



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A125

Utilizando a técnica de gravação e análise biauricular para análise do ruído em um frigorífico

Stephan Paul ^(a)
Raquel Fava de Bitencourt ^(a,b)
Lizandra da Silva Silveira, ^(b)
Samir Nagi Y. Gerges ^(a)
Eugenio Andrés Diaz Erino ^(b)

(a) Laboratório de Vibrações e Acústica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: stephan.paul.acoustic@gmail.com, raquelfb@emc.ufsc.br, samir@emc.ufsc.br

(b) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: lizandrafisio@deps.ufsc.br, erino@cce.ufsc.br

Abstract

Supervision of workplaces is a common procedure and is regulated in Brazil by the Brazilian standard NR15. Sound pressure level meters or dose meters are usually used and sound pressure level is calculated. Results show that SPL exceeds the limit of 85 dB(A) due to the operation of electrical saws. To better characterize the soundscape binaural recordings were taken, instead of traditional measurements. The analyses of these recordings by a combined approach of listening and signal analysis give valuable information on the soundscape, pointing to problems in communication, tonal components and impulsive sounds.

Resumo

A supervisão do ambiente sonoro em locais de trabalho é um procedimento comum, exigido e regulamentado no Brasil pela NR15, a qual faz parte das normas regulamentadoras trabalhistas brasileiras. Tradicionalmente vêm sendo utilizados medidores de nível de pressão sonora ou dosímetros para este fim. As análises dos dados mostraram que os níveis de pressão sonora (NPS (A)) caracterizam a necessidade de um programa de prevenção de perda auditiva. Para melhor caracterizar o ambiente sonoro no setor de desossa de um frigorífico, foram feitas gravações biauriculares em vez de medições tradicionais. As análises das gravações mostram propriedades importantes do ambiente sonoro que devem ser considerados para melhorar o conforto, já que podem causar efeitos extra-auditivos nos trabalhadores. Entre as propriedades destacam-se a presença de componentes tonais e ruídos impulsivos.

1 Introdução

Dentre os fatores ergonômicos que contribuem para o conforto de um trabalhador no seu posto de trabalho estão os fatores físicos, a acústica inclusa. A supervisão do ambiente sonoro em locais de trabalho é um procedimento comum, exigido e regulamentado no Brasil pela Norma Regulamentadora (NR) 15, bem como por normas semelhantes em seus respectivos países. A normativa brasileira aborda as atividades e operações insalubres que se desenvolvem acima dos limites de tolerância previstos. Entende-se por limites de tolerância a concentração ou a intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador durante sua vida laboral.

O anexo 1 da norma brasileira aborda a questão do ruído, onde está especificado o limite máximo de exposição em relação ao tempo. Conforme disposição da norma brasileira, por exemplo, é permitido que o trabalhador esteja exposto a um nível de pressão sonora de até 85dB pelo período de 8 horas. Este valor, bem como a regra de acréscimo de 5dB e conseqüente redução da jornada de trabalho a 50% do tempo são bem conhecidos e divulgados entre as organizações de trabalho brasileiras. Além de regulamentar, a NR traz também alguns procedimentos metodológicos para a execução dessa medição, deixando à escolha do avaliador alguns quesitos, considerados importantes pelos autores. Tradicionalmente são utilizados medidores de nível de pressão sonora ou dosímetros para este fim e os resultados se limitam à determinação dos níveis de pressão sonora.

Esta pesquisa teve como objetivo investigar o ambiente sonoro no setor de desossa, num frigorífico de carne bovina, com ferramentas avançadas, utilizando gravações biauriculares com o intuito de apresentar as vantagens das gravações/medições (biauriculares), frente às medições tradicionais. O fator motivador desta pesquisa se deve ao fato de que as gravações/medições biauriculares proporcionam sinais mais fidedignos do que medições tradicionais com medidor de pressão sonora e microfone afastado da orelha humana, por considerarem parte da função de transferência relacionada à cabeça *Head Related Transfer Function* (HRTF), diferente das medições tradicionais. As gravações feitas dessa forma proporcionam, portanto, sinais mais próximos da realidade, ou seja, mais próximos aos sinais que o trabalhador esta ouvindo. Desta forma, a impressão auditiva que os trabalhadores têm nos postos de trabalho pode ser avaliada posteriormente de forma mais representativa, tanto por meios objetivos (análise de sinal) como por avaliação subjetiva (escutando os sinais gravados). Assim o ambiente sonoro pode ser analisado e fielmente caracterizado, reconstituindo-o a fim de propor intervenções com a finalidade de melhorar o ambiente sonoro além da mera redução da exposição energética.

2 Métodos

Em cinco diferentes pontos de trabalho da sala de desossa (Figura 1) gravações biauriculares foram realizadas, colocando o *headset* do equipamento de gravação SQuadriga da HEAD-acoustics (Figura 2) na cabeça de uma pessoa que representa o trabalhador.

As gravações foram analisadas posteriormente nos circuitos de compensação e circuitos de resposta sugeridos pela norma, mas outras análises foram realizadas com o software ArtemiS 8.0 da HEAD-acoustics a fim de detalhar o estudo do ruído. As análises serão descritas a seguir.

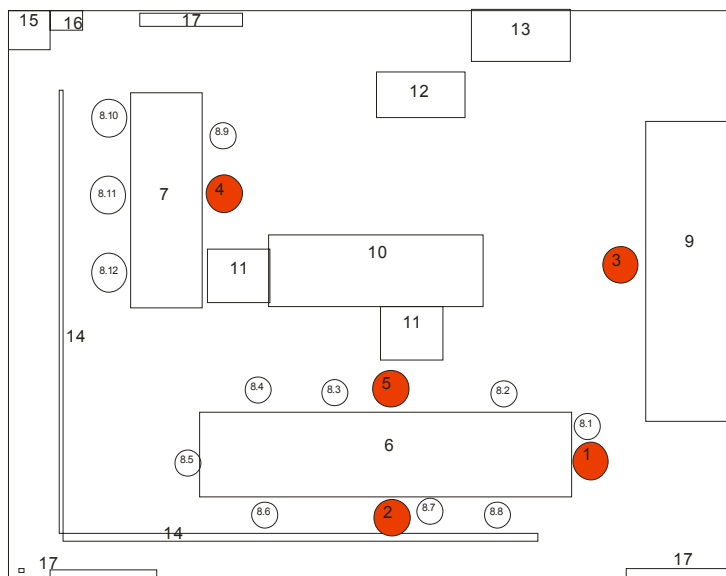


Figura 1: Planta da sala de desossa com os cinco pontos onde foram realizadas as gravações



Figura 2 Equipamento de gravação biauricular portátil SQuadriga da HEAD-acoustics

3 Análise do ambiente acústico

Conforme determinado pela norma brasileira¹ em cada ponto de gravação foram determinados os níveis globais de pressão sonora NPS e os níveis globais de pressão sonora com ponderação A NPS (A) durante o período de medição em cada ponto. Ambas medidas correspondem aos níveis presentes perto das entradas do canal auditivo dos trabalhadores. Os valores determinados a partir da gravação biauricular, são expostos na Tabela 1.

Tabela 1: Níveis de pressão sonora NPS e NPS(A) na sala de desossa, medidas perto da entrada do canal auditivo dos trabalhadores, média energética entre os dois canais.

	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
NPS [dB]	83,5	78,5	84	85,5	92
NPS [dBA]	80,5	75,8	77	81,7	91

Os valores estão de acordo com os limites estabelecidos pela norma brasileira NR 15 considerando uma jornada de trabalho de oito horas, exceto na posição cinco, em que as serras elétricas estavam ligadas. Considerando uma jornada real de 12 horas e que as serras são ligadas a cada hora, por aproximadamente 15 minutos, conforme informação colhida com os trabalhadores do local, estima-se que eles estão expostos ao ruído da serra elétrica por 3 horas em uma jornada de trabalho de 12 horas. Assim o nível de pressão sonora equivalente poderá ser estimado pela Equação 1.

¹ De acordo com a norma brasileira NR15, “os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.”

$$NPS_{A, \text{ exp } 12h} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m 10^{0,1NPS_A} \right] \quad (1)$$

Resultando em:

$$NPS_{A, \text{ exp } 12h} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{12} (9 \cdot 10^{0,1 \cdot 82} + 3 \cdot 10^{0,1 \cdot 91}) \right] = 86,4 \text{ dB(A)} \quad (2)$$

O nível de pressão sonora equivalente, considerando 3 h de exposição a 91 dBA (com serras ligadas) e nas restantes 9 hs 82 dBA, chegou-se a um nível de 86,4 dB, o que ultrapassa o nível sugerido. Considerando o fato que as serras estão ligadas por 15 min em cada 60 min, o mesmo nível equivalente seria obtido para outras jornadas de trabalho, já que a legislação brasileira não contempla explicitamente jornadas de trabalho de 12 h. Independente do número de horas trabalhadas, não é sugerido que o indivíduo seja exposto a uma níveis de pressão sonora acima de 85 dB sem proteção apropriada.

Além da determinação dos níveis de pressão sonora global, conforme exigido pela NR 15, outras análises se fazem necessárias para contemplar as exigências das normas regulamentadoras brasileiras, tais como a NR9, a qual engloba um Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), obrigatório por lei. Ela sugere entre outros itens, antecipar e reconhecer os riscos ambientais, estabelecer prioridades e metas de avaliação e controle, avaliar os riscos de exposição dos trabalhadores, implantar medidas de controle e avaliação dos riscos. Uma vez que o ambiente acústico é analisado, medidas de controle, fazendo parte da NR7, que sugere um Programa de Controle da Saúde Médico Ocupacional (PCMSO) e do Programa de Conservação Auditiva (PCA), devem ser destacadas.

Essas medidas devem ser identificadas com base nos resultados de uma análise criteriosa do ambiente sonoro, como sendo utilizada em trabalhos de qualidade sonora e mais recentemente sendo proposto também para ambientes de trabalho (Kortchmar, 2001) e *soundscape*s em geral (Genuit e Fiebig, 2006). A identificação de propriedades específicas do ambiente sonoro, tais como ruídos impulsivos, componentes tonais, ou o nível de interferência na fala podem direcionar perguntas aos trabalhadores, para a caracterização dos efeitos do ruído, bem como identificar a necessidade de práticas comuns no PCA, como as medidas organizacionais, modificação no ritmo do funcionamento, aumento da distância, entre outros. Também fornecerão informações valiosas, e muitas vezes mais apropriadas do que medidas tradicionais, quanto a ações de melhoria do desconforto auditivo.

Como primeira ferramenta foi utilizada uma análise do nível de pressão sonora em função do tempo (Figura 3), mostrando que o ambiente sonoro é marcado pela ocorrência de ruídos impulsivos provenientes das operações de desossa, do transporte de produtos pelos funcionários da embalagem e das máquinas de embalagem a vácuo em todos os postos de trabalho.

A Figura 3 evidencia que ao longo da jornada de trabalho, exemplificado pelo período de gravação, o ruído de impacto contribui de forma substancial para o ambiente sonoro, mesmo que não excedam, em nenhum posto de trabalho, os limites estabelecidos pela norma NR 15 que fixa o limite em 130 dB para ruído de impacto.²

² Porém, a presença deste tipo de ruído requer uma atenção especial do engenheiro de segurança de trabalho enquanto à escolha do tempo de integração no medidor de pressão sonora. De acordo com a NR15, “os níveis de impacto deverão ser avaliados em decibéis (dB), com medidor de nível de pressão sonora operando no circuito linear e circuito de resposta para impacto. As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do

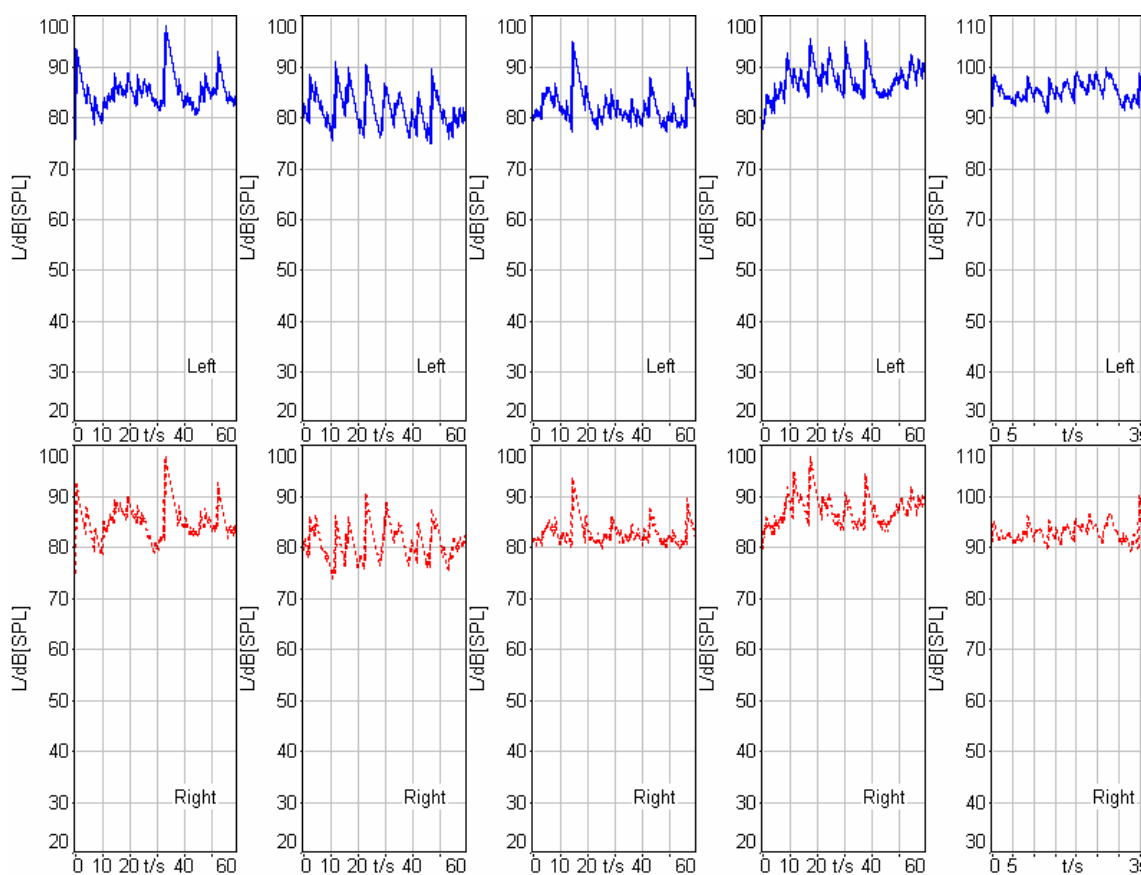


Figura 3: Análise da contribuição do ruído de impacto nos postos 1 até 5 utilizando análise do nível de pressão sonora global ao longo de tempo (resposta impulse e linear)

Além disso, foram realizadas análises com outras ferramentas como, por exemplo, *short time FFT (SFFT)* e *variable frequency resolution FFT (VFR)* para obtenção de espectrogramas, as quais revelam outras características importantes do ambiente sonoro que não são descritas pelo nível de pressão sonora global, nem pelo nível global em função do tempo, mas tem importante influência sobre o conforto auditivo das pessoas.

Por meio dos espectrogramas realizadas com uma FFT com resolução variável (Figura 4) é possível observar bem os componentes tonais presentes em todos os postos de trabalho.

trabalhador. O limite de tolerância para ruído de impacto será de 130 dB (linear). Nos intervalos entre os picos, o ruído existente deverá ser avaliado como ruído contínuo. E, no caso de não se dispor de medidor de nível de pressão sonora com circuito de resposta para impacto, será válida a leitura feita no circuito de resposta rápida (FAST) e circuito de compensação "C". Neste caso, o limite de tolerância será de 120 dB(C)."

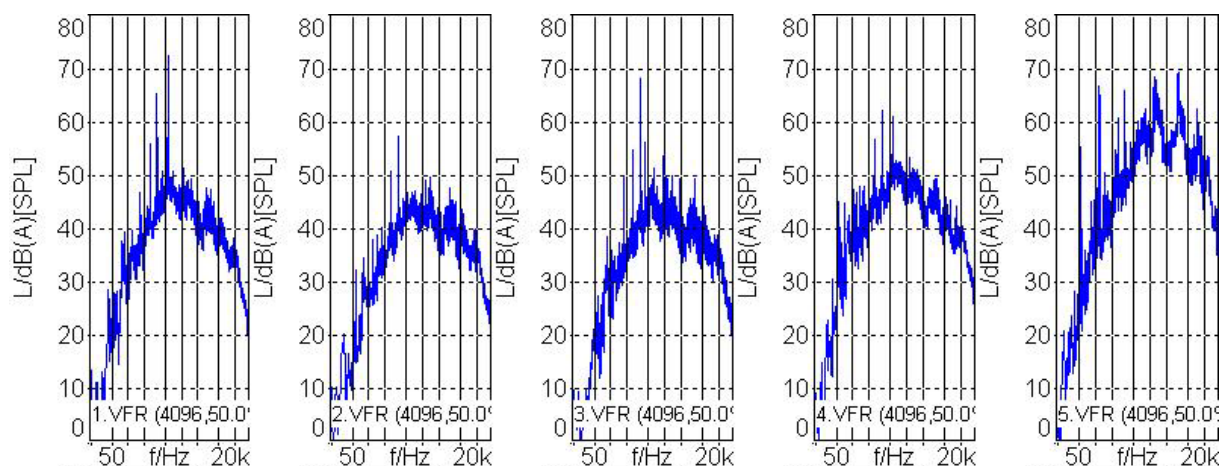


Figura 4: Espectros obtidos a partir da FFT de resolução variável para o canal esquerdo nos cinco postos de trabalho

Ainda com análise *SFFT* a presença dos componentes impulsivos, bem como a presença constante de componentes tonais com diferenças entre os postos 1-4 e 5, mas também com algumas semelhanças, pode ser evidenciada.

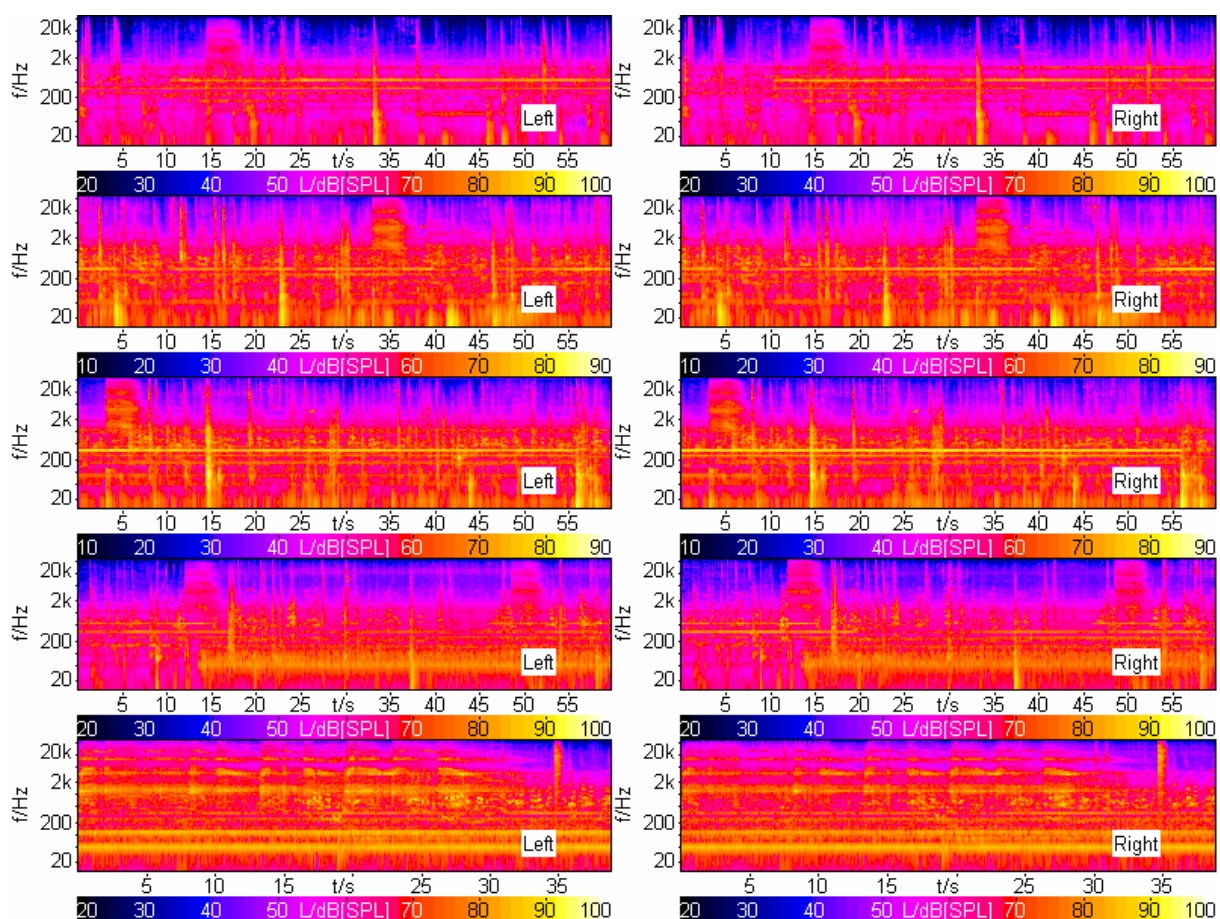


Figura 5: Espectrogramas NPS linear dos sinais esquerdo e direito obtidos nas orelhas de uma pessoa nos cinco posto de trabalho, análise *SFFT*.

Uma análise combinatória (análise objetiva adequada e análise de audição simultânea) consegue então identificar as causas de cada um dos componentes observáveis.

Utilizando uma análise de *Impulsiveness*, conforme modelo de audição de Sottek (Sottek, 1993) junto com uma análise auditiva, o impacto de ferramentas sobre as mesas metálicas bem como o fechamento de portas pode ser identificado como causador de ruídos impulsivos mais incômodos.

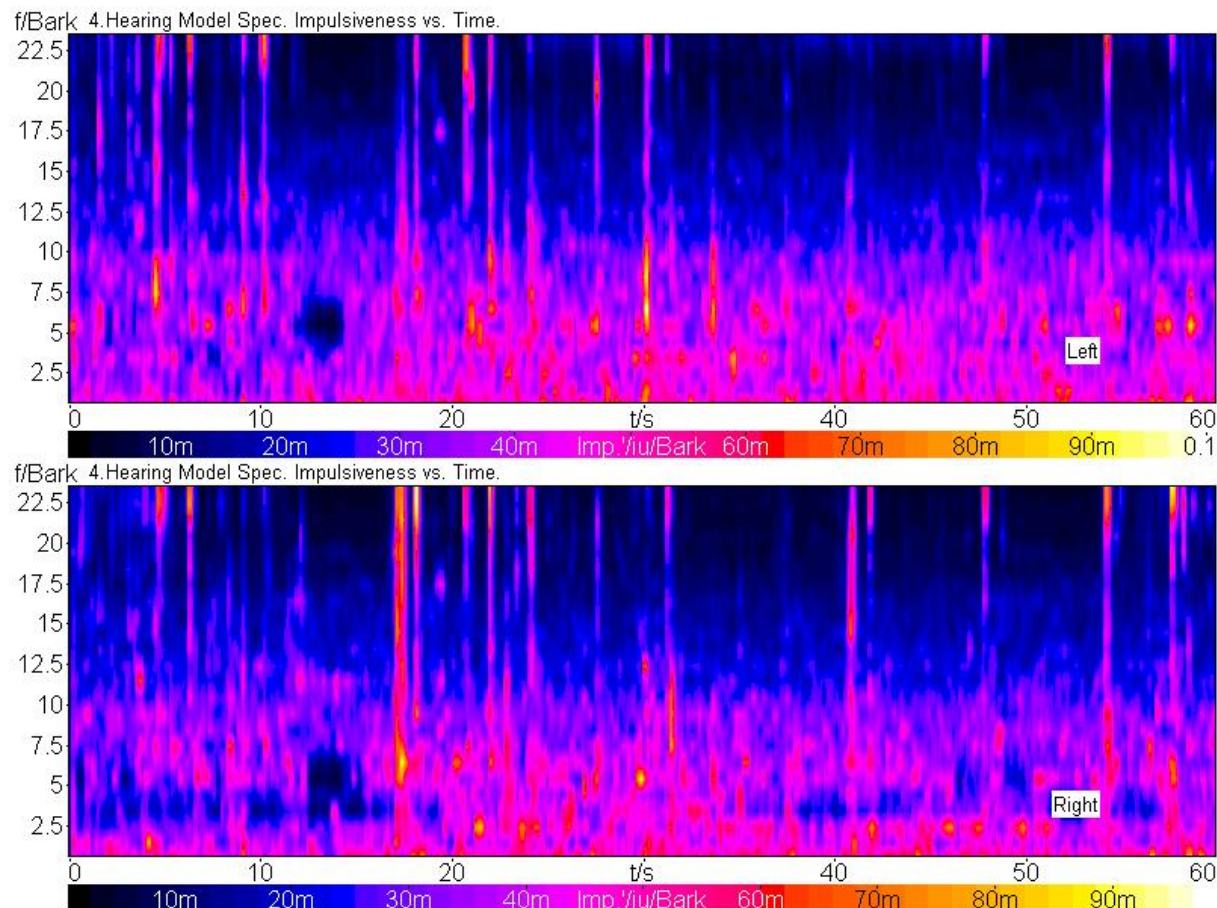


Figura 6: Análise do ruído do posto 4 utilizando o modelo de *impulsiveness* segundo modelo de audição de Sottek. Destacam-se os ruídos impulsivos gerados pelo impacto de ferramentas nas mesas metálicas, bem como o fechamento de portas.

A partir dos resultados da VFR e da SFFT observa-se que não apenas as serras elétricas contribuem com componentes tonais, mas sim outros equipamentos constantemente em funcionamento. Recentemente, componentes tonais têm sido alvo de diferentes pesquisas as quais destacam, que mesmo não contribuindo de forma significativa para o nível global de pressão sonora, têm impacto negativo sobre o conforto auditivo das pessoas. Medidas que visam diminuir a presença dos componentes tonais no ambiente de trabalho devem ser consideradas.

Um indicador mais apropriado para o volume percebido do ruído é o *Loudness*, padronizado para ruídos estacionários pela norma DIN45631, DIN45631-A1 e ISO532B. O *loudness* tem a vantagem de considerar melhor a influência de componentes tonais sobre a percepção do que o NPS, aplicando o conceito de mascaramento em frequência. Além disso,

um algoritmo apropriado para quantificar o *loudness* não estacionário, por exemplo o *loudness* percentil 5, conforme sugerido pelo *draft* DIN45631, é qualificado também para o caso de se ter eventos transientes como é o caso do nosso estudo.

Tabela 2: Valores do *loudness* N_5 nos cinco pontos de trabalho na sala de desossa, medidas perto da entrada do canal auditivo dos trabalhadores, valores para os dois lados e média entre os dois canais.

	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
N_5 (L/R)	65,5/71,1	56/56,4	59/56,2	73,3/77,6	133/116
[soneGD]	68,3	56,2	57,6	75,45	124,5

O cálculo do *loudness* mostra de forma bem mais clara as diferenças entre os postos de trabalho, sobretudo quantifica o incômodo causado pelas serras elétricas.

Outra consideração importante em um ambiente de trabalho refere-se à facilidade de comunicação dos trabalhadores dentro do ambiente de trabalho. Uma medida relacionada à facilidade de comunicação é o *speech interference level* (SIL)- nível de interferência na fala, que é uma medida do ruído de fundo. Em função do SIL e da distância entre as pessoas que se comunicam, pode-se estimar, com a Figura 7, a intensidade da voz necessária para se comunicar, considerando comunicação face a face e vozes masculinas.

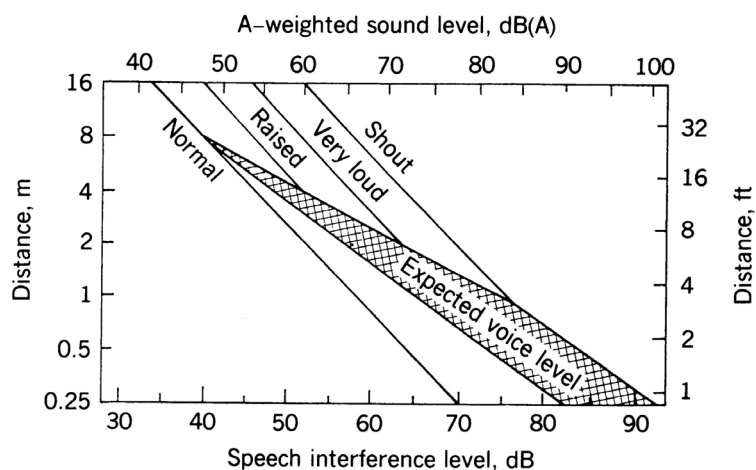


Figura 7: Distância entre ouvinte e falante para *just reliable face-to-face speech communication*. Curvas indicam o nível de voz necessário. A área cruzada indica a distância permitida nas condições. Fonte: Crocker 1998

Considerando os cálculos do *speech interference level* $SIL(4)$ para os 5 pontos de trabalho pode-se afirmar que uma comunicação entre dois postos de trabalho com mais de 2 m de distância somente é possível com voz a uma intensidade elevada. Considerando que a distância mínima entre dois postos investigadas foi de 2 m (posto 2 e 5) e a distância máxima entre dois postos de trabalho era de 6 m (posto 3 e 4) os dados indicam que esforços consideráveis são necessários para comunicação.

O fato de o ser humano possuir duas orelhas, e que essas duas orelhas poder receber sinais diferentes, de graus de similaridade diferente, é relacionado à habilidade de localização de fontes sonoras, mas também à possibilidade de aumento de incômodo causado por ruídos. Conforme Chouard (1997), sinais biauriculares com diferenças interauriculares grandes

causam maior desconforto do que sinais com diferenças interauriculares menores, considerando a mesma soma energética dos os dois canais.

Tabela 3: Valores do nível de interferência na fala (SIL) nos cinco pontos de trabalho, valores médios entre os dois canais.

	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
SIL (4) [dB]	71.1	67.5	67.6	72.9	83.6

No ambiente de trabalho investigado nenhuma diferença entre o sinal esquerdo e direito acima de 3 dB foi encontrada devido ao fato do ambiente ser muito reverberante. Segundo estudo realizados por Chouard, nenhum efeito sobre o desconforto pela diferença interauricular é esperada neste caso. Porém, o fato de ser um ambiente reverberante determina que ambas as orelhas do trabalhador são igualmente expostas ao ruído nocivo, independente da orientação do mesmo em relação a uma fonte sonora dentro da sala.

4 Estratégias

A análise do ambiente sonoro do ambiente de trabalho por meios de análise de sinais (análise objetiva) pode facilitar o sucesso do PCA, auxiliando na elaboração de questionários acerca do conforto auditivo ou na elaboração de estratégias construtivas para diminuir o incômodo.

A identificação de propriedades específicas do ambiente sonoro, tais como ruídos impulsivos, componentes tonais, ou o nível de interferência na fala (SIL) elevado pode direcionar perguntas aos trabalhadores, para a caracterização dos efeitos do ruído, bem como identificar a necessidade de práticas comuns no PCA, como as medidas organizacionais, modificação no ritmo do funcionamento, aumento da distância, entre outros.

A análise dos dados também pode levar a estratégias concretas para diminuição do desconforto auditivo no ambiente de trabalho. A identificação de componentes tonais com frequências iguais em todos os postos de trabalho, e sem ser relacionado ao funcionamento sugere, por exemplo, o uso de painéis de absorção por membrana, que ao contrário de materiais porosos, podem ser utilizados em ambientes que precisam ser higienizados.

A análise auditiva dos ruídos impulsivos junto com a análise por meios objetivos sugere que uma parte importante dos ruídos impulsivos é causada pelo manuseio da carne e de instrumentos e o impacto dos mesmos sobre as mesas metálicas. Sobretudo o impacto da carne congelada e de ferramentas nas mesas metálicas produz ruído impulsivo com mais energia em faixa de frequência onde o ouvido é mais sensível. O uso de materiais visco-elásticos fixados na parte inferior das mesas pode diminuir o ruído radiado pro ambiente pelas mesmas.

5 Conclusões

Os dados obtidos nos cinco postos de trabalho do frigorífico mostraram que o funcionamento das serras, exemplificado pela gravação em um dos postos de trabalho, contribui para o nível global de pressão sonora ao longo da jornada de tal forma que um programa de prevenção de danos à audição se faz necessário. Naturalmente estes dados poderiam ter sido levantados também com equipamentos convencionais, como, por exemplo um medidor de pressão sonora ou um dosímetro. Todavia, uma análise subsequente dos dados obtidos em forma de gravação providencia informações que possam ser utilizadas tanto para

melhor identificar os causadores do desconforto auditivo, ajudar na elaboração de medidas de investigação segundo o Programa de Conservação Auditiva (por exemplo questionários direcionados) e finalmente apontar estratégias específicas para a melhoria do ambiente acústico.

Referências

- Brasil Ministério do Trabalho (1978) Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978- 09, NR 15. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Brasil Ministério do Trabalho (1978) Portaria n 8, de 08 de maio de 1996- NR 07. Altera Norma Regulamentadora NR-7- Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, v. 134, n. 91, p. 8202, 13 de maio 1996.
- Crocker, M.J.: (1998) Handbook of Acoustics, Wiley-Interscience-Publication.
- Chouard, N;Gerlof, K.; Springer, N. E Weber, R. (1997) “On the unpleasantness of dichotic signals”, em Contributions to psychological acoustics Results of the seventh Oldenburg Symposium on psychological acoustics, Beitrage zur psychologischen Akustikforschung. Ergebnisse des 7. Oldenburger Symposiums.
- DIN45631/A1, (2008) “Calculation of loudness level and loudness from the sound spectrum - Zwicker method” - Amendment 1: “Calculation of the loudness of time-variant sound”, German technical standard.
- DIN 45631 (1991) “Procedure for calculating loudness level and loudness”, German technical standard.
- Genuit, K. e Fiebig, A. (2006) “Psychoacoustics and its Benefit for the Soundscape Approach”, Acta Acustica united with Acustica, v.92, p. 952-958, 2006.
- ISO 532B (1975) Acoustics “Method for calculating loudness level: Section two, Method B for calculating the loudness of a complex sound that has been analyzed in terms of one-third octave bands”.
- Korchtmar, L; Vorländer, M.; e Slama, J. (2001) “Sound Quality Evaluation for the workplace: Research on the influence of Spatial Sound Distribution”, Acta Acustica united with Acustica, v.87, p. 495-499.
- Sottek, R (1993) “Modelle zur Signalverarbeitung im menschlichen Gehör”, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, 1993, Aachen, Alemanha.