

AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE AMBIENTES FECHADOS: ESTUDOS E MEDIÇÕES

Giordano Francis Vieira, giordanovieira@yahoo.com.br¹
Emerson de Sousa Costa, emersondesousa@yahoo.com.br¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia Mecatrônica – Campus V – Rua Álvares de Azevedo 400 - CEP 35503-822 – Divinópolis – MG

Resumo: *O conforto acústico dentro de um ambiente fechado é de extrema importância para seus ocupantes, pois propicia condições para que os mesmos permaneçam no local sem sofrerem a ações dos ruídos, que são considerados todos os sons indesejáveis que interfiram na rotina do recinto de maneira a perturbar seus ocupantes. Portanto é necessário um estudo do ambiente de forma a descobrir as causas de ruídos que nele existam para que seja possível encontrar soluções de forma a amenizá-los ou até eliminá-los. Para que o local proporcione o conforto acústico ele deve estar em acordo com as normas vigentes, as normas utilizadas neste estudo são a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, a ABNT NBR 10151:2000, e a ABNT NBR 10152:1987, elas especificam os valores e métodos necessários para que o ambiente conceda conforto acústico. Outro importante fenômeno a ser avaliado é o tempo de reverberação que pode ser dito como o tempo em que o som emitido por uma fonte gasta para chegar ao receptor em sua total magnitude desde o campo sonoro direto quanto todo o campo reverberante. Esse elemento influencia diretamente no entendimento das falas. Para avaliar acusticamente o ambiente é imprescindível fazer os cálculos do tempo de reverberação e medi-los para a confirmação de seus valores. Acompanhando este estudo são realizadas medições do nível de pressão sonora em ambientes fechados para verificar a conformidade com as normas. Por fim, são propostas possíveis soluções para que o ambiente venha a proporcionar a seus ocupantes conforto acústico.*

Palavras-chave: *Acústica, ruído, conforto acústico, tempo de reverberação*

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a comodidade de ambientes torna necessário o estudo acústico para proporcionar a seus ocupantes o melhor conforto acústico possível. Um de seus objetivos deve ser minimizar ou se possível eliminar os sons que atrapalhem a realização das tarefas próprias do local em análise. A estrutura física do ambiente deve ser adequada conforme as normas vigentes de forma a garantir sua qualidade acústica. Os sons indesejáveis dentro de um ambiente são chamados de ruídos, eles atrapalham o entendimento da fala ou que causam distração, corrompendo assim o foco das atividades realizadas. Por isso, é de extrema importância conhecer as fontes dos ruídos, monitorar suas intensidades sonoras e controlá-los de forma que não prejudiquem a rotina do local. Essas atividades são relacionadas à Metrologia e são regulamentadas por órgãos competentes.

Metrologia é a ciência que compreende os aspectos práticos e teóricos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia (Inmetro, 2010). Medições são procedimentos que visam determinar o valor momentâneo de uma grandeza física com base em uma unidade convencionalizada como padrão. Com isso o objeto de medição chamado de mensurando é determinado como fração ou múltiplo da unidade padrão que deve ser reconhecida internacionalmente.

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) é o órgão executivo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro) e tem como missão promover a qualidade de vida do cidadão e a competitividade da economia através da metrologia e da qualidade. É responsável por fornecer ao Brasil padrões metrológicos nacionais, estruturar e gerenciar o sistema de referências metrológicas nacional, além de fiscalizar e verificar os instrumentos de medição, gerenciar os sistemas brasileiros de acreditação de Laboratórios de Calibração e Ensaios e conquistar o reconhecimento internacional do sistema brasileiro de metrologia, acreditação de laboratórios e organismos de inspeção e certificação.

Em suas avaliações e fiscalizações o Inmetro avalia se o produto ou ambiente de trabalho possui conformidade. Segundo o Inmetro, conformidade é o procedimento que objetiva prover adequado grau de confiança em um determinado produto, mediante o atendimento de requisitos definidos em normas ou regulamentos técnicos. Dentre os organismos de certificação credenciados pelo Inmetro pode-se destacar a Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT), que tem como missão prover a sociedade brasileira de conhecimento sistematizado, por meio de documentos normativos, que permita a produção, a comercialização e uso de bens e serviços de forma competitiva e sustentável nos mercados interno e externo, contribuindo para o desenvolvimento científico e tecnológico, proteção do meio ambiente e defesa do consumidor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceitos de metrologia

Por melhor que seja a qualidade do sistema de medição, por mais cuidadoso e habilidoso que seja o operador e as influências das condições ambientais, ainda assim, em maior ou menor grau, o erro de medição estará presente (Albertazzi e Sousa, 2008). O erro de medição é considerado como sendo a diferença entre o valor real do mensurando e o valor apurado nos aparelhos de medição.

Ainda segundo Albertazzi e Sousa (2008), um erro pode ser considerado sistemático ou aleatório. O erro sistemático corresponde ao valor médio do erro de medição, enquanto o erro aleatório corresponde a parcela imprevisível do erro de medição, responsável por valores que apresentam grande variação entre si em medições repetidas.

Portanto, fica evidente que antes de chegar a conclusões sobre as medições é necessário que haja uma avaliação quanto aos valores encontrados em tais atividades, a fim de determinar como estes se comportam e se apresentam resultados aproximados ou aleatórios. Com isso, caso seja percebida alguma disparidade entre os valores medidos, esse erro será aplicado ao método estatístico conveniente para que seja corrigido.

Para corrigir um erro é preciso que sua fonte seja identificada. Essa fonte pode ser interna ao aparelho medidor e/ou externa sendo influenciada pelo operador ou pelo ambiente. O erro interno pode ocorrer devido à tecnologia do aparelho, imprecisão de escalas de medida, material com que é construído e desgaste por tempo de uso. Erros externos influenciados pelo operador ocorrem devido à inexperiência no manuseio do equipamento medidor.

Para atenuar os erros empregados por aparelhos medidores, estes devem estar calibrados. Segundo Albertazzi e Sousa (2008), a calibração pode ser definida como o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões. É necessário então que os aparelhos medidores estejam calibrados durante as medições para que haja um mínimo de erro.

As calibrações são efetuadas em laboratórios especializados e credenciados pelo órgão fiscalizador, o Inmetro. Para que um laboratório receba o selo de aprovação, deve se adequar às normas (NBRs) estabelecidas pelos órgãos do Sistema Metrológico Brasileiro, para assim agir de forma independente visando a qualidade dos produtos e defendendo o consumidor.

Ao efetuar uma calibração, o laboratório verifica o aparelho medidor comparando seu valor a uma medida padrão. Caso haja discrepâncias, o aparelho sofre ajustes de forma que apresente valores o mais próximo possível do valor padrão, ocorrendo assim a regulação do aparelho. Existem dois métodos de calibração, o direto e o indireto. O método direto é feito comparando os valores dos aparelhos medidores com os valores padrões que podem ser materializados. O método indireto consiste em gerar a grandeza padrão por um dispositivo auxiliar e então comparar com o valor medido pelo aparelho.

Com o uso, o aparelho medidor sofrerá desgaste que gera incertezas em suas medidas, por isso é importante cumprir as normas que determinam os intervalos de tempo em que um determinado aparelho deve ser calibrado. A NBR 10151/2000 recomenda que o medidor de pressão sonora e o calibrador acústico devem ter o certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração ou do Inmetro renovado no mínimo a cada dois anos. A NBR 17025/2005 estabelece que o certificado de calibração não deve conter qualquer recomendação sobre o intervalo de calibração, exceto se combinado com o cliente.

2.2. Normas utilizadas

A ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 especifica os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. A norma é aplicável a todas as organizações que realizem ensaios, calibração e amostragem, sendo utilizada no desenvolvimento do sistema de gestão para qualidade, operação técnicas e administrativas dos laboratórios.

A ABNT NBR 10151:2000 trata da avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. A norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, especificando o método de medição do ruído e aplicação de correção nos níveis medidos, se o ruído apresentar características especiais. O método envolve as medições no nível de pressão sonora equivalente, em decibels pertencentes à curva de ponderação "A" que representa a curva de sensibilidade do ouvido humano em relação à frequência e o nível de pressão sonora. A Figura (1) mostra as curvas de ponderação A e C normalizadas. A curva C é quase plana e representa o som do ambiente sem a utilização de filtros, muito utilizada para a medição de ruídos. A grande diferença entre as duas curvas está na atenuação para baixas frequências.

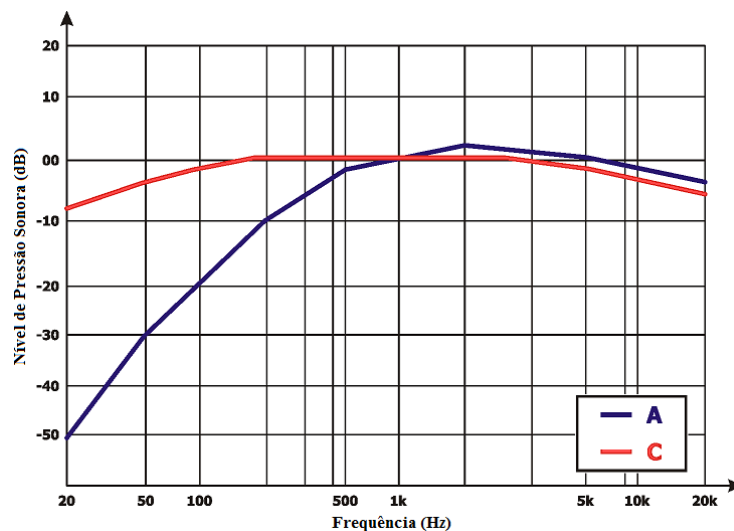


Figura 1. Curvas de ponderação A e C normalizadas pela ISO

A ABNT NBR 10152:1987 aborda os níveis de ruído para o conforto acústico. A norma fixa valores aos níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes.

Mesmo seguindo as normas, erros podem ocorrer em projetos e medições. Eles não podem ser ignorados, pois podem ocasionar problemas que podem afetar a saúde em determinado ambiente. Por isso é importante compreender os erros, encontrar suas fontes e estudar causas para que seja possível aplicar a correção necessária, ou caso o erro seja inevitável, conviver com ele obtendo informações confiáveis de um processo de medição.

2.3. Conceitos básicos de acústica em ambientes fechados

2.3.1. Tempo de reverberação

Em ambientes internos, dois campos sonoros são produzidos por uma fonte: um é o campo direto divergindo da fonte e o outro é o campo sonoro reverberante (Gerges, 2000). Um receptor irá receber primeiro o som direto, que percorre o caminho mais curto e logo após, os sons refletidos pelas paredes, tetos e objetos contidos no ambiente. Segundo Zwirner (2006), o ouvido humano não consegue distinguir dois sons se estiverem espaçados em um tempo de aproximadamente 0,06 s. Como as reflexões costumam ser mais rápidas do que esse limiar de perceptibilidade, as reflexões são entendidas como um prolongamento do som original.

O tempo de reverberação (TR) é definido como o tempo necessário para o nível de pressão sonora em uma sala diminuir em 60dB após ser interrompida a fonte de emissão (Harris, 1994).

Existem muitas fórmulas para o cálculo do tempo de reverberação, estudos feitos por Bistafa e Bradley (2000) e Neubauer (2001) mostram que não existe grande precisão na maioria dos resultados obtidos, pois são apenas aproximações do modelo real que não levam em consideração alguns parâmetros essenciais tais como objetos inclusos na sala e absorção do ar. A equação mais utilizada para o cálculo do TR foi elaborada pelo físico norte-americano Wallace Clement Sabine e é dada pela Eq. (1).

$$TR = \frac{0,161V}{A} \quad (1)$$

Onde:

TR = Tempo de reverberação (s)

V = Volume do recinto (m³)

A = Área de absorção sonora equivalente (m²)

A área de absorção sonora equivalente é dada pela Eq. (2).

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (2)$$

Onde:

α_i = Coeficiente de absorção de cada elemento construtivo

S_i = Área da superfície de cada elemento construtivo (m²)

Hohmann et al. (2004) propõem um complemento na fórmula de Sabine referente a absorção sonora equivalente, incluindo na fórmula a área dos elementos funcionais da sala (cadeiras, mesas e pessoas, etc.) abrangendo inclusive a atenuação sonora do ar. Com isso, a área de absorção sonora passa a ser calculada pela Eq. (3).

$$A = Ab + Ae + Ap + Al \quad (3)$$

Onde:

A = Área de absorção sonora equivalente (m²)

Ab = Área de absorção sonora equivalente das paredes (m²)

Ae = Área de absorção sonora equivalente dos objetos (m²)

Ap = Área de absorção sonora equivalente referente às pessoas (m²)

Al = Área de absorção sonora equivalente do ar no ambiente (m²)

Um estudo elaborado por Zannin et al. (2005) mostrou que os resultados obtidos com a fórmula de Sabine modificada obtiveram resultados mais próximos dos valores reais medidos in situ.

2.3.2. Modelo Geométrico

A teoria de ondas sonoras não é aplicável para a análise em médias e altas frequências, pois um grande número de modos aparece no decorrer de seu desenvolvimento, por isso, a teoria do modelo geométrico se mostra mais viável de ser aplicado. Embora não descreva totalmente todos os fenômenos presentes no ambiente, o modelo representa muito bem os aspectos mais importantes do ponto de vista prático. Esse modelo considera que os raios acústicos partem uniformemente da fonte se espelhando pelo ambiente. Com isso, ocorrem reflexões e a cada superfície que os raios entram em contato irão sofrer atenuação.

A teoria de raios acústicos considera que o som se propaga em forma de um raio, com propriedades semelhantes às encontradas na ótica geométrica (Gerges, 2000). Essa simplificação é possível considerado que o comprimento de onda é extremamente menor que as dimensões da sala onde ocorre. Porém, essa consideração pode não ser satisfatória em baixas frequências.

Uma frequência limite aceita por vários especialistas, acima da qual a teoria de raios acústicos é válida, é a frequência de Schroeder (Gerges, 2000), dada pela Eq. (4).

$$fc = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (4)$$

Onde:

T = Tempo de reverberação (s)

V = Volume da sala (m³)

2.3.3. Image-Source

O algoritmo Image-Source é o mais utilizado em ambientes retangulares tais como escritórios, escolas e casas. A exatidão da solução aumenta com o aumento da rigidez das paredes desses ambientes.

Esse algoritmo trata cada reflexão como uma fonte virtual, que está fora do ambiente e é constituída pela imagem da fonte, ao atravessar a parede. A imagem sofre perda de energia sonora correspondente ao coeficiente de absorção sonora da parede.

Com Image-Source é possível obter boa resolução temporal, porém, o tempo de cálculo computacional aumenta exponencialmente, além disso, o algoritmo não leva em conta os efeitos de difusão das reflexões ou espelhamento causado por superfícies irregulares. A Figura (2) mostra uma representação deste algoritmo.

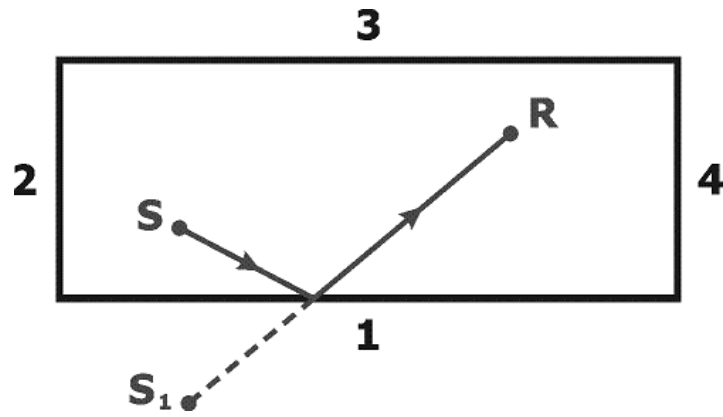


Figura 2. Representação da fonte virtual fora da sala (Gerges, 2000).

2.3.4. Ray-Tracing

O algoritmo Ray-Tracing resume-se em acompanhar o raio sonoro, respeitando a lei de Snell para reflexão. O método leva em consideração as reflexões difusas e requer um tempo de cálculo computacional apenas proporcional ao comprimento da resposta impulsiva, porém não oferece resultados com boa resolução temporal.

Um raio sonoro pode refletir de forma especular ou difusa. Pela lei de Snell quando reflete de forma especular, o raio incidente e o raio refletido estão no mesmo plano, e o ângulo de incidência é idêntico ao ângulo de reflexão. Conforme mostrado na Fig. (3). Quando ocorre a reflexão difusa o raio refletido distribui suas energias em todas as direções. Conforme mostrado na Fig. (4).

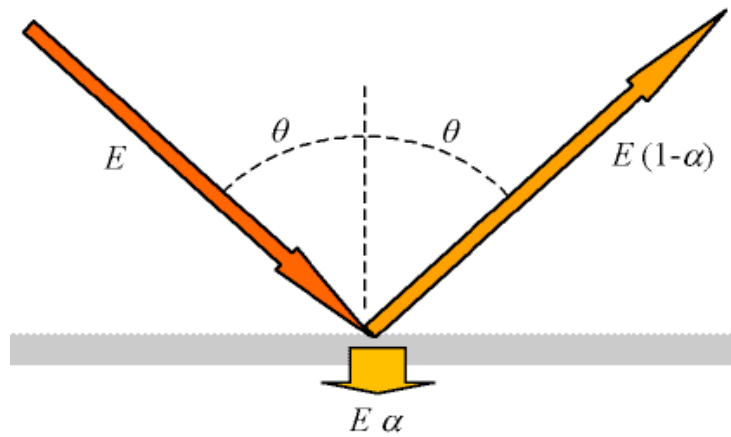


Figura 3. Representação de reflexão especular (Tenenbaum and Camilo, 2004).

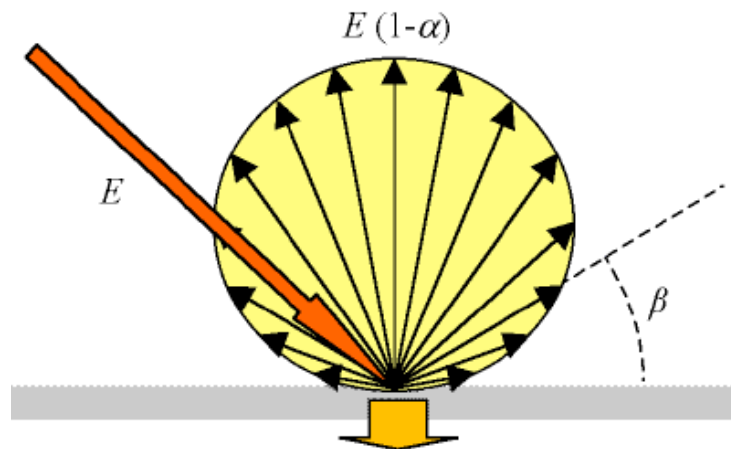


Figura 4. Representação de reflexão difusa (Tenenbaum and Camilo, 2004).

3. METODOLOGIA

Para a realização de testes com o intuito de avaliar acusticamente ambientes fechados, foram escolhidos três modelos de salas presentes na instituição de ensino, Cefet Divinópolis, onde o presente estudo ocorreu em sua totalidade.

O modelo I compreende a sala 118 que se localiza no prédio 1 da instituição. Projetada para ser parte da biblioteca, foi improvisada por tempo indeterminado como uma sala de aula. Suas dimensões diferem das salas do prédio 3, além de possuir uma de suas paredes montada com divisórias removíveis.

O modelo II engloba as salas 301, 303, 306, 308, 312, 314 e 323 que são localizadas no prédio 3 do campus. Estas foram projetadas para em acordo com o projeto padrão adotado para os novos campi.

O modelo III inclui as salas 310, 313e 321 que também são situadas no prédio 3 da unidade. Estas possuem as mesmas dimensões que o modelo II, porém, as salas deste foram projetadas para serem laboratórios. Por isso, possuem em uma de suas paredes um vidro com grandes dimensões.

Após a identificação dos modelos, foram realizadas medidas dimensionais em uma sala de cada exemplo, visto que, as outras seguem o padrão de seu próprio modelo. Essas mensurações foram realizadas para os cálculos de volume total de cada sala e da área de cada elemento construtivo e objetos presentes na mesma. Foram analisados também os materiais construtivos de cada elemento do ambiente para levantamento de seus coeficientes de absorção sonora. Com isso, torna-se possível o cálculo da equação de Sabine modificada para determinação do tempo de reverberação.

Para medir o nível de pressão sonora do ambiente fechado foram seguidos os procedimentos recomendados pela ABNT NBR 10151:2000. A sala foi avaliada em condições normais de uso, durante o horário de aula, com as janelas abertas e porta fechada. Para eliminar uma possível interferência foi escolhido um dia sem chuvas. O programa de computador Sound Generator foi utilizado como um gerador de sinais sonoros, o seu parâmetro de ajuste é a frequência sonora. Para os testes, os valores de frequência adotados correspondem as bandas de 1/3 de oitava, que são as mais próximas audíveis pelos humanos conforme mostrado na Fig. (1).

Os alto-falantes foram posicionados a uma altura de 1,60m, que é uma distância aproximada da boca de um professor em relação ao solo. Em relação às paredes e ao teto as caixas de som foram posicionadas a mais de 1,00m de distância conforme recomendação da norma.

A coleta dos dados foi realizada com o decibelímetro digital ICEL DL-4020 posicionado a 1,20m de distância para o chão, representando a altura dos ouvidos de um aluno sentado e a mais de 1,00m de separação de paredes e teto. Foram realizadas medições em cinco pontos diferentes da sala distantes entre si, das paredes e do teto em mais de 1,00m. Para uma melhor distribuição, a sala foi dividida em formato de X conforme mostrado na Fig. (5). Para cálculo de incerteza de medição conforme a norma, em cada ponto de medição foram realizadas três mensurações distantes entre si em 0,50m, a média aritmética desses valores medidos representa o nível de pressão sonora no ponto.

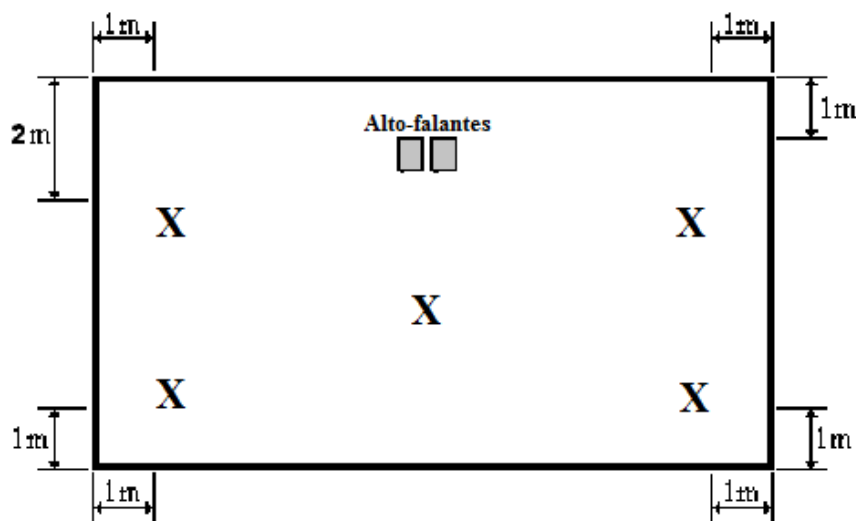


Figura 5. Posição dos alto-falantes e distribuição dos locais de medição com decibelímetro.

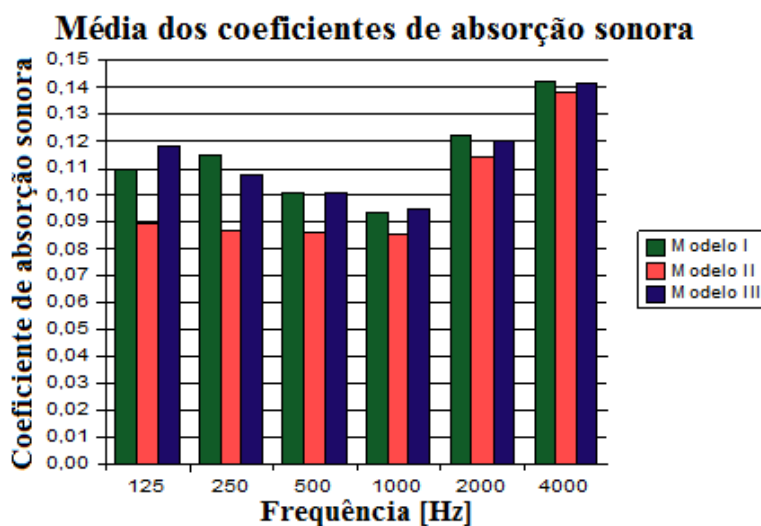
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ANSI S12.60:2002 estabelece que para salas vazias com volume total inferior a 283 m³ o tempo de reverberação ideal corresponde a 0,6 segundos. As salas avaliadas se enquadram nesta norma conforme mostra a Tab. (1).

Tabela 1. Valores medidos para o volume de cada sala.

Tipo de sala avaliado	Volume (m ³)
Modelo I	205,09
Modelo II	179,37
Modelo III	179,37

Para cada sala foram levantados seus respectivos materiais construtivos e suas dimensões para a aplicação na Eq. (3). Outro importante item a ser teoricamente avaliado é o coeficiente de absorção médio do ambiente. Para o cálculo do TR utilizando a equação de Sabine modificada esse coeficiente deve apresentar valores inferiores a 0,3. Essa condição também ocorre nas salas avaliadas conforme ilustra o gráfico mostrado na Fig. (6). Os valores encontrados variam entre 0,08 e 0,15.

**Figura 6. Média dos coeficientes de absorção sonora para os três modelos de sala.**

Então, aplicando a modificação sugerida pela Eq. (3) na Eq. (2) são encontrados os valores mostrados na Tab. (2).

Tabela 2. Valores calculados substituindo a Eq. (3) na Eq. (2).

$A = \sum a_i \cdot \alpha_i$	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Modelo I	22,33	20,85	25,00	23,99	25,99	25,78
Modelo II	14,40	13,26	21,17	21,22	22,38	23,03
Modelo III	14,99	13,61	21,12	21,04	22,07	22,65

Empregando os valores mostrados em Tab. (1) e Tab. (2) na Eq. (1), são obtidos os valores para o tempo de reverberação mostrados na Tab. (3).

Tabela 3. Valores calculados substituindo a Eq. (2) na Eq. (1).

Tempo de Reverberação	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Modelo I	1,48	1,58	1,32	1,38	1,27	1,28
Modelo II	2,01	2,18	1,36	1,36	1,29	1,25
Modelo III	1,93	2,12	1,37	1,37	1,31	1,28

Os valores calculados para o TR apresentam valores muito superiores ao 0,6s recomendado pela ANSI S12.60:2002. A falta de equipamento adequado para a medição do tempo de reverberação impossibilita a corroboração dos cálculos.

O método de coleta de dados utilizado para medir o nível de pressão sonora do ambiente representado pelo modelo II para cada valor de frequência apresenta os valores mensurados na Fig. (7).

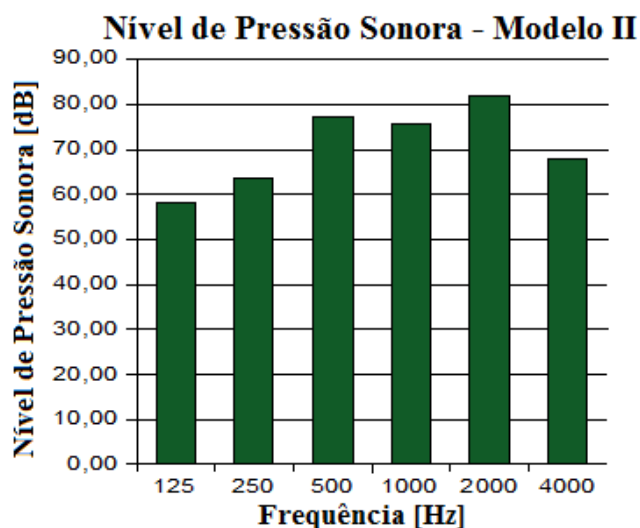


Figura 7. Média do nível de pressão sonora para as salas do modelo II

A ABNT NBR 10152:1987 recomenda que para sala de aula o nível de pressão sonora deve estar entre quarenta e cinquenta decibels de forma a oferecer conforto acústico aos seus ocupantes. Conforme apresentado na Fig. (7) os valores medidos pelo decibelímetro apresentam números superiores ao instituído pela norma. Portanto os ambientes analisados não apresentariam conforto acústico a seus ocupantes.

5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma revisão sobre normas de avaliação acústica de ambientes, e também mostrou o cálculo teórico do Tempo de Reverberação para ambientes fechado, usando como ambiente de estudo as salas de aula do CEFET-MG, campus V. Verificou-se também os conceitos de metrologia envolvidos no desenvolvimento do estudo.

É possível perceber que os valores dos tempos de reverberação calculados, apresentados na Tab. (3) estão bem acima dos valores recomendados pela norma. Estes resultados podem estar relacionados ao fato das salas de aula terem sido construídas sem nenhuma preocupação com a qualidade acústica das mesmas e também pelo fato de uma delas nem ter sido projetada para ser sala de aula. Outro fator que pode ter influenciado é a não realização de testes que corroborem os cálculos efetuados devido a falta de equipamentos necessários. Uma possível solução é a adequação dos ambientes as normas vigentes para garantir o conforto de seus ocupantes como, por exemplo, substituindo o vidro da parede das salas do modelo III por alvenaria rebocada e pintada.

O próximo passo no desenvolvimento do projeto será a realização de simulação dos ambientes estudados utilizando o programa computacional GID para criar virtualmente tal ambiente. Para tratá-lo acusticamente será utilizado o Helm3D, que permite a formação de uma matriz de equações de métodos de elementos de contorno, resolvendo-as utilizando rotinas de mínimos quadrados com base nas condições de contorno, pontos de campo e principais arquivos de entrada na interface do GID.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio recebido pelo CEFET-MG em parceria com a FAPEMIG e o INMETRO na forma de bolsa de iniciação científica.

7. REFERÊNCIAS

- Albertazzi, A.G.Jr., Sousa, A.R.de, 2008, "Metrologia Científica e Industrial", Ed. Manole, Barueri, Brazil, 428 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento, Rio de Janeiro, 2000, 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, Rio de Janeiro, 2005, 31p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico, Rio de Janeiro, 1987, 4p.
- Bistafa, S., Bradley, J., 2000, "Reverberation time and maximum background-noise level for classroom from a comparative study of speech intelligibility metrics". Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 107, No. 2, pp. 861-875.
- Gerges, S.N.Y., 2000, "Ruído: Fundamentos e Controle", 2nd ed., Ed. NR Consultoria e Treinamento, Florianópolis, Brazil, 700p.
- Harris, C. M., 1994, "Noise control in buildings", Ed. McGraw-Hill Book Company, Nova York, U.S.A. .

- Hohmann, R., Setzer, M. J., Wehling, M., 2004, “Bauphysikalische Formeln und Tabellen”. 4th ed, Ed. Werner Verlag, Düsseldorf, German, 473p.
- Inmetro, “Introdução”, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 15 Dec.2010 <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/>>
- Neubauer, R., 2001, “Classroom acoustics: do existing reverberation time formulae provide reliable values?”, Proceedings of the International Congress on Acoustics, Vol. 17, Rome, Italy.
- Zannin, P. H. T., Ferreira, A. M., Zwirtes, D. P., Nunes, E. L.S., Stumm, S. B., Töws, M., 2005, “Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos”, Ambiente Construído, Porto Alegre, Brazil, Vol. 5, No. 2, pp. 75-85.
- Zwirtes, D.P.Z., 2006, “Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: Estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná”, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil, 141p.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.