



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Estudo exploratório ocupacional sobre emissão de ultrassom de uma máquina de solda com frequência nominal de 57 kHz.

Fantazzini, M.L.¹; Zajarkievaiech, J.E.B.²; Ottero, J.C.L.³; Alves, E. G.⁴

¹ Mario Luiz Fantazzini, SP, Brasil, mfantz@uol.com.br

² Total Safety (Calilab), São Caetano do Sul, SP, Brasil, enrique@totalsafety.com.br

³ José Carlos Lameira Ottero, SP, Brasil, lameira.ottero@gmail.com

⁴ HBK – Hottinger Brüel & Kjær, São Paulo, SP, Brasil, elvis.gouveia@hbkworld.com

Resumo

Existe uma gama razoável de fontes ultrassônicas que podem envolver exposições domésticas ou ocupacionais: banhos de limpeza, soldagem de plásticos ou materiais diversos, equipamentos industriais ou domésticos para espantar “pragas”, como pombas, mosquitos, pássaros e outros animais. Em 2018, o JASA (Journal of the Acoustical Society of America) publicou um conjunto de artigos sobre o assunto onde ficou evidente que existem dificuldades que permeiam a discussão, dentre elas, a indisponibilidade de instrumentos dedicados, problema de rastreabilidade, dificuldades do procedimento de medição e posicionamento do microfone para obtenção resultados confiáveis. O desafio é ampliado quando se trata da exposição ao ultrassom em ambiente ocupacional, pois existem Valores TLV® dados na ACGIH, que devem ser devidamente interpretados e verificados com instrumentação específica. A ICNIRP, comissão internacional dedicada às radiações não ionizantes, também possui Valores - Limite recomendados para o público e trabalhadores, ainda mais restritivos que os da própria ACGIH. Neste estudo exploratório foi avaliada uma máquina de solda para fios de alumínio, com fonte de frequência nominal de 57 kHz. Essa emissão não poderia ser verificada com instrumentos tradicionais, nem mesmo aqueles com alcance estendido até 40 kHz, pois não conseguiriam detectar essa frequência. Para superar esses obstáculos foi necessário desenvolver uma instrumentação customizada, a partir de um microfone capacitivo de 1/4", fonte de alimentação e um sistema de aquisição com taxa de amostragem suficiente. O estudo é exploratório porque não pretende definir praxis para a questão, mas apresentar viabilidade concreta de medição da emissão de ultrassom da fonte e avaliar a exposição ocupacional, usando-se premissas conceituais para a aplicação dos valores-limite recomendados.

Palavras-chave: Ultrassom, ACGIH, ICNIRP, TLV, Higiene Ocupacional.

PACS:



Abstract

There is a reasonable range of ultrasonic sources that may involve domestic or occupational exposures: cleaning baths, welding of plastics or various materials, industrial or household equipment to scare away "plagues", such as doves, mosquitoes, birds and other animals. There is even speculation of military/defense use, as recently vented in attacks on U.S. embassies in certain countries. In 2018, JASA (Journal of the Acoustical Society of America) published a set of articles on the subject where it was evident that there are obstacles that permeate the discussion, among them, the unavailability of dedicated instruments, problem of traceability, difficulties of the measurement procedure and positioning of the microphone to obtain reliable results. The challenge is amplified when it comes to exposure to ultrasound in an occupational environment, because there are Threshold Limit Values given in the ACGIH, which should be properly interpreted and verified with specific instrumentation. ICNIRP, an international commission dedicated to non-ionizing radiation, also has Threshold Limit Values for the public and occupational, even more restrictive than those of the ACGIH itself. In this exploratory study, an aluminum wire welding machine was evaluated, with a nominal frequency source of 57 kHz. This emission could not be verified with traditional instruments, not even those with extended range up to 40 kHz, as they would be unable to detect this frequency. To overcome these obstacles it was necessary to develop a customized instrumentation, from a 1/4" capacitive microphone, power supply and an acquisition system with enough sampling rate. The measurement, performed with the microphone installed in the vicinity of the worker's auditory zone, allowed estimating, good safety margin, whether the ultrasound levels emitted by the source are inside or outside the TLV of ACGIH and ICNIRP. The study is exploratory because it does not intend to infer the efficacy of the method, but to present concrete feasibility of measuring and evaluating ultrasound emission in terms of occupational exposure.

Keywords: Ultrasonic, ACGIH, ICNIRP, TLV, Industrial Hygiene

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de ultrassom é antes de mais nada um desafio ocupacional, pois seu reconhecimento não é sensorial. Deve-se conhecer o processo e saber que haverá emissão. A partir daí, é necessário estimar quanta exposição ocupacional deriva dessa situação. Isto será discutido em detalhe, com os critérios considerados (ACGIH [1] e ICNIRP [2]) e o desenvolvimento conceitual necessário à sua aplicação.

Realizar a avaliação do ruído ultrassônico no contexto da ACGIH ou ICNIRP estabelece um desafio do ponto de vista da instrumentação. Sonômetros convencionais são fabricados para medir, na melhor das hipóteses, até 20 kHz e alguns modelos especiais disponibilizados para medir em uma faixa estendida até 40 kHz seriam inadequados para uma fonte de 57 kHz.

Ademais, como veremos, sendo os limites de tolerância especificados por terços de oitava é necessário que o sonômetro de ultrassom incorpore filtros e que estes permitam obter o nível equivalente por terços de oitava e também reter o nível máximo ponderado em S (*Slow*). O aspecto mais desafiador é medir sons ultrassônicos cujo comprimento de onda é comparável ao próprio diâmetro do microfone. Se o diâmetro máximo de microfone para medir ultrassom até 40 kHz é de $\frac{1}{2}$ ", obviamente para realizar a medição de uma fonte de 57 kHz será necessário um sonômetro de ultrassom projetado com um microfone de $\frac{1}{4}$ " ou de $\frac{1}{8}$ ". Necessariamente há de se considerar um sistema de medição aberto provido de microfone, pré-amplificador e cabo de extensão acoplados ao sistema.

2. CRITÉRIOS ACGIH E ICNIRP

2.1 Os critérios de proteção e sua verificação

2.1.1 Critério da ACGIH

Existem valores-limites, chamados TLVs®, na ACGIH, os quais devem ser entendidos, para serem aplicados (ver Tabela 1). Há uma opção para casos de exposição tipo "cabeça na água", o qual não é o nosso caso; então, vamos nos limitar ao critério para "cabeça no ar". A

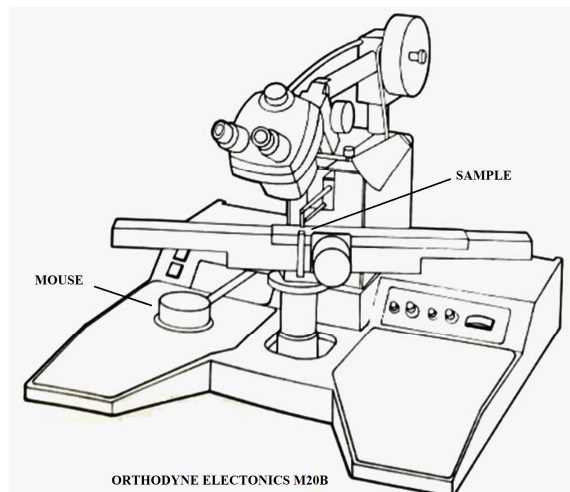


Figura 1 – Máquina de solda de ultrassom - Orthodyne Electronics – Modelo M20B

premissa de proteção da ACGIH é evitar a perda auditiva devida aos sub-harmônicos audíveis das fontes ultrassônicas. Ver também a nota (A), que orienta sobre desconforto, na Tabela 1.

Para este critério, há duas condições a serem verificadas em uma avaliação:

1. A exposição à faixa sonora (audível) de alta frequência (acima de 10 kHz), como se fosse uma extensão do limite existente para ruído. Neste caso, a média ponderada diária, semelhante ao limite tipo média ponderada (TWA) da parte acústica, de 85 dB(A), deve ser respeitada. Os valores na tabela correspondem, portanto, à linearização equivalente desse valor (85 dB(A)) nas diversas bandas de terços de oitava, de 10 kHz a 20 kHz; este requisito deve se traduzir em uma avaliação em L_{eq} , de jornada, linear, por banda de terços de oitava, de 10 kHz a 20 kHz. Importante observar ainda que é uma avaliação sem ponderação temporal (sem constante de tempo), ou seja, é o L_{eq} de instrumentos integradores, medido tal como solicitado pela ACGIH: "Os valores de média ponderada (TWA) podem ser verificados com o uso de um medidor integrador de nível de pressão sonora com bandas de 1/3 de oitavas" (ver íntegra do TLV, ref. [1]).

**Tabela 1** – Limites de Tolerância para ULTRASSOM – ACGIH -2019

Frequências Centrais de Bandas de $1/3$ de Oitava (kHz)	Nível de Banda de $1/3$ de Oitava ⁽³⁾		
	Medida no ar em dB, ref. 20 μ Pa; Cabeça no ar		Medida na Água em dB, ref. 1 μ Pa; Cabeça na água
	Valores Teto	Limites para 8 horas	Valores Teto
10	105 ^A	88 ^A	167
12,5	105 ^A	89 ^A	167
16	105 ^A	92 ^A	167
20	105 ^A	94 ^A	167
25	110 ^B	—	172
31,5	115 ^B	—	177
40	115 ^B	—	177
50	115 ^B	—	177
63	115 ^B	—	177
80	115 ^B	—	177
100	115 ^B	—	177

2. A exposição ultrassônica e sônica superior propriamente dita, de 10 kHz a 100 kHz. Devem ser avaliadas as faixas de terços de oitava cobrindo essas regiões, e os valores da tabela são valores-teto para avaliação em resposta lenta, por bandas de terços de oitava. Implica a necessidade de avaliação instrumental com retenção de valor máximo, r.m.s., em resposta lenta (L_{Smax})

Ver abaixo excerto do TLV®, conforme publicação de tradução exclusiva da ABHO (Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais).

Observações à Tabela (TLV®ACGIH)

(A) Podem ocorrer incômodo subjetivo e desconforto em alguns indivíduos em níveis entre 75 e 105 dB para frequências entre 10 kHz e 20 kHz, especialmente se forem de natureza tonal. Pode ser necessária a implementação de proteção auditiva e de medidas de engenharia a fim de prevenir efeitos subjetivos. Sons tonais em frequências inferiores a 10 kHz podem também necessitar de redução até 80 dB.

(B) Esses valores pressupõem que exista a interação humana com água ou outro substrato. Esses limites devem ser elevados em 30 dB quando não há

possibilidade de o ultrassom interagir com o corpo em contato com a água ou qualquer outro meio. [Quando a fonte de ultrassom tiver contato direto com o corpo, os valores da tabela não se aplicarão. Deve-se considerar o nível de vibração no osso mastoide]. Devem ser evitados valores de aceleração 15 dB superiores à referência de 1g rms por redução da exposição ou isolamento do corpo da respectiva fonte. (g = aceleração devido à força da gravidade, 9,80665 m/s²; rms = “root mean square”, do inglês, raiz média quadrática/ “valor eficaz”).

2.1.2 Limites de Exposição recomendados pelo ICNIRP - *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

Estes limites, também citados como critérios IRPA⁽¹⁾/ICNIRP [2], foram escolhidos por terem alcance mundial e por serem aparentemente um dos mais restritivos. Acreditamos que esta é uma preocupação importante, pois se percebe que pode existir um grau de incerteza na definição adequada do que é tolerável. Os limites foram emitidos em 1983 (publicados em 1984) como “interim”, mas ainda são considerados como “preferíveis” por vários autores e são citados em quase todas as referências. São limites dados por níveis de

¹ International Radiation Protection Association

pressão sonora (ref. 20 μPa), para exposições contínuas de 8h diárias, por bandas de terços de oitava, conforme segue:

Tabela 2– Limites de Tolerância ICNIRP

Banda de terço de oitava (kHz)	Nível de Pressão Sonora (dB re. 20 μPa)
20	75
25	110
31,5	110
40	110
50	110
63	110
80	110
100	110

Embora o ICNIRP não seja prescritivo quanto à forma das medições, ao apresentar os níveis como de exposição contínua para 8 horas diárias, torna-se implícita a consideração de “exposição permitida”, e não apenas a de “níveis permitidos”. Isto nos leva ao conceito de energia total recebida ou de um nível energeticamente equivalente de jornada.

A interpretação técnica deste condicionante é uma avaliação de nível equivalente (L_{eq}), por banda de terços de oitava, com medidor integrador. Esta interpretação coincide com o que é recomendado de forma geral na referência [5], embora tais autores prefiram o uso do SEL (*Sound Exposure Level*). O nível equivalente previsto em normas não possui ponderação temporal. Como a resposta será linear (Z) em todas as bandas, o parâmetro de medição será o L_{Zeq} e desta forma foi considerado na avaliação.

Os limites ICNIRP podem ser modificados quando a exposição for inferior a 4 horas diárias, com uma tabela complementar do critério. Ver ref. [2]

3. INSTRUMENTAÇÃO

O desafio proposto consiste em avaliar a exposição ocupacional que a máquina de solda produz sobre seu operador (Figura 2). Note-se que, sendo a fonte de ultrassom da máquina especificada em 57 kHz, a frequência do

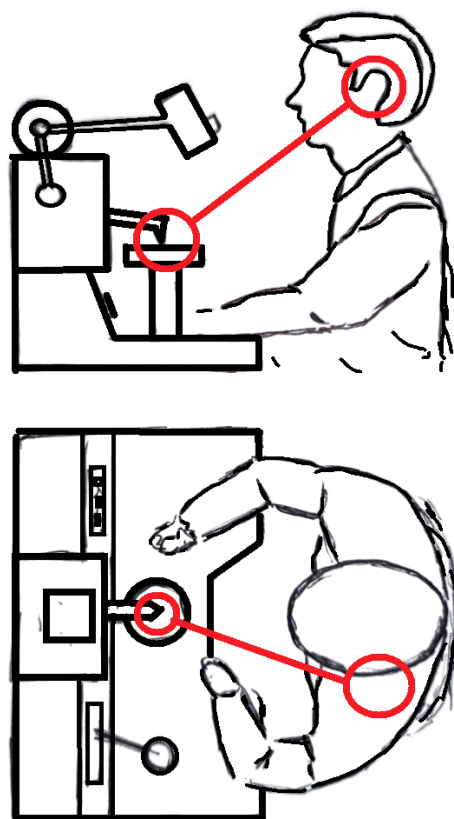


Figura 2 – Posição do operador da máquina de solda (visão lateral e superior). Distância aproximada entre o microfone e o ponto onde ocorre a solda: 70 cm.

primeiro sub-harmônico está acima da faixa audível, de maneira que nem mesmo um bom analisador de oitavas Classe 1 seria capaz de detectá-lo. Além disso, os limites de tolerância da IEC 61672-1 admitem atenuações para menos infinito a partir de 16 kHz, ou seja, não há nenhuma garantia que o instrumento Classe 1 tenha resposta plana acima dessa frequência.

Existem alguns poucos modelos de sonômetro disponíveis no mercado com faixa estendida até 40 kHz projetados com microfone de $\frac{1}{2}$ ". O diâmetro do microfone é importante porque o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência. Por exemplo, em 20 kHz o comprimento de onda é de 17 mm e em 57 kHz é de aproximadamente 6 mm, que coincide praticamente como o diâmetro do microfone de $\frac{1}{4}$ ".

Na década de 80 a Bruel & Kjaer oferecia o modelo 2231 com filtro 1627 para medição de



ruído ultrassônico. Era especificado até 140 kHz com um microfone de pressão de $\frac{1}{8}$ ". Assumindo esta especificação como referência poderíamos concluir que um microfone de $\frac{1}{4}$ " seria apropriado para medir até 70 kHz e um de $\frac{1}{2}$ " até 35 kHz.

Focando na frequência da fonte, outra questão relevante é considerar a taxa de aquisição do sistema de medição. Os instrumentos modernos trabalham com digitalização de sinais sendo necessário processar a informação com uma taxa que seja, pelo menos, o dobro da máxima frequência de interesse (Nyquist). Neste caso a energia da fonte ultrassônica de 57 kHz será distribuída essencialmente no filtro $\frac{1}{3}$ de oitava com frequência central em 63 kHz, com banda passante entre 56 kHz e 71 kHz. Portanto, a mínima taxa de amostragem é de 142 kS/s. Essa taxa está acima da taxa de interesse para a maioria dos sonômetros, inclusive para aqueles que projetados a medir ruído ultrassônico até 40 kHz, sendo suficiente uma taxa de 80 kS/s.

Para fazer frente ao desafio foi desenvolvido um sistema customizado utilizado uma plataforma de aquisição da National Instruments com taxa de aquisição de 204 kS/s (PXI 4461). O toolkit Sound & Vibration do LabVIEW somente oferece ferramentas para a faixa audível. Assim, os filtros tiveram que ser desenvolvidos para este projeto.

A captação foi feita com um microfone de pressão da GRAS, modelo 40 BP, de $\frac{1}{4}$ ", especificado pelo fabricante para medições até 100 kHz, acoplado com adaptador capacitivo a um pré-amplificador Bruel & Kjaer 2669 e fonte de microfone Bruel & Kjaer 5935, operando com ponderação linear. A saída da fonte de microfone foi lida pela placa de aquisição DAQ NI PXI 4461.

A sensibilidade do sistema foi ajustada com um calibrador de nível sonoro Bruel & Kjaer modelo 4231 (Figura 3). Aos efeitos práticos o instrumento resultante é um analisador de oitavas com bandas de $\frac{1}{3}$ de oitavas de 250 Hz até 80 kHz, ponderação em frequência S e F, retenção de máximo, detector de pico e integrador L_{eq} (ver Figura 4). Os parâmetros L_{Smax} e L_{eq} são suficientes para avaliar os



Figura 3 – Ajuste da sensibilidade do sistema de medição (+ Mic Gras 40BP) utilizando um calibrador de nível sonoro Bruel & Kjaer 4231

limites previstos nos critérios da ACGIH e ICNIRP.

O microfone foi calibrado por laboratório acreditado RBC pelo método do atuador eletrostático, em toda a faixa. O sonômetro, incluindo os filtros, foi calibrado até 20 kHz pelas normas IEC 61672-3 e IEC 61260, e adicionados alguns testes para assegurar o desempenho na faixa de frequências ultrassônicas. Para tal foram verificados a resposta em frequência da ponderação Z e os filtros de $\frac{1}{3}$ de oitavas, este último testado com um gerador de elevada taxa de amostragem (100 MS/s) com o mesmo algoritmo utilizado para os testes dos filtros da faixa audível.

Todos os testes demonstraram a conformidade do sistema de medição em termos de resposta em frequência, linearidade de níveis, ponderações temporais. Integração (L_{eq}) e filtros de $\frac{1}{3}$ de oitavas.

Sendo um microfone de campo de pressão a resposta em frequência é virtualmente plana para uma incidência de 90° . Foi esta a configuração de montagem durante as medições, de maneira que a onda ultrassônica proveniente da máquina de solda se deslocasse essencialmente no mesmo plano que contém a membrana do microfone (ver Figura 5).

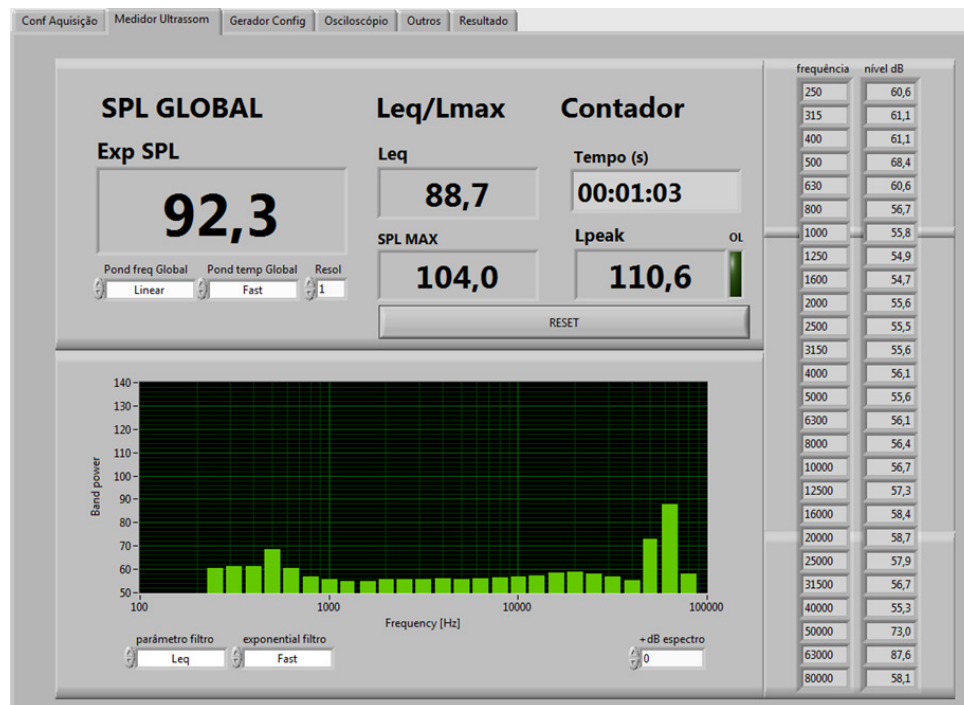


Figura 4: Painel do medidor de ultrassom com filtro de terços de oitava.

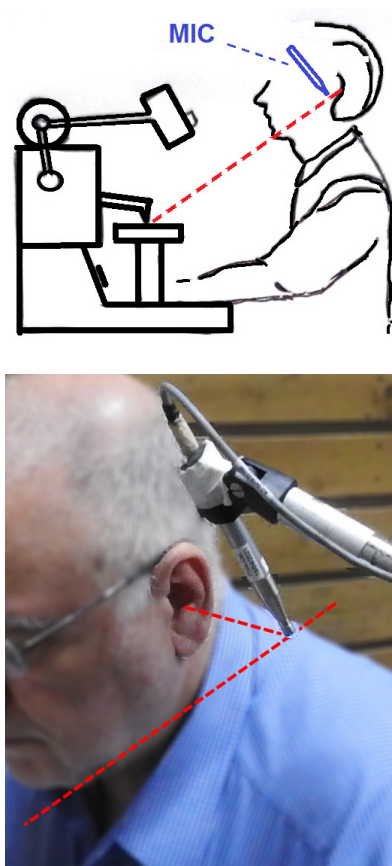


Figura 5 – Posicionamento do microfone em relação ao operador da máquina (imagem ilustrativa) – Aprox. 70 cm da fonte e 10 cm da

Timothy G. Leighton [4] aponta a problemática de se lidar com pequenos comprimentos de onda. Explica a dificuldade para posicionar o microfone e detectar o feixe central da onda ultrassônica, além de outros problemas como refração e mudança de fase, que dificultam a repetitividade e reprodutibilidade das medições. As medições requerem, então, maior número de réplicas e reposicionamentos. Portanto, incertezas de medição mais elevadas, por conta dos problemas de comprimento de onda e posicionamento do microfone, devem ser gerenciados no contexto da Higiene Ocupacional. A variabilidade das exposições é reconhecida em Higiene Ocupacional, e possui abordagem e tratamento estatístico próprios, não sendo objeto deste caso. Usa-se uma distribuição lognormal e amostras de várias jornadas. Por sua vez, a ACGIH não fornece diretrizes, nos TLV®, sobre a medição ou problemas associados. O atendimento de tais limites com um eventual resultado na região cinza (de incerteza) instrumental, todavia não eximiria os responsáveis de tomar as devidas precauções para reduzir a exposição do trabalhador ao ruído ultrassônico ou de estudar soluções de controle na fonte, dentro dos princípios da higiene ocupacional.



Afortunadamente, há avanços recentes em relação à rastreabilidade de microfones em frequências ultrassônicas. Salvador Barrera [10] estendeu o método de calibração de microfones por reciprocidade em campo livre até 150 kHz, com incertezas associadas extremamente baixas para as aplicações de controle de exposição ocupacional. É evidente que as conquistas de Barrera fornecem um importante alicerce para a rastreabilidade e elas respondem algumas das demandas de Leighton. Certamente este tema alcançará novas fronteiras.

4. ATIVIDADE, OPERAÇÃO E RUÍDO DE FUNDO (ULTRASSÔNICO)

4.1 Atividade

A máquina de solda objeto deste estudo (Figura 1) é utilizada no setor de produção de uma empresa localizada no Estado de São Paulo. A solda é realizada em uma peça de Alumínio e o fio é do mesmo material.

O operador liga a máquina, sem acionar a fonte geradora do Ultrassom. Fixa a peça no suporte e ajusta o foco da câmara de observação para seleção do ponto de solda. Ao acionar o “mouse” de controle a máquina executa a solda. O operador escuta apenas um “click” que não produz nenhum incômodo.

4.2 Operação

Soldar fio metálico na peça, ambos de Alumínio. Cada peça requer 12 acionamentos do sistema de soldagem que representa um ciclo de exposição ao Ultrassom de aproximadamente 32 segundos para cada peça soldada. Durante toda jornada diária de oito horas e vinte e oito minutos o trabalhador fica exposto ao agente ambiental por duas horas e quinze minutos, considerando a produção média diária de peças. Este dado é utilizado na obtenção do nível médio ponderado diário de exposição.

4.3 Ruído de Fundo

O ruído de fundo na faixa audível representa o ambiente, enquanto o ruído de fundo na faixa ultrassônica pode corresponder essencialmente

ao ruído elétrico do sistema de medição e do próprio microfone (baixa sensibilidade).

Tabela 3 – Ruído de fundo (20-20k) medido com microfone Bruel & Kjaer 4189 e correção de campo livre com incidência frontal para campo difuso.

Freq (Hz)	RUIDO DE FUNDO		
	Linear Nível médio (dB)	Correção campo livre (FF) para campo difuso (DF) Nível médio (dB)	Linear Nível (dB) corrigido para DF
20	62,3	0,0	62,3
25	60,5	0,0	60,5
31,5	66,6	0,0	66,6
40	55,8	0,0	55,8
50	55,6	0,0	55,6
63	58,4	0,0	58,4
80	59,5	0,0	59,5
100	60,2	0,0	60,2
125	59,8	0,0	59,8
160	60,2	0,0	60,2
200	60,3	0,0	60,3
250	61,4	0,0	61,4
315	61,8	0,0	61,8
400	61,1	0,0	61,1
500	61,6	0,0	61,6
630	60,8	0,0	60,8
800	57,6	0,0	57,6
1000	59,1	0,1	59,3
1250	58,1	0,2	58,3
1600	57,0	0,3	57,3
2000	56,9	0,3	57,2
2500	56,5	0,4	56,9
3150	56,9	0,7	57,6
4000	56,3	1,0	57,3
5000	55,2	1,4	56,6
6300	52,3	2,0	54,2
8000	53,4	2,6	56,0
10000	51,5	3,6	55,1
12500	51,1	4,7	55,8
16000	50,1	6,0	56,1
20000	47,5	7,6	55,1

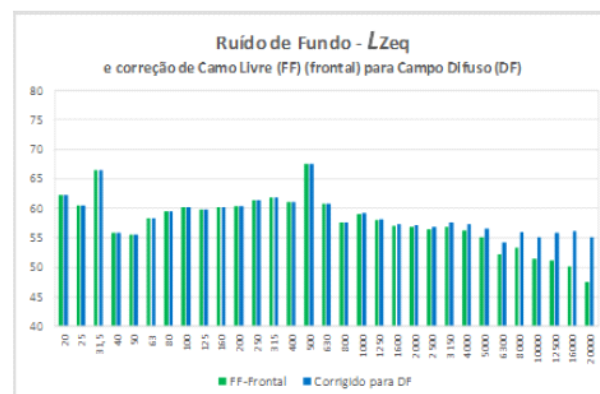


Figura 6 – Representação gráfica da Tabela 3

Tabela 4 – Nível médio com ponderação em frequência linear (L_{Zeq}), na faixa de ULTRASSOM, medido SEM operação da máquina de solda

L_{Zeq}	
Freq (Hz)	Nível (dB)
25000	52,6
31500	52,2
40000	50,4
50000	49,7
63000	50,9
80000	51,0

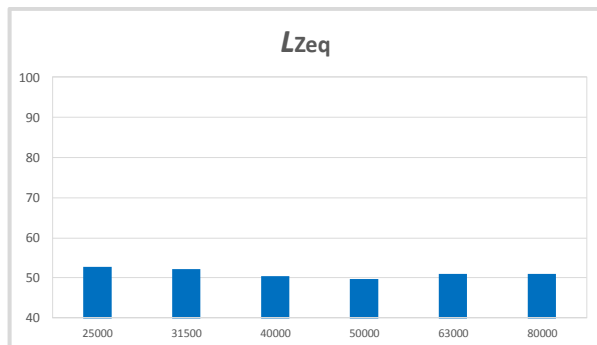


Figura 7 – Representação gráfica da Tabela 4

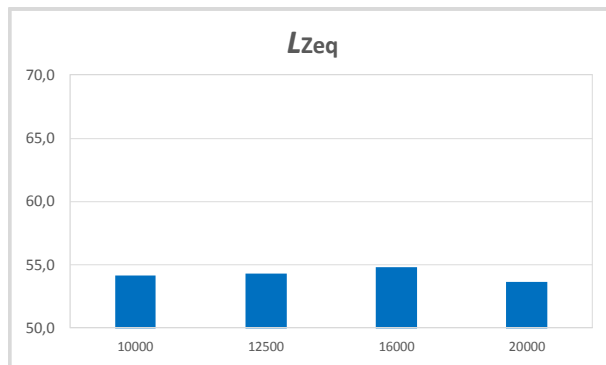


Figura 8 – Representação gráfica da Tabela 5

5. Conjunto de Medições

5.1 Emissão característica da fonte

A emissão característica da fonte foi representada pela imissão na zona auditiva do operador, medida válida para que se possa comparar os valores com os critérios selecionados.

As várias medições a seguir foram realizadas para contrastar a situação com os diferentes tipos de limites permissíveis dos critérios considerados, que serão a seguir enumerados.

5.1.1 ACGIH

A) Critério da ACGIH, considerando-se a faixa audível em medições ultrassônicas, bandas de terços de oitava na faixa de 10 kHz a 20 kHz, média ponderada no tempo. Parâmetro repr

B) esentativo: nível equivalente, resposta linear.

Tabela 5 – Nível equivalente medido com ponderação linear (faixa audível)

$L(z)_{eq}$	
Freq (Hz)	Nível (dB)
10000	54,2
12500	54,3
16000	54,8
20000	53,6

C) Critério da ACGIH, considerando-se valores-teto para faixa ultrassônica, bandas de terços de oitava. Parâmetro representativo: níveis máximos, resposta lenta, ponderação linear.

Tabela 6 – Nível máximo com ponderação em frequência Z (linear) e ponderação temporal S (Slow), na faixa de ULTRASSOM, medido COM operação normal da máquina de solda.

$L(z,s)_{max}$	
Freq (Hz)	Nível (dB)
25000	64,6
31500	64,1
40000	61,3
50000	81,4
63000	96,1
80000	65,8

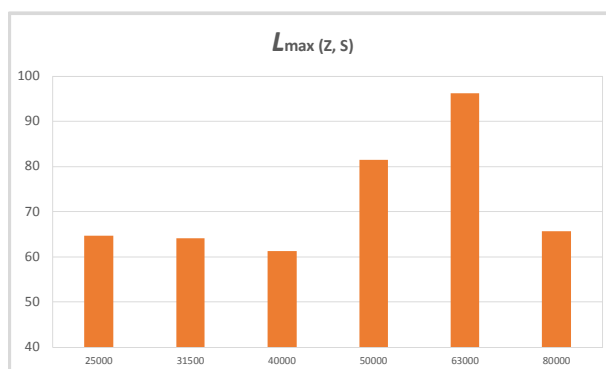


Figura 9 – Representação gráfica da Tabela 6

As amostras obtidas a partir de 6 ciclos consecutivos e ininterruptos, aliando-se ao fato do ritmo produtivo ser contínuo e os

equipamentos estarem em regime permanente, foram consideradas representativas para os dois subcritérios.

Observe-se que a banda de 100 kHz não foi avaliada devido ao limite da taxa de amostragem de processamento do sistema de medição. Efetivamente, a medição dessa faixa é prescindível, pois, sendo a fonte ultrassônica “tonal” de frequência na região dos 57 kHz, o seu primeiro harmônico seria na região de 114 kHz, já fora do escopo do TLV da ACGIH.

5.1.2 ICNIRP

Critério do ICNIRP, considerando-se níveis médios integrados, bandas de terços de oitava, de 20 kHz a 80 kHz. Parâmetro representativo: nível equivalente, resposta linear.

Tabela 7 – Nível equivalente medido com ponderação linear (faixa de ULTRASSOM)

$L(z)_{eq}$	
Freq (Hz)	Nível (dB)
20000	53,6
25000	53,7
31500	53,6
40000	53,7
50000	72,5
63000	87,0
80000	57,7

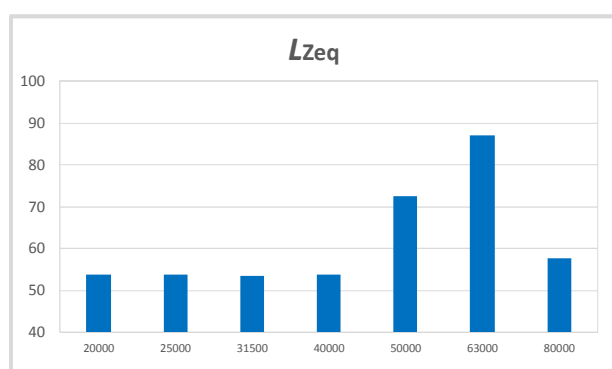


Figura 10 – Representação gráfica da Tabela 7

As amostras foram obtidas com o mesmo critério anteriormente descrito.

5.2 Conclusões sobre a exposição

Os dois critérios de exposição e respectivos limites considerados foram amplamente respeitados, com janelas de folga da ordem dos 20 dB (ver Figura 11). Em outras palavras

1. O Limite de Tolerância da ACGIH na faixa audível (10 kHz – 20 kHz), traço azul à esquerda, é respeitado pelos valores de L_{Zeq} de jornada representados pelas colunas azuis.
2. O Limite de Tolerância da ACGIH na faixa audível (10 kHz – 20 kHz), traço laranja à esquerda, é respeitado pelos valores L_{ZSmax} medidos em resposta lenta, representados pelas colunas laranjas.
3. O Limite de Tolerância da ACGIH no ultrassom (25 kHz – 80 kHz), traço laranja à direita, valor – teto, é respeitado pelos valores L_{ZSmax} medidos em resposta lenta, representados pelas colunas laranjas.
4. O Limite de Tolerância proposto pela ICNIRP, traço azul à direita respeitado pelos valores de L_{Zeq} de jornada representados pelas colunas azuis.

5.3 Recomendações Ocupacionais

Não obstante o atendimento dos critérios, foram apresentadas recomendações tendentes a reduzir ainda mais a exposição no ponto de operação, assim como outras de caráter geral que a boa prática sugere em situações semelhantes.

6 CONCLUSÕES DO ESTUDO

Não obstante os critérios atuais serem complexos e pouco estruturados quanto à forma de avaliar e medir, pode-se demonstrar que a avaliação é factível. Chama-se a atenção para o desafio instrumental que será enfrentado pelos interessados.

Este estudo buscou provocar a discussão sobre o tema, esperando que outros profissionais do campo ocupacional e instrumental se interessem e continuem investigando, pois certamente há relevante ocorrência de

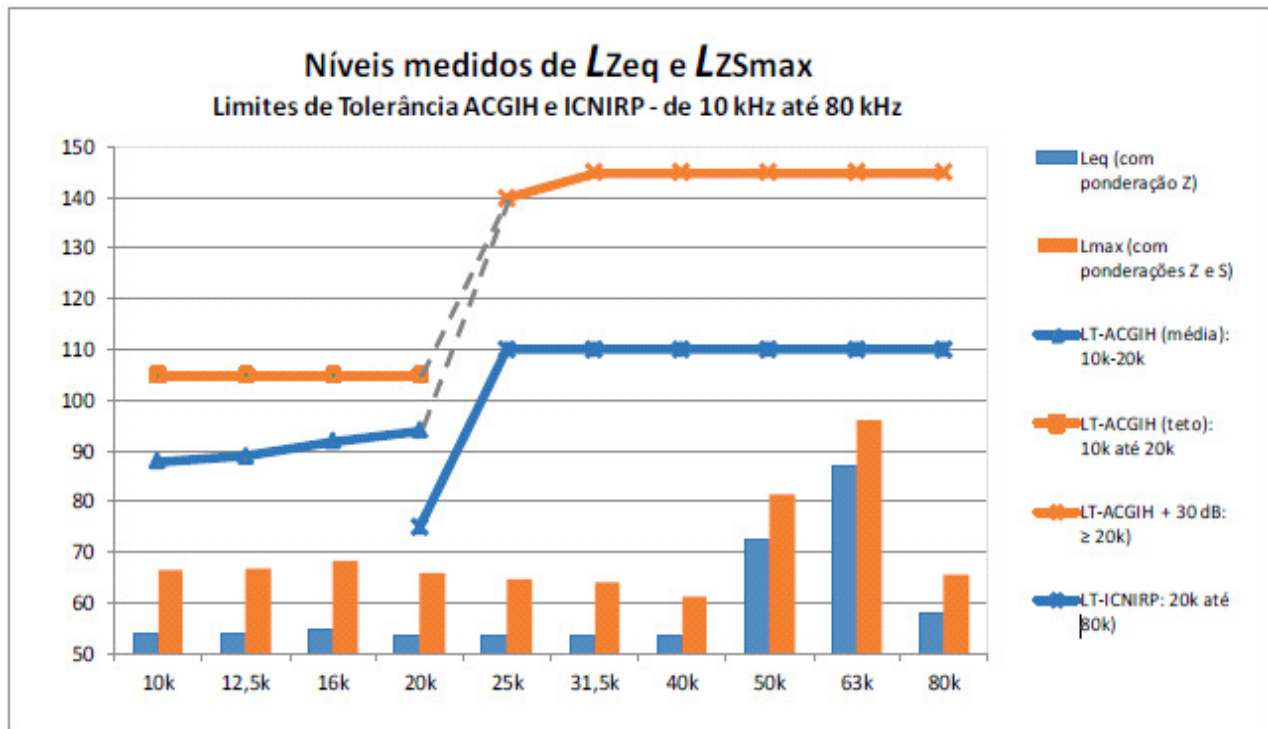


Figura 11 – Níveis medidos de ULTRASSOM (L_{ZeQ} e L_{ZSmax}) e comparativo com os Limites de Tolerância (LT) da ACGIH e ICNIRP

situações semelhantes que ainda demandam a gestão desse risco.

7 REFERÊNCIAS

[1] ACGIH –American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Limites de Exposição Ocupacional (TLVs®) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos. Tradução ABHO. 2022. www.abho.org.br

[2] ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Interim Guidelines on Limits of Human Exposure to Airborne Ultrasound. Health Physics, Vol. 46, No. 4 (April), pp 969-974, 1984

[3] IEC 61672-1:2013. Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications.

[4] Timothy G. Leighton. Ultrasound in air—Guidelines, applications, public exposures, and claims of attacks in Cuba and China. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2473 (2018); doi: 10.1121/1.5063351

[5] Jan Radosz e Dariusz Pleban. Ultrasonic noise measurements in the work environment. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2532 (2018); doi: 10.1121/1.5063812

[6] Mark D. Fletcher, Sian Lloyd Jones, Paul R. White, Craig N. Dolder, Timothy G. Leighton e Benjamin Lineton. Effects of very high-frequency sound and ultrasound on humans. Part I: Adverse symptoms after exposure to audible very-high frequency sound. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2511 (2018); doi: 10.1121/1.5063819

[7] Mark D. Fletcher, Sian Lloyd Jones, Paul R. White, Craig N. Dolder, Timothy G. Leighton e Benjamin Lineton. Effects of very high-frequency sound and ultrasound on humans. Part II: A doubleblind randomized provocation study of inaudible 20-kHz ultrasound. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2521 (2018); doi: 10.1121/1.5063818



[8] Francis Duck e Timothy Leighton. Frequency bands for ultrasound, suitable for the consideration of its health effects. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2490 (2018); doi: 10.1121/1.5063578

[9] Mark D. Fletcher, Sian Lloyd Jones, Paul R. White, Craig N. Dolder, Benjamin Lineton e Timothy G. Leighton. Public exposure to ultrasound and very high-frequency sound in air. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2554 (2018); doi: 10.1121/1.5063817

[10] Salvador Barrera-Figueroa. *Free-field reciprocity calibration of measurement microphones at frequencies up to 150 kHz*. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2575 (2018)

[11] Mario Fantazzini, José Carlos Lameira, Jorge Enrique B Zajakievaiech e Elvis Gouveia Alves. Avaliando a Exposição ao Ultrassom em um Banho de Limpeza. Revista ABHO, Ano 20, No. 62 (Março), pp 36-52, 2021