

ADEQUAÇÃO ACÚSTICA DE UM ESCRITÓRIO PANORÂMICO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DO STI E DO DL2.

Carolina Reich Marcon Passero (1); Paulo Henrique Trombetta Zannin (2)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, cal@onda.com.br

(2) Dr. Ing., Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, zannin@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, Curitiba-PR, 81540-420, Tel.: (41) 3361-3433

RESUMO

Com o grande número de empresas adotando a organização do espaço através de escritórios panorâmicos, constatou-se a necessidade de estudos relacionados ao conforto acústico dos ocupantes desses ambientes. Entre as fontes de maior incômodo em escritórios panorâmicos está a interferência da fala de um orador sobre um ouvinte situado na estação de trabalho próxima. Assim, esse trabalho tratou da avaliação acústica de um escritório panorâmico em diversas situações, combinando diferentes características arquitetônicas e de ruído ambiente. Tal avaliação foi realizada através de um modelo computacional calibrado de um escritório real. Para a avaliação acústica do escritório em questão, foi simulada a taxa de decaimento dos níveis de pressão sonora por dobro da distância (DL2) e o índice de transmissão da fala (STI), o qual permitiu a obtenção do raio de distração (rD). Esses parâmetros foram simulados para seis situações, combinando diferentes materiais de revestimento do piso e do teto e retirando ou inserindo divisórias entre as estações de trabalho. Além disso, para o STI e o rD, esses parâmetros foram simulados com duas condições de ruído ambiente. Para isso, foram utilizados níveis de pressão sonora encontrados em escritórios reais. Os resultados obtidos mostraram que o DL2 e o rD são parâmetros acústicos adequados para a avaliação e a adequação acústica de um escritório panorâmico, apesar de ainda haver a necessidade da análise do mapa do STI para informações adicionais. O DL2 mostrou-se fortemente influenciado pela existência ou ausência de divisórias entre as estações de trabalho e pelo material de acabamento do teto, já o rD apresentou mudanças mais significativas com a alteração do ruído ambiente.

Palavras-chave: escritórios panorâmicos, avaliação acústica, condicionamento acústico.

ABSTRACT

Worldwide, there is a large number of business offices organized as open plan offices. Thus, studies related to the acoustical comfort of the people who work in those offices is increasingly relevant. The interference caused by the speech of one speaker on a listener located at a nearby workstation is among the most relevant sources of annoyance for those people. Thus, this work dealt with the acoustical evaluation of an open plan office under several combinations of architectural characteristics and of ambient noise. This evaluation has been performed through a computational model calibrated from a real office. The rate of spatial decay of sound pressure levels per distance doubling (DL2) and the speech transmission index (STI) have been simulated for the acoustical evaluation of the office, allowing the determination of the radius of distraction (rD). These parameters have been simulated for 6 situations, for different floor and ceiling coverage materials, and inserting or withdrawing screens between workstations. In addition, STI and rD have been simulated under two conditions of ambient noise. For that purpose, noise pressure levels found in real offices have been employed. Results have shown that DL2 and rD are acoustical parameters adequate for the evaluation and the acoustical improvement of an open plan office. Still, an analysis of the grid of STI is needed, for additional information. DL2 was strongly influenced by the presence or absence of screens between workstations, and by the ceiling coverage material. RD was more sensitive to changes in ambient noise.

Keywords: open plan offices, acoustical evaluation, acoustical improvement.

1. INTRODUÇÃO

O padrão de escritórios panorâmicos, ou “bürolandschaft”, foi criado pelos irmãos Schnelle, na Alemanha, por volta do ano de 1955 (DUFFY, 1980). Esse tipo de escritório surgiu baseado em alguns fundamentos, os quais relacionam os princípios de desenho com os princípios de organização. O escritório panorâmico original era um espaço totalmente aberto (sem divisões entre os postos) nem sequer para os gerentes. Entretanto, apenas os primeiros escritórios alemães não possuíam partições ou divisórias entre os grupos ou estações de trabalho, a característica do mobiliário dos escritórios panorâmicos logo assumiu divisórias a meia altura (PEJTERSEN et al., 2006).

Como uma conseqüência do desenvolvimento de escritórios panorâmicos durante as décadas de 1950 e 1960 nos países ocidentais, numerosos estudos foram realizados dos efeitos do ruído em escritórios, em relação ao ruído de máquinas e equipamentos e da presença de vários trabalhadores em um mesmo ambiente (CHIGOT, 2005). Na década de 1970 e início de 1980, relatórios de ocupantes de escritórios panorâmicos relatavam a falta de privacidade e incômodo pelo ruído provocado por colegas de trabalho (PEJTERSEN et al., 2006). Mesmo quando medições objetivas mostraram que o ruído de fundo das conversas no recinto não estava excessivamente elevado (aproximadamente 50 dB), esse ruído causava distração aos funcionários (VAN DER VOORDT, 2004).

Hongisto, Virjonen e Keränen (2007) afirmam que não é o nível sonoro da fala que determina os seus efeitos de distração, mas a sua inteligibilidade. A fala é a fonte sonora de maior distração, pois ocorre de forma imprevista, sua intensidade é variável e possui a maior possibilidade de conteúdo de informação dos sons existentes no escritório. Em estudo realizado por Kjellberg (1996), o grau de distração dos funcionários se mostrou mais relacionado aos eventos sonoros, capacidade de controle do ruído e previsibilidade do ruído que aos níveis sonoros. Krajcarz (2007) afirma que para um escritório ser considerado um ambiente aceitável pelos usuários, eles devem ter a certeza que estão sendo entendidos e que suas conversas permaneçam confidenciais, características que tendem a ser requisitos paradoxais.

Segundo Egan (1988), a privacidade da fala é influenciada por três fatores: fonte, meio e receptor. Em relação ao meio, o ambiente acústico de escritórios panorâmicos pode ser incrementado tecnicamente por três fatores principais: 1) a absorção da sala, a qual evita a reverberação e reflexões recentes; 2) as barreiras, que controla o som direto; 3) o mascaramento artificial do som, o qual proporciona um ambiente sonoro uniforme e reduz o incômodo causado por estações de trabalho próximas (HONGISTO; KERANEN; LARM, 2004).

A privacidade da fala e o incômodo, causados pela fala dos colegas, podem ser descritos pela inteligibilidade da fala entre estações de trabalho. Alguns estudos em laboratório e em campo avaliaram apenas estações de trabalho vizinhas, entretanto, segundo Hongisto, Virjonen e Keränen (2007), a avaliação deve abranger todo o espaço do escritório, uma vez que o incômodo ao ruído não está restrito às estações mais próximas. Asselineau (2007) afirma que a inteligibilidade da fala deve ser boa localmente, a fim de promover a conversação de membros de um mesmo grupo. Entretanto, conforme aumenta a distância do orador, a inteligibilidade deve se tornar mais pobre.

Segundo Bradley (2007), enquanto medições do índice de articulação (AI) são utilizadas para indicar a privacidade da fala em escritórios norte americanos, normalmente são utilizados valores do índice de transmissão da fala (STI) nos escritórios europeus. A norma IEC 60268-16 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2003) define o STI como a “quantia física que representa a qualidade de transmissão do discurso em relação à inteligibilidade” (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2003, p. 6, tradução nossa). A mesma norma caracteriza o STI como uma medida objetiva, baseada no peso da contribuição de um número de bandas de frequência dentro da faixa de frequência dos sinais da fala, sendo que essas contribuições são ajustadas pela relação sinal-ruído efetiva. Segundo Harris (1998), O STI é similar ao índice de articulação (AI), porém tem aplicação mais geral, pois considera os efeitos do tempo de reverberação e do ruído para determinação da inteligibilidade da fala.

Em estudo realizado por Hongisto, Virjonen e Keränen (2007), dois descritores principais foram determinados através de dados de medição para a avaliação de escritórios: 1) raio de distração, rD; 2) taxa de decaimento espacial da fala, DL2.

Através das medições do STI, pode ser obtido o raio de distração, rD (m). O raio de distração foi definido como a distância do orador onde o STI é menor que 0,5 (HONGISTO; VIRJONEN; KERÄNEN, 2007). Esses autores realizaram recomendações preliminares para o rD através de estudos. Assim, para que um escritório seja considerado acusticamente excelente, o rD deve ser inferior a 5m. Escritórios com rD superior a 11m são considerados acusticamente pobres segundo estudos realizados por Hongisto, Virjonen e Keränen (2007).

Segundo a norma ISO 14257 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001), a taxa de decaimento dos níveis de pressão sonora por dobro da distância (DL2) é o declive, em decibéis por dobro da distância, da curva de distribuição espacial do som para uma dada faixa de distâncias (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001). Segundo Ondet e Suer (1995), o DL2 é independente da potência da fonte. Esse parâmetro é bastante dependente da reverberação da sala: um valor de 0 dB corresponde ao caso de uma sala muito reverberante; enquanto um valor de 6dB corresponde ao caso de uma sala tratada de forma ideal, correspondente ao campo aberto.

Para Chigot (2007), o DL2, originalmente aplicado em indústrias, mostrou-se um descritor consistente e realista das condições acústicas de escritórios panorâmicos. Segundo o mesmo autor, o DL2 vem sendo incluído em normas da qualidade acústica de edifícios. A norma francesa NF S31-080, publicada em 2006, propôs a utilização do DL2 para avaliar grandes escritórios (volume superior a 300m³). Essa norma limita o uso do DL2 para escritórios com distâncias entre paredes inferior a 6m, sendo que, nesse caso, deve ser utilizado o tempo de reverberação. Essa norma especifica valores de DL2 conforme a exigência de desempenho dos funcionários: desempenho padrão, DL2>2dB(A); desempenho eficiente, DL2>3dB(A); alto desempenho, DL2>4dB(A) (CHIGOT, 2007).

Para Hongisto, Virjonen e Keränen (2007), na maioria dos casos, DL2 e rD são suficientes para descrever as condições acústicas de um escritório panorâmico.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar e discutir a variação dos parâmetros acústicos DL2 e STI (através do qual é obtido o rD), conforme são alterados parâmetros arquitetônicos e de ruído ambiente, através de um modelo computacional calibrado de um escritório panorâmico real.

3. MÉTODO

Através de um modelo computacional calibrado de um escritório real, foram obtidos os parâmetros acústicos STI e DL2. A calibração do modelo computacional foi realizada através da comparação entre dados de medição in situ do TR e dados da simulação computacional do escritório nas condições reais. Após a calibração, foram realizadas alterações nas características arquitetônicas e de ruído ambiente a fim de verificar o comportamento dos parâmetros acústicos STI e DL2 diante de tais modificações.

3.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho foi um escritório panorâmico de uma grande empresa multinacional.



Figura 1 – Vista interna do escritório estudado.

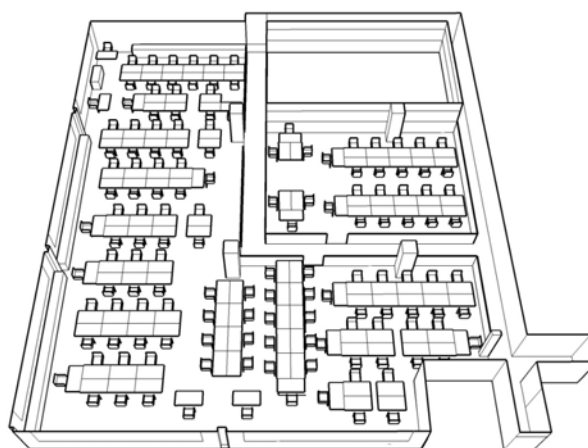


Figura 2 – Modelagem em 3D do escritório estudado.

As principais características arquitetônicas deste escritório estão na tabela 1.

Tabela 1– Características arquitetônicas principais do escritório estudado.

Características Reais	
Área (m ²)	613,03
Volume (m ³)	1716,48
Nº de estações de trabalho	147
Área/estação (m ² /estações)	4,17
Pé- direito dominante (m)	2,80
Material do teto (1)	0,49
Material do piso (1)	85% (2): 0,18 15% (2): 0,01

(1) α médio entre as frequências em banda de oitava de 125 a 4000 Hz. (2) Porcentagem da área total do piso coberta com material com tal α .

Como pode ser observado na figura 1, o escritório em questão não apresentava divisórias entre as estações de trabalho. O teto era revestido por forro de lã mineral e o piso era revestido por carpete na área de mesas e por cerâmica na área dos corredores. As mesas eram de madeira aglomerado revestidas por laminado melamínico de alta pressão.

3.2. Simulações computacionais

As simulações computacionais foram realizadas através do software Odeon 9.0. Esse software utiliza o método híbrido, no qual as reflexões recentes são calculadas utilizando uma combinação do método de imagem da fonte e de raios espalhados iniciais. Após a ordem de transmissão (TO), as reflexões são calculadas utilizando o método de traçado de raios.

Para a simulação dos parâmetros acústicos, foi necessário, primeiramente, modelar o escritório em três dimensões. Para isso, foi utilizado o programa computacional SketchUp 6 (Google). Os elementos modelados foram os seguintes: paredes, divisórias, piso, teto e mobiliário. O mobiliário foi modelado de forma simplificada, pois, segundo Bork (2000), uma resolução geométrica muito elevada pode reduzir a precisão de cálculo. Além disso, em estudo realizado por Naylor e Rindel (1992) utilizando o software Odeon, os autores observaram que se devem evitar superfícies muito pequenas e desnecessárias, ao invés disso, deve-se optar por uma aproximação geral das formas do ambiente.

Para se obter uma simulação precisa, era de grande importância a utilização de parâmetros de cálculo adequados. A maioria dos parâmetros de cálculo foi definida pelo próprio Odeon 9.0, restando à escolha parâmetros essenciais, como os materiais das superfícies (α), coeficientes de difusão das superfícies (δ), definições de fonte e receptor (localização e características), entre outros.

Um parâmetro muito importante que deve ser sempre especificado pelo usuário é o comprimento da resposta impulsiva. Esse comprimento deve cobrir pelo menos 2/3 da curva de decaimento, ou seja, ser próximo ao tempo de reverberação estimado. Assim, através dos valores medidos de TR, foi especificado o comprimento da resposta impulsiva.

Outro parâmetro de cálculo que deve ser escolhido pelo usuário é o método de espalhamento. No Odeon 9.0 existem três opções: Lambert, sem espalhamento e espalhamento total. Se o método de espalhamento escolhido for o de Lambert, todas as direções das reflexões recentes serão calculadas utilizando os coeficientes de espalhamento indicados às superfícies na lista de materiais. Se o método for definido como sem espalhamento, o espalhamento não é considerado, então todas as reflexões serão calculadas como especular. Finalmente, se definido como espalhamento total, 100% de espalhamento será aplicado em todas as superfícies, sendo que esse método não é aconselhável (CHRISTENSEN, 2003). Para Rindel (2000) a atribuição de coeficientes de espalhamentos a superfícies em simulações computacionais se

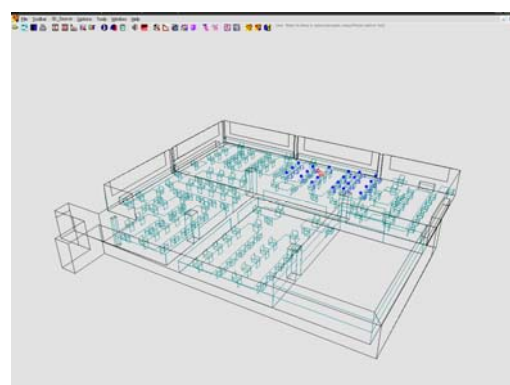


Figura 3 –Área de trabalho do software Odeon 9.0.

mostrou essencial para a obtenção de resultados confiáveis. Assim, optou-se pelo método de espalhamento de Lambert para todas as simulações neste trabalho.

3.2.1 Calibração do modelo computacional

A Calibração do modelo computacional foi realizada através da comparação de dados medidos e simulados do tempo de reverberação (TR) no escritório em estudo. Para a obtenção dos valores de TR simulados, fontes e receptores foram localizados nos mesmos pontos da medição. A medição foi realizada com o auxílio do software Dirac, o qual calcula os parâmetros acústicos de uma sala através da resposta impulsiva a um ruído gerado em seu interior.

Durante a calibração, os dados manipulados foram os coeficientes de absorção (α) e de espalhamento (δ) das superfícies da sala. Segundo Katz e Wetherill (2007), o procedimento de calibração em simulações significa o refinamento das propriedades acústicas dos materiais.

No Odeon 9.0, o coeficiente de espalhamento estipulado para uma superfície particular é válido para todas as frequências. Durante a calibração do modelo foram realizadas experimentações com diferentes coeficientes de espalhamento. Após o modelo calibrado, para as outras simulações, os coeficientes de espalhamento de todas as superfícies foram mantidos. No caso de inserção de novas superfícies, foi atribuído a essas o coeficiente de espalhamento da maioria das superfícies existentes no modelo.

Além do coeficiente de espalhamento, devem ser atribuídos a cada superfície coeficientes de absorção. Esses coeficientes são inseridos no Odeon 9.0 para cada frequência em banda de oitava de 63 a 8000 Hz. A incerteza na escolha dos coeficientes de absorção é um fator de erro muito comum nas simulações computacionais. Isso ocorre tanto por falta de precisão na medição dos dados de absorção ou por haver erros na seleção do material construtivo no momento da simulação. Assim, é aconselhável que os coeficientes incertos dos materiais sejam ajustados até que a simulação tenha valores próximos àqueles encontrados na medição (CHRISTENSEN, 2003). As propriedades de absorção dos materiais contidas na biblioteca do Odeon 9.0 podem ser consideradas confiáveis segundo seu autor (CHRISTENSEN, 2003). Para este trabalho, para a maioria dos materiais que compõe o escritório, foram utilizados os coeficientes de absorção existentes na biblioteca do Odeon 9.0. Foram selecionados os materiais com descrição semelhante aos materiais existentes no escritório. Durante a calibração do modelo, alguns materiais, e seus coeficientes de absorção, foram substituídos por outros semelhantes a fim de se obter resultados próximos aos medidos. Assim como para os coeficientes de espalhamento, uma vez o modelo calibrado, os coeficientes de absorção foram mantidos para as outras simulações. Somente os materiais substituídos, materiais do teto e do piso; para verificação do comportamento do som no interior das salas, tiveram seus coeficientes de absorção alterados nas simulações realizadas após a calibração.

Para a verificação da precisão do modelo, foi utilizado o desvio padrão e a média espacial dos pontos medidos no escritório. Os dados simulados deveriam estar próximos ao intervalo da média + ou - o desvio padrão ($M \pm \sigma$). Comparações semelhantes foram realizadas em estudos desenvolvidos por Vorländer (1995), mas apenas para a frequência de 1000 Hz. O gráfico a seguir apresenta os valores médios de TR medidos e simulados, assim como $M \pm \sigma$ dos valores medidos.

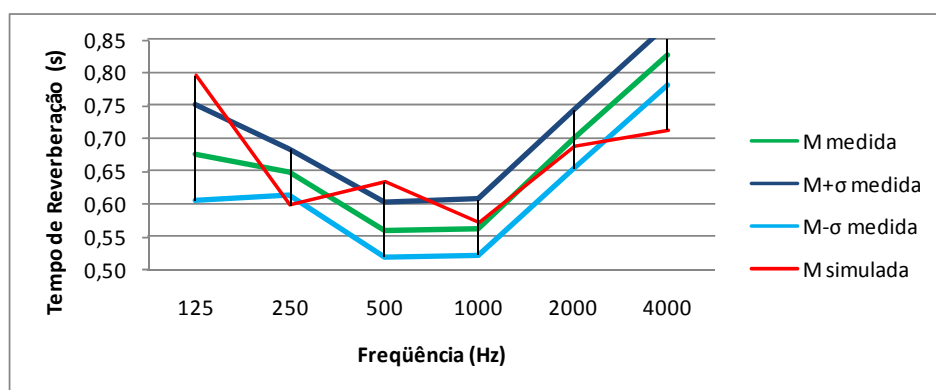


Figura 4 – Calibração do modelo computacional. TR medido e simulado.

Buscou-se uma melhor calibração do modelo na frequência de 1000 Hz, pois essa é a frequência dominante dos sons no escritório em estudo. Percebeu-se certa dificuldade de calibração do modelo computacional, para todas as frequências em banda de oitava de 125 a 4000 Hz, por limitações do software Odeon 9.0, discutidas por Passero (2009).

3.2.2 Simulações com Intervenções

Para as simulações do STI com as alterações arquitetônicas e de ruído ambiente, a fonte foi locada em uma posição, posto de trabalho de um orador, e os receptores em uma malha de 0,50 m X 0,50 m. Após a simulação, através do grid calculado, foi obtido o raio de distração (rD). Esse raio foi obtido com o auxílio do software AutoCad (Autodesk). Os grids calculados nas simulações com o Odeon 9.0 foram transferidos para o AutoCad, nesse programa foi desenhado um círculo nos pontos em que o STI fosse igual a 0,5. Adotou-se como critério que dentro do círculo o STI poderia ser menor que 0,5, mas fora desse círculo não poderia ser maior que 0,5. Obtido o círculo, seu raio foi medido no próprio AutoCad. Optou-se por esse parâmetro, pois ele gera um valor único, sendo independente da posição do receptor na sala, ao contrário do STI. Entretanto, além da discussão do rD obtido, o grid do STI também foi analisado, pois revela dados importantes do comportamento do som no interior da sala.

No caso do DL2, o Odeon 9.0 calcula esse parâmetro para cada banda de frequência de 63 Hz a 8kHz e o DL2,Co, que é a taxa de decaimento com ponderação em A para as frequências de 125 a 4000 Hz. Para cada valor é calculado um coeficiente de correlação, se esse coeficiente estiver muito baixo é indicativo que a posição de fonte e receptores está incorreta. Para a análise dos dados, neste trabalho, foi utilizado apenas o DL2,Co, pois apresenta os resultados de redução do ruído pela distância através de um número único. Nessa simulação, fonte e receptores foram posicionados a 1,20 m de altura, o que equivale a altura média de uma pessoa sentada. Abaixo da linha imaginária que liga fonte e receptores não poderia existir qualquer obstáculo (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001). Assim, mobiliário e divisórias no trajeto fonte- receptor foram alterados para transparentes no próprio Odeon 9.0, na seleção de materiais. Foi utilizado esse recurso, pois objetos alterados para transparentes são considerados como inexistentes e não influenciam nos cálculos dos parâmetros acústicos. A norma ISO 14257 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001) determina que entre os receptores e objetos ou superfícies verticais deve existir uma distância mínima de 1,5 m. Já para a fonte, essa distância deve ser de 3,00 m. Esses parâmetros da norma foram observados nas simulações. A variação de distância entre a fonte e os receptores pode seguir um incremento constante ou logarítmico. Além disso, a norma aconselha que os receptores estejam localizados na região média, ou seja, distantes de 5 a 16 m da fonte. Assim, foram utilizados 12 pontos receptores, distantes de 5 a 16 m da fonte, com incremento de distância constante igual a 1 m.

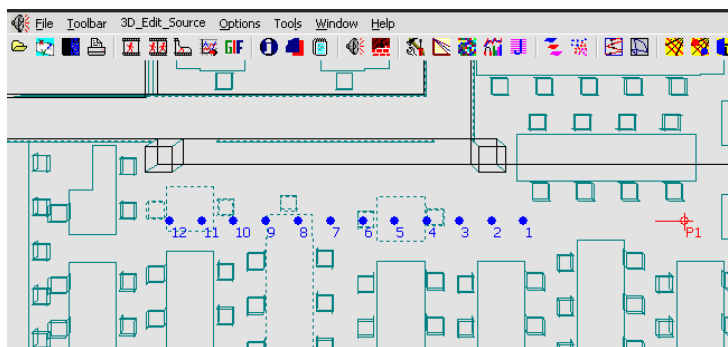


Figura 5 – Simulação do DL2 no software Odeon 9.0. P1 representa a fonte sonora, os pontos de 1 a 12 são os receptores. As linhas tracejadas são superfícies transparentes para o Odeon 9.0.

A fonte utilizada para a simulação do DL2 é do tipo pontual onidirecional (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001). Já para a simulação do STI foi utilizada uma fonte com diretividade semelhante a da boca humana (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2003).

As modificações arquitetônicas realizadas nas simulações do escritório dizem respeito ao material das superfícies do teto e do piso e existência ou ausência de divisórias. Além disso, foram realizadas modificações do nível de ruído ambiente, essas válidas apenas para as simulações do STI. Foram obtidas seis simulações do DL2 e doze simulações do STI, pois para cada condição física do ambiente o STI foi simulado com dois níveis de ruído ambiente. Esses níveis de ruído equivalem a níveis de pressão sonora médio encontrados em escritórios reais. A tabela a seguir apresenta as modificações realizadas no escritório nas seis situações simuladas.

Tabela 2 Características das mudanças físicas e nível de pressão sonora utilizado nas simulações.

Características	Situação A	Situação B	Situação C	Situação D	Situação E	Situação F
Material do teto (1)	0,81	0,81	0,02	0,81	0,81	0,02
Material do piso (1)	0,18	0,01	0,01	0,18	0,01	0,01
Altura das divisórias entre estações (m)	-	-	-	1,30	1,30	1,30
Material das divisórias entre estações (1)	-	-	-	0,10	0,10	0,10
Nível de pressão sonora (dB(A))	64,1	64,1	64,1	64,1	64,1	64,1
	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4

1) α médio entre as frequências em banda de oitava de 125 a 4000.

Assim, de acordo com a tabela 2, as situações A, B e C foram caracterizadas pela ausência de divisórias entre as estações de trabalho. Opostamente, as situações D, E e F foram caracterizadas pela existência de divisórias entre as estações. Foram utilizadas divisórias com altura de 1,30m, em madeira revestida por laminado melamínico de alta pressão. Esse tipo de divisória é comumente encontrado no mercado, sua altura é superior a altura utilizada nas simulações para a fonte sonora (1,20 m) e mantém a característica de ambiente panorâmico do escritório.

As situações A e D apresentam o mesmo material de acabamento para o teto e o piso. Para o teto foi utilizado forro acústico com elevada absorção, principalmente nas altas frequências. Para o piso foi utilizado carpete de alta densidade. Nas situações B e E foi utilizado o mesmo forro que nas situações anteriores, apenas o material do piso foi substituído por cerâmica. Para as situações C e F foi retirado o forro e optou-se pela utilização de laje, para o piso foi utilizada a cerâmica. Optou-se pela alteração dos materiais do teto e do piso por serem as maiores superfícies nos escritórios e que, segundo a literatura, provocam maior impacto no ambiente sonoro de construções desse tipo.

Para as seis situações físicas do ambiente o STI foi simulado com dois níveis de ruído de fundo, 64,1 dB(A) e 55,4 dB(A). Essas combinações de materiais, situação de divisórias e nível de pressão sonora são comumente encontrados em escritórios reais.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Da combinação dos elementos construtivos: material do teto e do piso e ausência/existência de divisórias, sugeriram seis situações de simulação, nomeadas A, B, C, D, E, F. Para cada uma dessas situações, foram inseridos dois NPS, 64,1 e 55,4 dB(A), para a simulação do STI, da qual foi obtido o rD, resultando em doze valores de rD. A caracterização das situações simuladas podem ser vistas na tabela 2, e os valores obtidos para o rD e o DL2 na tabela 3, a seguir.

Tabela 3 Valores de rD e DL2, Co simulados no escritório.

Parâmetro Acústico	Situação A	Situação B	Situação C	Situação D	Situação E	Situação F
rD (m)	1,15	1,15	1,15	1,00	1,00	1,10
	2,35	2,35	2,35	2,35	1,75	1,75
DL2, Co (dB(A))	3,11	3,18	2,29	4,40	4,33	2,83

Nota: A primeira linha dos valores de rD apresenta os resultados obtidos nas simulações com NPS de 64,1 dB(A). A segunda linha apresenta os valores obtidos nas simulações com NPS de 55,4 dB(A).

Observando os valores de rD, tabela 3, percebe-se que quando o ruído ambiente é elevado, 64,1 dB(A), o material utilizado no teto e no piso praticamente não interfere na inteligibilidade da fala, além disso, com tais níveis de ruído, a inserção de divisórias causaram redução de apenas 15cm no rD. Quando o ruído ambiente é reduzido para 55,4 dB(A), há um aumento significativo da inteligibilidade da fala, aumentando os valores de rD. Com esse ruído, nas simulações sem divisórias, situações A, B e C, não houve interferência do material de acabamento do piso e do teto nos valores de rD, mantendo-se inalterados para as três situações em 2,35m. Quando inseridas as divisórias, na situação D, o rD se manteve igual ao das situações sem divisória. Entretanto, há grande diferença em relação aos postos de trabalho com maior inteligibilidade na situação A e D, como pode ser visto nas figuras 5 e 6. Na figura 5, situação A, percebe-se

que os postos de trabalho mais afetados pela fala do orador estão a sua frente, já na figura 6, situação D, observa-se a maior inteligibilidade nos postos de trabalho na parte posterior e lateral do orador.

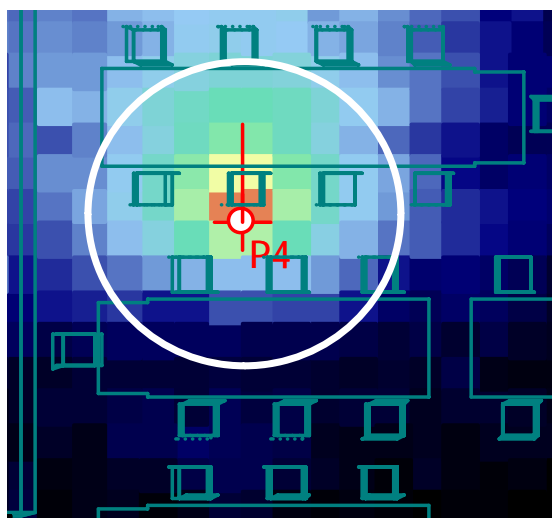


Figura 6 - STI simulado, situação A, com ruído fraco. P4 representa a fonte sonora, e o círculo branco ao seu redor representa o raio de distração. A linha mais longa em P4 indica a direção da fonte sonora.

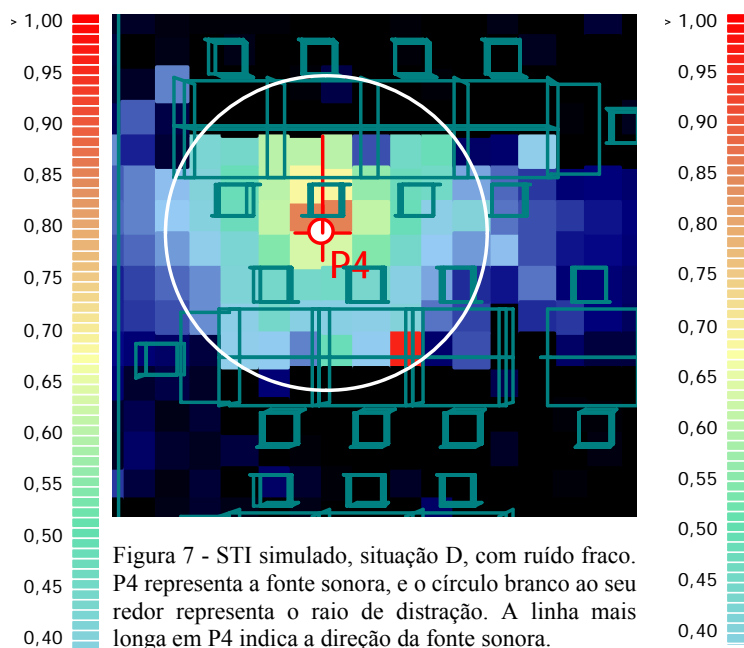


Figura 7 - STI simulado, situação D, com ruído fraco. P4 representa a fonte sonora, e o círculo branco ao seu redor representa o raio de distração. A linha mais longa em P4 indica a direção da fonte sonora.

Nas situações E e F, com ruído de fundo de 55,4 dB(A), observou-se uma redução do rD em relação aos valores encontrados para a sala nas situações sem divisórias e na situação D. Essa redução pode ser explicada pela redução da inteligibilidade devido a redução da absorção sonora, se comparada a situação D, e através da limitação da voz do orador causada pelas divisórias, se comparada às situações A, B e C.

Segundo Hongisto, Virjonen e Keränen (2007), para um escritório ser considerado excelente acusticamente, os valores de rD devem ser inferiores a 5m. Assim, segundo essa classificação, o escritório pode ser classificado como acusticamente excelente em todas as situações simuladas.

Em relação ao DL2, observando a tabela 3, percebe-se que esse parâmetro possui grande influência do material de acabamento do piso e do teto e da inserção/retirada das divisórias entre estações de trabalho. O maior DL2 foi encontrado para a situação D, ou seja, com revestimento de material acústico tanto no piso quanto no teto, além da existência de divisórias entre as estações de trabalho. O menor DL2 foi encontrado para a situação oposta, situação C, com material refletivo no piso e no teto e sem divisórias entre as estações de trabalho. Através desses dados, pode-se afirmar que para se obter elevada redução do som com a distância, o ambiente do escritório deve possuir: absorção sonora considerável e divisórias entre as estações de trabalho.

Se os valores de DL2 simulados forem comparados aos valores especificados pela norma francesa, NF S31-080 (CHIGOT, 2007), o escritório nas situações D e F seria adequado para atividades que exigissem alto desempenho dos funcionários. O escritório nas situações D e F é caracterizado pela existência de divisórias entre as estações de trabalho e absorção acústica considerável no teto e no piso (situação D) ou somente no piso (situação E). Quando são retiradas as divisórias do modelo, mantendo-se o mesmo material para o teto e o piso das situações D e F, situações A e B, o escritório pode ser considerado adequado para atividades que exijam desempenho eficiente, segundo a norma francesa. Já nas situações C e F, situações caracterizadas pela inexistência de material acústico tanto no teto como no piso, o escritório é considerado adequado apenas para atividades que exijam desempenho padrão, independente do escritório possuir divisórias (situação F) ou não (situações C).

5. CONCLUSÕES

Através dos dados obtidos, constatou-se que o rD e o DL2 são parâmetros adequados para a avaliação acústica de um escritório panorâmico, nas diversas situações de condicionamento acústico e de ruído ambiente simulados. Além disso, o modelo computacional calibrado se mostrou uma ótima ferramenta para o estudo do condicionamento acústico de um escritório panorâmico. Tal constatação foi também verificada em estudos realizados por Zannin, Passero e Sant'Ana (in press).

A vantagem do rD em relação ao STI está no fato daquele caracterizar a inteligibilidade da fala em um escritório através de um número único. Entretanto, o rD não permite observar as estações de trabalho mais afetadas pela fala de um orador, como é possível verificar nos mapas de STI, figuras 5 e 6. Assim, para a organização espacial dos grupos de trabalho em um escritório panorâmico, faz-se necessária a análise dos mapas de STI. Isso para que a organização do espaço proporcione razoável inteligibilidade entre os participantes dos grupos e para que exista privacidade da fala entre os grupos de trabalho.

Observando os valores de rD, vê-se que esse parâmetro possui grande dependência do nível de pressão sonora do ambiente. Quando o ruído no local é elevado, valor próximo a 65 dB(A), os valores de rD são reduzidos. Com esse NPS, observou-se que a mudança dos materiais de acabamento praticamente não alteram os valores de rD e a inserção/retirada das divisórias provocam pouca alteração nesse parâmetro, já que o raio de distração é muito pequeno. Reduzindo o valor do NPS para aproximadamente 55 dB(A), há aumento significativo da inteligibilidade da fala e conseqüentemente há aumento do rD.

Para o DL2, percebeu-se grande influência desse parâmetro com a inserção/retirada das divisórias. Nas situações com divisórias, os valores de DL2 simulados foram superiores aos simulados nas demais situações. Além disso, observou-se redução considerável do DL2 quando retirado o material acústico do teto e do piso, tanto na situação com divisórias (situação F), como na situação sem divisórias (situação C).

Em relação aos dados registrados na literatura para comparação com os valores encontrados nesse trabalho, os valores estipulados para o DL2 pela norma francesa pareceram compatíveis aos valores encontrados neste trabalho para as seis situações simuladas. Entretanto, para o rD, a classificação sugerida por Hongisto, Virjonen e Keränen (2007) pareceu inadequada para a classificação das situações simuladas neste escritório, sendo que, segundo esses autores, para todas as situações simuladas, o escritório seria classificado como acusticamente excelente considerando os valores de rD obtidos.

6. REFERÊNCIAS

- ASSELINIAU, M. Integration of Furnishing in Open Plan Office Design: Case Studies. In: International Congress on Acoustics, 19., 2007, Madrid. **Anais eletrônicos...** United Kingdom: Institute of Acoustics, 2007. Disponível em http://www.sea-acustica.es/WEB_ICA_07/fchrs/papers/rba-10-010.pdf. Acesso em 22 out. 2008.
- BORK, I. A. Comparison of Room Simulation Software- The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation. **Acta Acustica**, Stuttgart, v. 86, p. 943-956, 2000.
- BRADLEY, J. S. Designing and Assessing Speech Privacy in Open-plan Offices. In: International Congress on Acoustics, 19., 2007, Madrid. **Anais eletrônicos...** United Kingdom: Institute of Acoustics, 2007. Disponível em http://www.sea-acustica.es/WEB_ICA_07/fchrs/papers/rba-10-007.pdf. Acesso em 24 out. 2008.
- CHIGOT, P. Alternative Room Acoustic Descriptors for Open Offices- Progresses in Standardization. In: International Congress on Acoustics, 19., 2007, Madrid. **Anais...** United Kingdom: Institute of Acoustics, 2007. PACS 43.55.
- _____. Effects of sound in offices: subjective experience vs objective assessment. **Facilities**, Bradford, v. 23 n. 3/4, p. 152-163, 2005.
- CHISTENSEN, C. L. **Odeon Room Acoustics Program**: Version 7.0, Industrial, Auditorium and Combined Editions. Denmark: Technical University of Denmark, 2003.
- DUFFY, F. **Oficinas**. Madrid: H. Blume Ediciones, 1980.
- EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw Hill, 1988.
- HARRIS, C. M. **Handbook of acoustical measurements and noise control**. USA: Acoustical Society of America, 1998.
- HONGISTO, V.; KERANEN, J.; LARM, P. Simple model for acoustical design of open-plan offices. **Acta Acustica**, Stuttgart, v. 90, p. 481- 495, 2004.
- HONGISTO, V.; VIRJONEN, P.; KERÄNEN, J. Determination of Acoustic Conditions in Open Offices and Suggestions for Acoustic Classification. In: International Congress on Acoustics, 19., 2007, Madrid. **Anais...** United Kingdom: Institute of Acoustics, 2007. CD-ROM.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60268- 16**: Sound system equipment- Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Switzerland, 2003.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14257**: Acoustics- Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance. Switzerland, 2001.
- KATZ, B. F. G.; WETHERILL, E. A. The Fall and Rise of the Fogg Art Museum Lecture Hall: A Forensic Study. **Acoustics Today**, Melville, NY, v. 3, n. 3, p. 10-16, 2007.
- KJELLBERG, A. et al. The Effects of Nonphysical Noise Characteristics, Ongoing Task and Noise Sensitivity on Annoyance and Distraction due to Noise at Work. **Journal of Environmental Psychology**, USA, v. 16, p. 123-136, 1996.
- KRAJCARZ, F. Open Office Acoustic Design: Multi- dimensional Case Studies. In: International Congress on Acoustics, 19., 2007, Madrid. **Anais...** United Kingdom: Institute of Acoustics, 2007. CD-ROM.
- NAYLOR, G.; RINDEL, J. H. Predicting Room Acoustical Behavior with the ODEON Computer Model. In: ASA meeting, 124th, 1992, New Orleans. **Anais...** New York: Acoustical Society of America, 1992. Paper 3aAA3.
- ONDET, A. M.; SUER, J. Development and validation of a criterion for assessing the acoustic performance of industrial rooms. **Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, NY, v. 97, n. 3, p. 1727- 1731, 1995.
- PASSERO, C. R. M. **Avaliação e Adequação Acústica de Escritórios Panorâmicos através de Medições e Simulações**. 2009. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- PEJTERSEN, J. et al. Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. **Indoor Air**, USA, v. 16, n. 5, p. 392- 401, 2006.
- RINDEL, J.H. The use of computer modeling in room acoustics. **Journal of Vibroengineering**, Kaunas, Lithuania, v. 3, n. 4, p. 219-224, 2000.
- VAN DER VOORDT, T. J. M. Productivity and employee satisfaction in flexible workplaces. **Journal of Corporate Real Estate**, United Kingdom, v.

6, n. 2, p. 133- 148, 2004.

VORLÄNDER, M. International Round Robin on Room Acoustical Computer Simulations. In: International Congress on Acoustics, 15, 1995, Trondheim. **Anais...** United Kindom: Institute of Acoustics, 1995. p. 689-692.

ZANNIN, P. H. T.; PASSERO, C. R. M.; SANT'ANA, D. Q. Acoustic Design of Enclosed Spaces. In: BRINKERHOFF, B. N. (Editor). **Ergonomics: Design, Integration and Implementation**. Hardcover: Nova Science, [2009]. In press.