão também pode ser tomada nos primeiros 80 milissegundos ($C80$).
- $IACC$ (*interaural cross correlation*), é o valor máximo da função de correlação entre os sinais obtidos no ouvido esquerdo (p_e) e direito (p_d) de um *dummy head* (dispositivo de gravação que simula a anatomia da cabeça humana, apresentando forma e impedância acústica característica próximas às de um ser humano).

Considerações sobre os procedimentos experimentais para obtenção dos parâmetros acústicos

É importante notar que os principais parâmetros acústicos podem ser extraídos de um único observável físico: a curva de resposta impulsiva. A resposta impulsiva é definida como a resposta de um sistema a um impulso ideal (Delta de Dirac).

A partir dessa resposta, Schroeder (1965) desenvolveu um método (integração do quadrado da resposta impulsiva) que otimiza o processo de obtenção dos tempos de reverberação (grandeza associada a alguns importantes parâmetros subjetivos). Esse método fornece uma curva do decaimento da energia em função do tempo, conhecida desde então como curva de Schroeder. O método de Schroeder obteve reconhecimento imediato e é amplamente utilizado até hoje, chegando a constar na norma ISO 3382 (*Acoustics- Measurements of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*). Essa norma é, desde sua primeira edição em 1996, a referência internacional para medições acústicas que envolvam tempo de reverberação de salas.

Os parâmetros subjetivos vivacidade, brilho e calor são determinados pelos tempos de reverberação das frequências médias, agudas e graves, respectivamente. Assim, parâmetros relacionados à taxa de variação da energia, como clareza, definição, impressão espacial (que também constam nas normas ISO 3382) podem ser obtidos de um processamento com base na curva de Schroeder. O intimismo, relacionado ao intervalo de tempo entre a incidência de um som direto e a chegada da primeira reflexão (ITDG) pode ser verificado a partir do gráfico da resposta impulsiva. Com isso temos um conjunto de técnicas que possibilitam o cálculo dos principais parâmetros.

Porém, a implementação do método de Schroeder requer primeiramente o levantamento da resposta impulsiva da sala. A forma de obtenção da resposta impulsiva foi tema de interessantes trabalhos publicados nas últimas décadas (Berkhout 1980, Borish 1983, Chu 1990). Anteriormente usava-se o sinal produzido por um tiro de pistola, o que apresentava certas desvantagens como falta de um padrão de repetibilidade, resposta irregular para certas faixas de frequências, além de uma relação sinal/ ruído insatisfatória.

No artigo em que criou o método de integração, Schroeder já apontava para esses problemas, mas somente 14 anos depois, o próprio Schroeder (1979) publicaria um outro artigo mostrando um meio de obter a resposta impulsiva sem usar impulsos. Utilizando uma seqüência de máximo comprimento (MLS) gerada por computador como um ruído pseudo aleatório, a técnica de Schroeder não só permitiria um padrão de perfeita repetibilidade no sinal de excitação, com um espectro plano de energia, como também garantiria uma relação sinal ruído grande o suficiente para permitir a obtenção da resposta impulsiva em ambientes onde estivesse ocorrendo música ou qualquer outro ruído de fundo. Essa característica se deve às propriedades estocásticas de correlação entre o sinal pseudo aleatório com a resposta impulsiva (correlacionados) e o sinal pseudo aleatório com o ruído de fundo (não correlacionados). A técnica de MLS passou a ser bastante utilizada (Rife 1992, Vanderkooy 1994, Vorlander 1997, Gomes 2001) e atualmente está presente até mesmo em plug-ins de softwares de áudio de circulação comercial.

Paralelamente à técnica de MLS, outras sofisticadas técnicas de obtenção da resposta impulsiva foram sendo desenvolvidas. A que mais se destacou, por sua eficiência e por apresentar algumas vantagens até mesmo sobre o MLS, foi a técnica *sweep sine* ou varredura de senos (Farina 2000, Müller 2001) a qual se baseia em processamentos das Transformadas de Fourier dos sinais obtidos. O sinal de excitação é uma senóide cuja frequência varia regularmente no tempo. Essa variação pode ser linear ou logarítmica. No caso da variação logarítmica, o espectro gerado apresenta a mesma quantidade de energia em todas as oitavas. Por ser muito menos sensível às não linearidades e às variações temporais (características

necessárias ao bom desempenho do MLS, mas que nem sempre ocorrem) a técnica de varredura garante uma resposta mais confiável em alguns casos, além de apresentar uma relação sinal/ruído consideravelmente maior, o que a torna uma técnica preferível para certas finalidades, como auralização, por exemplo.

A seguir, um exemplo da resposta impulsiva e da curva de Schroeder obtida a partir de medições realizadas no estúdio do Depto. de Música da USP:

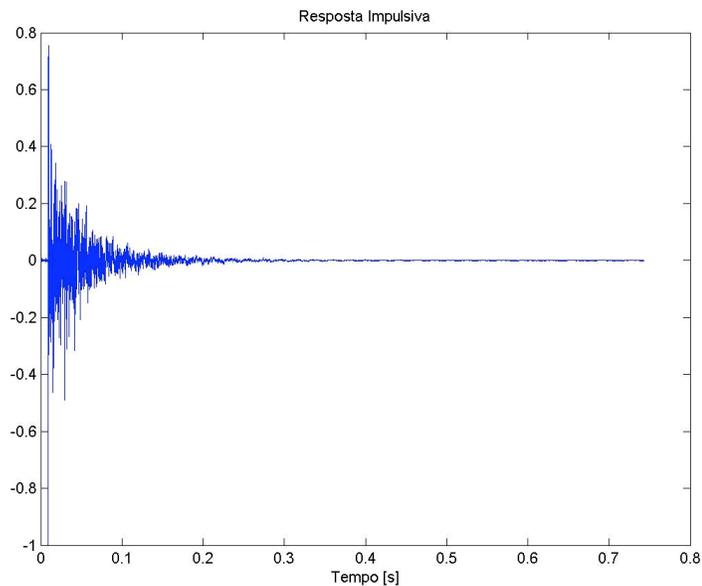


Gráfico 1: Resposta impulsiva da sala do Depto. de Música da ECA - USP

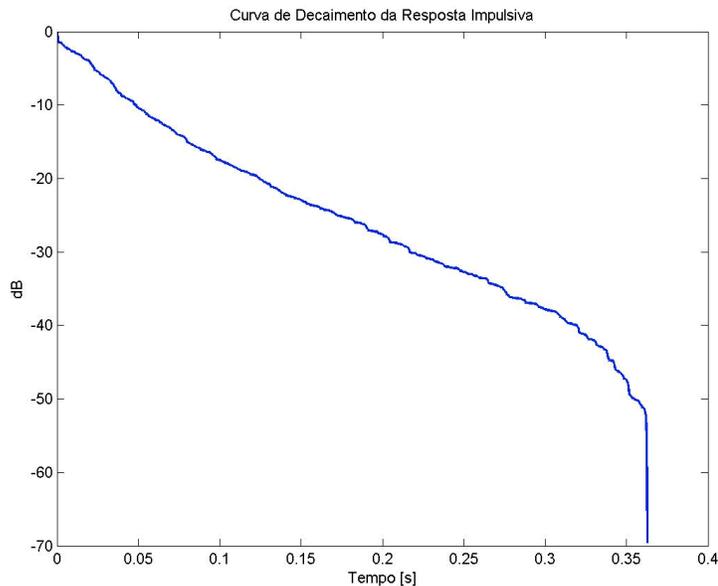


Gráfico 2: Curva de Schroeder da sala do Depto. De Música da ECA - USP

Análise subjetiva

Apesar de todo o avanço no estudo da acústica musical realizado nas últimas décadas, ainda há muito a ser desenvolvido no campo dos parâmetros subjetivos. Várias questões ainda se colocam a esse respeito: Esses parâmetros permitem uma completa descrição da acústica da sala? Quais deles são independentes entre si? Quais são os mais relevantes? Como relacioná-los aos parâmetros físicos?

Os estudos psicoacústicos em salas de música têm sido realizados através de dois caminhos distintos: experimentos em laboratório e testes em salas reais. O primeiro caminho consiste em gravar passagens musicais em diferentes salas, utilizando equipamento adequado (*dummy head* biauricular, dispositivos digitais de alta fidelidade, etc) e depois reproduzi-las para o júri numa câmara anecóica ou mesmo em fones de ouvido. A vantagem desse método é permitir uma comparação instantânea e meticulosa entre as salas, estimulando uma compreensão bem específica de cada parâmetro. A desvantagem óbvia é que podem haver perdas na percepção das características acústicas, já que um ambiente real jamais será perfeitamente "transportado" para o laboratório.

Por outro lado, testes auditivos em salas reais, utilizando questionários sistematicamente estruturados, são eficientes na medida em que permitem a percepção acústica da maneira mais fiel. Porém, dificultam a comparação acurada entre as características acústicas das salas já que não poderão ser comparadas ao mesmo tempo, além de expor a uma variação simultânea de um grande número de parâmetros, diminuindo a capacidade de discriminação de cada um deles.

A terminologia adequada a ser utilizada nos questionários já foi objeto de estudo de alguns pesquisadores como Wilkens (1974), Hawkes & Douglas (1971) e Farina (1994). Tais questionários devem ser submetidos à avaliação de um júri musicalmente bem qualificado. Por exemplo, a pesquisa Wilkens de baseava-se em pares de termos opostos e em entrevistas com um júri que assinalava pontos numa escala de valores cujos extremos eram esses termos opostos. Empregou termos da literatura e da linguagem dos músicos, selecionando numa

primeira análise 90 pares de termos. Em seguida, reduziu o número de termos, desprezando aqueles que se mostraram irrelevantes ou ambíguos.

Os dados subjetivos acumulados com os questionários devem ser submetidos a um tratamento estatístico por métodos de avaliação estatística de qualidade baseados na teoria de "análise multidimensional de qualidade". Um desses métodos utilizados é o de análise de fatores (Harman 1968) em que os fatores consistem em variáveis independentes, físicas ou não, que descrevem a dinâmica do julgamento. A técnica pode ser empregada tanto para a análise de parâmetros objetivos (físicos) quanto subjetivos (psico-físicos).

Usualmente, os resultados são representados graficamente em um plano n-dimensional chamado *espaço das preferências*.

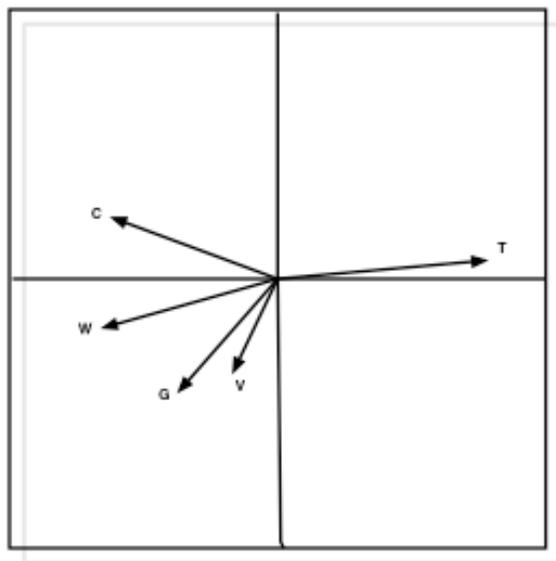


Figura 1: Espaço das Preferências relativo a alguns parâmetros subjetivos

O quadro anterior foi obtido por Schroeder (1974) após experiências realizadas em 11 salas européias com a avaliação de um júri de 12 pessoas. As letras representam tempo de reverberação (T), IACC (C), largura da sala (W), ITDG (G) e volume da sala (V). O eixo horizontal é chamado "consenso das preferências" e o vertical quantifica as diferenças individuais. Ambos os eixos representam valores de coeficientes de correlação e, portanto, têm o domínio limitado ao intervalo $[-1,1]$.

O vetor T é quase coincidente ao eixo x (consenso das preferências). Assim, no caso das salas analisadas, quanto maior o tempo de reverberação, maior é o consenso nas preferências para aquelas salas. O vetor G, negativamente correlacionado com a preferência, revela que quanto menor o ITDG, maior a preferência, conforme esperado (Beranek, 1962).

Um interessante resultado foi observado no caso da coerência inter-auricular (vetor C). Ela se mostrou praticamente não correlacionada com o tempo de reverberação e apresentou uma forte (e negativa) correlação com a preferência. Isso sugere que o IACC é um significativo parâmetro independente. Quanto maior a coerência inter-auricular, menor a preferência, pois menos caracterizada fica a impressão espacial propiciada pela dissimilaridade biauricular.

Angelo Farina (1994) sintetizou uma base para um questionário a ser empregado na avaliação subjetiva utilizando-se dos seguintes termos:

- | | |
|--|--|
| 1. agradável (<i>pleasant</i>) | desagradável (<i>unpleasant</i>) |
| 2. definido (<i>clear</i>) | confuso (<i>unclear</i>) |
| 3. macio (<i>soft</i>) | rígido (<i>hard</i>) |
| 4. difuso (<i>diffuse, involving</i>) | concentrado (<i>concentrated</i>) |
| 5. seco (<i>dry</i>) | reverberante (<i>reverberant</i>) |
| 6. agudos acentuados(<i>treble emphasized</i>) | agudos não acentuados(<i>treble not emph.</i>) |
| 7. graves acentuados(<i>bass emphasized</i>) | graves não acentuados(<i>bass not emph.</i>) |
| 8. nível sonoro fraco (<i>weak</i>) | bom nível sonoro (<i>loud</i>) |

Os dados do questionário, no nosso caso, alimentam uma matriz de coeficientes de correlação entre os termos de qualidade acústica. A partir dessa matriz vários resultados interessantes podem ser obtidos (Yamaguchi 1972). Por exemplo, o método busca numericamente a determinação de fatores ortogonais (independentes) que formam uma base para a caracterização dos termos originais. Tais fatores, geralmente em número bem menor do que os originais, devem ser interpretados posteriormente.

Para correlacionar os resultados subjetivos com os parâmetros objetivos, tais parâmetros são introduzidos como variáveis dependentes dos fatores obtidos. Isso é possível com a construção de uma matriz de correlação entre os parâmetros objetivos e os fatores subjetivos. É possível ainda extrair uma matriz de ponderação, em que os pesos dos fatores são calculados como solução de um sistema linear, uma vez que as matrizes dos fatores e dos parâmetros já estejam determinadas.

Lembramos que o coeficiente de correlação é uma grandeza estatística que indica o grau de correlação entre duas variáveis observadas. Os valores do coeficiente de correlação podem variar entre $[-1, 1]$, onde zero significa que não há relação funcional entre as duas variáveis, ou seja, não há correlação entre uma e outra. Quando o módulo do coeficiente tende a 1, essa relação funcional passa a se estabelecer, isto é, as variáveis tendem a comportar-se de maneira correlacionada, sendo que valores positivos indicam relação de proporcionalidade direta e valores negativos indicam relação de proporcionalidade inversa. Em outras palavras, o coeficiente de correlação indica o quanto uma variável se relaciona com outra e em alguns casos extremos de correlação (módulo igual a 1) é possível estabelecer uma função analítica entre as duas variáveis.

A seguir apresentamos alguns resultados de Farina (1994) que exprimem a correlação entre parâmetros objetivos (índices) e parâmetros subjetivos (expressões qualitativas). Esses resultados foram obtidos após um extenso processo de avaliação envolvendo salas e orquestras italianas. O valor r é o coeficiente de correlação, sendo que o sinal negativo no valor r indica que o respectivo parâmetro objetivo é proporcional ao termo à esquerda na escala subjetiva, enquanto que um valor positivo indica que o parâmetro objetivo é proporcional ao termo à direita na mesma escala:

Parâmetro Objetivo	Escala Subjetiva	Correlação
E.D.T.	Difuso-Concentrado	r = -0.36
E.D.T	Seco-Reverberante	r = +0.36
R.T.	Difuso-Concentrado	r = -0.30
R.T.	Seco-Reverberante	r = +0.35
I.T.D.G.	Macio-Rígido	r = +0.35
C(80)	Definido-Confuso	r = -0.34
S.P.L.	Agradável-Desagradável	r = -0.41
S.P.L.	Difuso-Concentrado	r = -0.40
S.P.L.	Fraco-Forte	r = +0.34

Tabela 2: Correlação entre parâmetros objetivos e subjetivos

Aqui podemos concluir, por exemplo, que as qualidades de difusão e de vivacidade aumentam conforme o tempo de reverberação. Também podemos observar como o parâmetro C(80) está correlacionado com a impressão de definição, e como o nível SPL (*sound pressure level*) é uma característica desejável, além de estar relacionado a um aumento no campo difuso da sala.

Conclui-se que é viável e significativo relacionar a análise subjetiva aos parâmetros acústicos objetivos. Porém, para que essa tarefa alcance êxito, cuidados devem ser tomados em todas as fases dos procedimentos, que vão desde da utilização de um bom aparato tecnológico para a medição dos parâmetros físicos até uma meticulosa organização estatística dos dados subjetivos.

Bibliografia:

- Barron, M. (1971). The Subjective Effects of the First Reflections in Concert Halls – The Need for Lateral Reflections. *J. Sound Vib.* **Vol.15**, 475-494.
- Barron, M. y Marshall, A.H. (1971). Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls: the derivation of physical measure. *J. Sound Vibration*, **Vol.77**,p211.
- Baxa, D. y Seireg, A. (1980). The use of quantitative criteria for the optimum design of concert halls. *J. Acoust. Soc. Am.*, **Vol.67**, 2045-2054.
- Beranek, L. (1962). *Music, Acoustics & Architecture*. London: Wiley.
- Berkhout, D. et.al. (1980). A new method to acquire impulse responses in concert halls. *J. Acoust. Soc. Am.* **Vol.68**, 179-183.
- Borish, J. y Angell, J.B. (1983). An Efficient Algorithm for Measuring the Impulse Response Using Pseudorandom Noise. *J. Audio Eng. Soc.*, **Vol. 31**.
- Bradley, J.S. (1996). Optimizing the Decay Range in Room Acoustics Measurements using Maximum-Length-Sequence Techniques. *J. Audio Eng. Soc.*, **Vol. 44**.
- Chu, W.T. (1990). Impulse Response and Reverberation Decay Measurements Made by Using a Periodic Pseudorandom Sequence. *Applied Acoustics*, **Vol.29**, 193-205.
- Farina, A. (2000). Simultaneous Measurements of Impulse Response and Distortion with a Swept Sine Technique. *AES Conference*, France, 2000.
- Farina, A. et al. (1994). Acoustic Quality of Theaters: Correlation Between Experimental Measures and Subjective Evaluation. *Istituto di Ingegneria dell'Università di Ferrara*, **n.14** (disponível em [HTTP://pcfarina.eng.unipr.it](http://pcfarina.eng.unipr.it))
- Gade, A. C. (1989). Investigation of musicians' room acoustic condition in concert halls, part I. *Acustica*, **Vol.69**, p193.

- Gomes, M. y Gerges, S. (2001). Modelling of Room Acoustic Parameters Using MLS Technique and Numerical Simulation *IBPSA Conference*, Rio de Janeiro.
- Harman, H. N. (1968). *Modern factor analysis*. Chicago: University of Chicago press.
- Hawkes, R. y Douglas, H. (1971). Subjective Acoustics Experiences in Concert Auditoria. *Acustica*, **Vol 25**, 236-250.
- Hulbert, G., Baxa, D. y Seireg, A. (1982). Criterion for quantitative rating and optimum design of concert halls. *J. Acoust. Soc. Am.*, **Vol.71**, 619-629.
- Iazzetta, F., Kon, F., Silva, F.S. (2001). AcMus: Design and Simulation of Music Listening Environments. *Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. (disponível em <http://gsd.ime.usp.br/acmus>)
- Jordan, L. (1970). Acoustical Criteria for Auditoriums and Their Relation to Model Techniques. *J. Acoust. Soc. Am.*, **Vol 47**, 408-412.
- Jordan, V.L. (1981). A Group of Objective Criteria for Concert Halls. *Applied Acoustics*, **Vol.14**, 253-266.
- Kuttruff, H. (1991). *Room Acoustics*. London: Elsevier Applied Science.
- Malafaia, S. y Tenenbaum, R. (2000). Estudo psicoacústico dos parâmetros utilizados para caracterizar a qualidade acústica de salas de concerto. Belo Horizonte: *SOBRAC*.
- Müller, S., Massarani P. (2001). Transfer Function Measurements with Sweeps. *J. Audio Eng. Soc.*, **Vol. 49**, p. 443.
- Nickson, A. y Muncey, R. (1961). Criteria for Room Acoustics. *J. Sound Vib.*, **Vol.3**, 292-297.
- Rife, D. (1992). Modulation Transfer Function Measurement with Maximum-Length Sequences. *J. Audio Eng. Soc.* **Vol. 40**.
- Schroeder, M. (1965). New Method of Measuring Reverberation Time. *J. Acoust. Soc. Am.*, **Vol .37**, 409-412
- Schroeder, M. et.al. (1966). Acoustical Measurements in Philharmonic Hall. *J. Acoust. Soc. Am.* **Vol 40**, 434-440.
- Schroeder, M., Siebrasse, K. (1974). Comparative study of European halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustics parameters. *J. Acoust. Soc. Am.*, **Vol 56**, 1195-1201.
- Schroeder, M. (1979). Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert halls: More lateral sound diffusion. *J. Acoust. Soc. Am.*, **Vol 65**, 958-963.
- Schroeder, M.R. (1979). Integrated-Impulse method measuring sound decay without using impulses. *J. Acoust. Soc. Am.* **Vol. 66**, 497-500.
- Vanderkooy, J. (1994). Aspects of MLS Measuring Systems. *J. Audio Eng. Soc.*, **Vol. 42**.
- Vorlander, M. y Kob, M. (1997). Practical Aspects of MLS Measurements in Building Acoustics. *Applied Acoustics*, **Vol. 52**.
- Wilkens, H. y Plenge, G. (1974). The correlation between subjective and objective data of concert halls. *Auditorium Acoustics*. London: Applied Science.
- Yamaguchi, K. (1972). Multivariate Analysis of Subjective and Physical Measures of Hall Acoustics, *J. Acoust. Soc. Am.* **Vol.52**, 1271-1279.

* Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).