



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Valores de referência para trens tonais da norma IEC 61672-1 aplicados a um audiodosímetro

Santo, N. M. E.¹; Zajarkievaiech, J.E.B.²; Soares, Z.M.D.³

¹ Inmetro – Laboratório de Electroacústica, Xerém, RJ, Brasil, nmsanto@inmetro.gov.br

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

³ Inmetro – Laboratório de Electroacústica, Xerém, RJ, Brasil, zmsoares@inmetro.gov.br

Resumo

A IEC 61252 está em plena fase de revisão. Uma minuta do projeto de revisão da norma, circulada em 2018, tendia a torná-la mais próxima da IEC 61672 e, portanto, ficaria mais distante do contexto brasileiro. Isto porque a nossa legislação foi baseada na ANSI S1.25 (1991), que calcula a dose (D) e o nível médio L_{av} (ou L_{avg}) a partir do nível sonoro ponderado no tempo S (Slow). Além disso, para a dose, aplica-se uma ponderação energética que não coincide com a dobra natural de energia, um conceito estranho ao contexto da IEC 61252 ou IEC 61672. Em 2020 a IEC circulou a minuta 3WD IEC 61252 que, desta vez, incluía a dose como um parâmetro opcional. Esta inclusão representou uma nova janela de oportunidade para todos os países que, como o Brasil, utilizam parâmetros calculados com energia não-equivalente. Um grupo de discussão da ABNT realizou uma análise crítica da minuta, com contribuições diversas, para ser encaminhada à IEC como voto brasileiro. Uma das questões técnicas mais desafiadoras foi estabelecer uma conexão entre os trens tonais propostos na minuta e sua aplicabilidade para verificar a conformidade das medições de dose ou do nível médio, tal como definido no contexto brasileiro.

Palavras-chave: Audiodosímetro, exposição sonora, calibração periódica, trens tonais, pulsos senoidais.

PACS: 07.64.+z.

Abstract

IEC 61252 is in the full review phase. A first draft of second Edition, circulated in 2018, tended to bring it closer to IEC 61672 and, therefore, would be further from the Brazilian context. This is because our legislation was based on ANSI S1.25 (1991), which calculates the dose (D) and the average sound level L_{av} (or L_{avg}) from the time-weighted sound level S (Slow). In addition, for the dose, an energy weighting that does not coincide with the natural energy bending applies, a concept foreign to the context of IEC 61672. In 2020 the IEC circulated the draft 3WD IEC 61252 which this time includes the dose as an optional parameter. This inclusion represents a new window of opportunity for all countries that, such as Brazil, use parameters calculated with non-equivalent energy. A discussion group of ABNT carried out a critical analysis of the draft, with various contributions, to be forwarded to the IEC as a Brazilian vote. One of the most challenging technical issues was to establish a connection between the tone bursts proposed in the draft and their applicability to verify the conformity of dose or average sound level measurements, as defined in the Brazilian context.

Keywords: Exposure meter, Noise dosimeter, Periodic Tests, Tone Burst, Sinusoidal Pulses.



1. INTRODUÇÃO

Em 2018, a Comissão de Estudo CE-03:029.006 – Sonômetros da ABNT/CB-003 (CE) teve acesso a uma minuta de revisão da IEC 61252 (1993) [1] referente ao projeto de uma segunda Edição (2WD IEC 61252 © IEC:2018). Este acesso é formalizado através da ABNT (Cobei), que representa a IEC no Brasil. Em particular, o coordenador da CE-03:029.006 é membro do TC29 de acústica da IEC. Após uma análise crítica foi possível evidenciar um movimento de aproximação entre o projeto proposto na minuta 2WD IEC 61252 © IEC:2018 e a IEC 61672 [2,3,4], inclusive em relação aos parâmetros, especificações e testes de conformidade. Entendendo que esta linha de condução seria um problema para o Brasil a CE procurou encaminhar um alerta técnico à IEC sobre o espaço vazio que a norma deixaria naqueles países que adotam outros mecanismos de avaliação da exposição sonora ao ruído ocupacional, em particular, a Dose calculada com incremento de duplicação $Q = 5$ e ponderação no tempo S. Lamentavelmente, e por motivos alheios à comissão, o alerta não chegou à IEC em tempo hábil.

Em 2020 a IEC circulou uma nova minuta do projeto (3WD IEC 61252 © IEC:2020) [5] e, para surpresa da CE, a versão incluía a Dose como um dos parâmetros opcionais que o medidor de exposição sonora poderia exibir. Tenha sido como resultado do alerta da CE 03:29.006 ou a pedido de outro membro do grupo de trabalho da IEC, o fato é que o novo viés incorporado ao projeto tornaria a norma plenamente compatível com a necessidade do contexto brasileiro ou norte-americano.

Os objetivos da minuta pareciam claros no sentido de incluir parâmetros calculados com base em uma valoração de energia não-equivalente, ou seja, um tipo de ponderação energética (um conceito que seria estranho no contexto da IEC 61252:1993). Mas, por outro lado, a CE 03:29.006 observou que os testes de trens tonais propostos na minuta, para aprovação de modelo ou testes periódicos, remetiam para os trens tonais especificados na Tabela 4 da IEC 61672-1:2013 [2], cujos

desvios e tolerâncias não seriam adequados para testar a Dose ou o nível médio (L_{avg}). Ora, os trens tonais da IEC 61672-1 especificam desvios e tolerâncias para L_{Fmax} , L_{Smax} e L_{AE} (ou L_{eq}), quando aplicados trens tonais de 4 kHz, de diferentes larguras, e integrando os trens tonais de maneira tradicional com base no quadrado da pressão sonora e não no nível sonoro ponderado no tempo ou algum tipo de ponderação energética. Em outras palavras, a Tabela 4 da IEC 61672-1:2013 não especifica desvios e tolerâncias que permitam testar o desempenho da integração de energia não equivalente (por exemplo, Dose com $Q = 5$ e ponderação S). Além disso, a minuta fazia menção ao limiar de integração (*Threshold*), mas não incluía uma definição do parâmetro nem fornecia qualquer procedimento de teste.

A CE-03:029.006, ciente da nova janela de oportunidade, abraçou o desafio e promoveu uma série de reuniões para discutir de que maneira poderia conectar a minuta ao contexto brasileiro. A Dose, o nível médio e o limiar de integração, definidos na ANSI S1.25:1991 [6], deveriam encontrar não apenas espaço na segunda edição da IEC 61252, mas também serem testados com um procedimento nela especificado.

O desafio consistia na determinação de valores de referência para o nível médio (L_{avg}) para cada um dos trens tonais propostos na Tabela 4 da IEC 61672-1 (2013) e para combinação de $Q = 3$, $Q = 4$ e $Q = 5$ com ponderações no tempo F e S. Também foi assumido o desafio de definir um procedimento de ensaio do limiar de integração.

2. PROBLEMÁTICA PARA USO DOS TRENS TONAIIS DA IEC 61672-1

A ANSI S1.25 define Dose (D) por

$$D = (100/T_C) \int_{t_1}^{t_2} 10^{[(L_{AS}-L_C)(\lg(2)/Q)]} dt, \quad (1)$$

em que T_C é o período total da jornada, L_{AS} é o nível sonoro ponderado em A e S, L_C é o nível de critério (para o qual se assume 100 % de Dose na jornada) e Q o incremento de duplicação. O nível médio (L_{avg}) é definido por

$$L_{avg} = L_C + (Q/\lg(2)) \lg(DT_C/(100T)), \quad (2)$$

em que T é o tempo de integração do cálculo da Dose.

Note-se que L_{AS} (Equação 1) é o nível sonoro ponderado no tempo, de maneira que a Dose, ao contrário da exposição sonora (E) ou do nível contínuo equivalente (L_{eq}), depende da ponderação F ou S . Por outro lado, a razão $\lg(2)/Q$ (no expoente) aplica uma ponderação energética, como um multiplicador da diferença entre o nível sonoro L_{AS} e o nível de critério L_C . Em resumo, a minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020 incorpora a Dose, definida com a mesma equação da ANSI S1.25, apesar da mudança de nomenclatura: “*percentage criterion non-equal-energy sound exposure*”.

O nível médio L_{avg} é definido a partir da Dose, ou seja, também depende da ponderação no tempo, do nível de critério L_C e do intervalo de duplicação Q . Portanto, L_{avg} ($Q = 3$) e L_{eq} não são parâmetros equivalentes.

Os testes de trens tonais (pulsos tonais) especificados na ANSI S1.25 são extraídos de um sinal senoidal de 4 kHz (a mesma frequência dos trens tonais da IEC 61672-1 e da IEC 61252:1993). Todavia, o trem tonal da ANSI S1.25 é construído a partir de um sinal basal que, subitamente, se eleva em 50 dB, no cruzamento por zero. As tabelas 4.A e 4.B da ANSI S1.25 especificam valores de referência da elevação esperada do L_{avg} em relação ao sinal basal para trens de largura 1 ms, 10 ms, 100 ms e 1000 ms, e para um período de integração de 10 s. Nem sempre o medidor de exposição sonora tem recursos para realizar uma integração de um período tão curto, especialmente os de uso pessoal, mas neste caso, os valores de referência serão os mesmos se o trem tonal for repetido a cada 10 s, durante um período de integração tal que produza uma indicação de L_{avg} que estabilize (por exemplo, 5 min).

A tendência das novas normas é dispensar trens com sinais basais ou sinais retangulares. O cerne do problema está justamente nesta questão, porque nem a ANSI S1.25 (1991), nem a IEC 61252 (1993), especificam valores

de referência para a Dose ou para o nível médio utilizando os trens tonais especificados na Tabela 4 da IEC 61672-1 (2013) e a proposta da minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020 não encontraria respaldo para as configurações utilizadas no contexto brasileiro. Seria necessário determinar os valores esperados para o conjunto de pulsos tonais da Tabela 4 da IEC 61672-1 quando os estes pulsos são aplicados a um medidor de exposição sonora que disponibilize de recursos para integrar energia não equivalente e para apresentar o resultado da Dose ou do L_{avg} (instrumento que convencionamos denominar audiodosímetro).

Parece conveniente utilizar pulsos tonais repetidos como especificado em 5.10 da IEC 61672-1 (2013) e desta forma evitar integração em intervalos tão pequenos. Ainda que o audiodosímetro inclua recursos para integrar em 10 s, a sincronização entre o início e parada do intervalo, bem como do acionamento do sinal de teste, pode ocasionar dificuldades operacionais. O uso de trens tonais repetidos com taxa de 10 s, em um período de integração mais longo, contribui para obter uma indicação que estabiliza, por exemplo, com variações não maiores que 0,1 dB (o que pode ser conseguido em até 5 min de integração). Esta condição de teste é viável tanto para os testes de aprovação de modelo quanto para as verificações periódicas.

A minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020 também fazia alusão ao limiar de integração (*Threshold*), mas não o definia nem apresentava uma forma de teste. Tampouco apresentava uma verificação de longa duração para a etapa de aprovação de modelo. O audiodosímetro é conceitualmente projetado para medir em uma jornada de 8 h e, na visão da CE 03:29.006, pelo menos um dos testes de aprovação de modelo deveria considerar este período de integração. Estas problemáticas também foram abordadas neste trabalho.

3. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIA PARA TRENS TONAI

Neste estudo foram utilizados dois audiodosímetros desenvolvidos em plataforma



LabVIEW (National Instruments). O primeiro, baseado em cálculo numérico, formula o resultado a partir de um sinal de entrada simulado, cujos resultados correspondem aos valores de referência propostos pela CE 03:29.006. O segundo, baseado em um sistema de aquisição (canal de entrada físico) sendo excitado com todos os trens tonais da IEC 61672-1 (2013) por um gerador arbitrário. Os resultados medidos experimentalmente foram comparados com os cálculos numéricos.

3.1 Descrição do sistema baseado em cálculo numérico

Um programa computacional capaz de simular o comportamento de um audiodosímetro ideal foi construído utilizando a plataforma LabVIEW. Parte de sua interface com o usuário pode ser vista na Figura 1. O objetivo do programa foi investigar a resposta de um audiodosímetro a sinais de entrada que tenham uma certa complexidade, uma vez que para sinais contínuos, a resposta de um

do sinal que se deseja analisar. O conteúdo deste vetor vem da combinação de dois geradores virtuais de sinal senoidal, sendo possível selecionar em cada um deles, de forma independente, a duração do sinal em milissegundos e o nível em dB. A frequência também pode ser escolhida, mas será sempre a mesma para os dois geradores. Independente das durações e níveis escolhidos pelo usuário, o programa cuida para que a combinação dos sinais dos dois geradores sempre ocorra nos pontos de cruzamento em zero. O programa também verifica, levando-se em consideração a frequência dos sinais, se as durações escolhidas pelo usuário produzirão um número inteiro de ciclos, de forma a garantir que os requisitos de cruzamento por zero sejam cumpridos. Essa topologia com dois geradores foi idealizada a fim de possibilitar a construção de trens tonais com sinais basais. Em um dos geradores escolhe-se a duração e o nível mais alto do trem tonal. Em outro, escolhe-se a duração e nível do sinal basal.

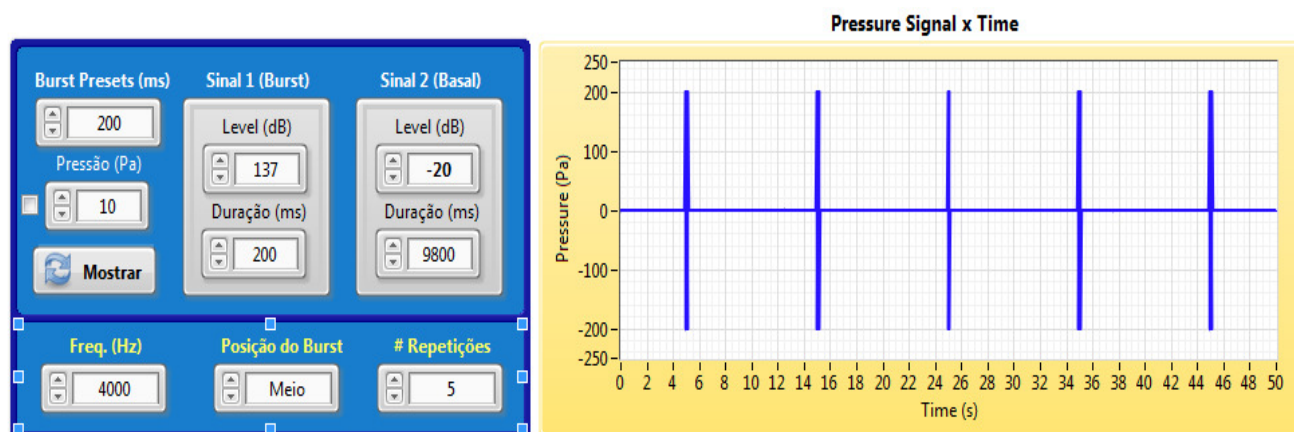


Figura 1: Controles para geração dos sinais de entrada e gráfico Pressão (Pa) x Tempo (s)

audiodosímetro pode ser diretamente calculada usando-se as equações 2 e 3 da norma ANSI S1.25 (1991). Como se trata de um sistema simulador, portanto, sem canais físicos de entrada e de saída, foi necessário dividi-lo em duas partes principais.

Uma delas foi responsável exclusivamente pela geração dos sinais que serviram como entrada para o sistema, enquanto a outra se encarregou da análise e exibição dos resultados de interesse. No simulador, os sinais produzidos pela etapa de geração são acomodados em um único vetor de dados, contendo toda a extensão

Para facilitar a investigação em curso, foi introduzido no simulador um controle onde é possível escolher durações pré-programadas para os sinais dos geradores, de modo que a combinação dos dois sempre resulta numa duração total de 10 s. Um outro controle, permite escolher a posição que o sinal de nível mais alto ocupa dentro do sinal basal. Assim, a parte mais alta do sinal pode ser posicionada no meio, no início ou no final do sinal do trem tonal. Este recurso foi bastante útil em investigações posteriores para avaliar incertezas. Por último, um controle permite ao usuário determinar quantas repetições do trem

tonal (composto pela combinação dos sinais de nível alto e de nível baixo) serão utilizadas, permitindo assim criar-se uma sequência de trens tonais. Obviamente o programa cuida para que as combinações dos sinais sempre ocorram nos cruzamentos em zero. A Figura 1 mostra a configuração dos controles para gerar uma sequência de trens tonais, estando a parte alta do sinal posicionada no centro do intervalo do sinal basal. Uma vez construído, o vetor com os dados de entrada é passado para a parte do código que simula um audiodosímetro conforme especificado na norma ANSI S1.25.

A etapa de análise tem controles para escolha do: incremento de duplicação 3, 4 ou 5 dB; nível de critério (dB); tempo de critério (h); nível de limiar (dB), ponderação no tempo F ou S. Adicionalmente, quando o incremento de duplicação é de 3 dB é possível escolher operar sem ponderação temporal. Existe também um controle para escolha da ponderação em frequência, mas por se tratar de um simulador criado inicialmente para a análise de sinais puramente senoidais, a ponderação em frequência, embora prevista, não foi implementada no algoritmo.

Em relação à apresentação de resultados, o sistema é capaz de mostrar gráficos do sinal de entrada, gráficos dos níveis obtidos após ponderação no tempo, e também gráficos que representam a evolução do L_{avg} com o tempo. Existe também no programa, campos numéricos para indicação da: Dose (%), L_{avg} (dB), Non-Threshold L_{avg} (dB), Exposição Sonora (Pa^2s), Exposição Sonora (Pa^2h), Nível de Exposição Sonora (dB), Leq (dB), Nível Máximo (dB), Nível de pico (dB). A Figura 2 mostra a parte de interface do usuário reservada onde a maioria dos resultados pode ser observada.

A análise se inicia logo que o vetor de dados de entrada, produzido pela etapa de geração, se torna disponível. Os valores de pressão instantânea existentes no vetor são elevados ao quadrado e de imediato, o valor máximo é extraído para o cálculo do Nível de Pico (dB).

Deste mesmo vetor do quadrado da pressão, são extraídos o Leq (dB), os valores de

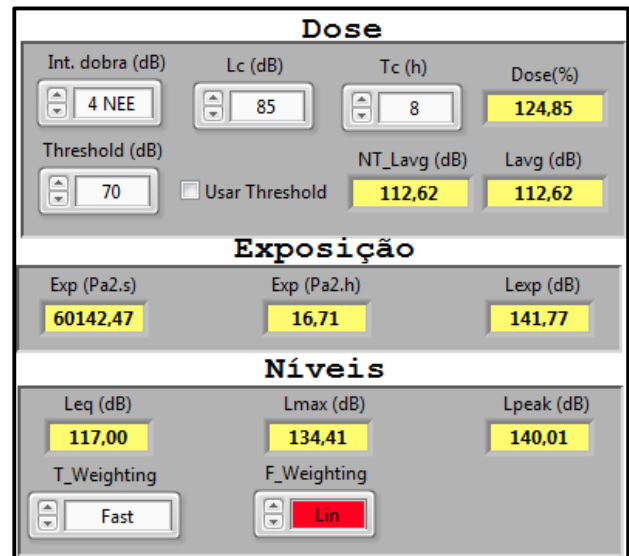


Figura 2: Ajuste de parâmetros e indicação de resultados do simulador

Exposição Sonora em ($Pa^2 s$) e ($Pa^2 h$) e o Nível de Exposição Sonora (dB). Segue-se então a ponderação no tempo F ou S, implementada com filtros IIR. Depois da ponderação temporal são extraídos o Nível Máximo (dB) e a Dose (%), de acordo com os parâmetros definidos pelo usuário. A partir do resultado da Dose (%) é extraído o valor do L_{avg} (dB). O sistema também indica um valor nomeado de Non-Threshold L_{avg} (dB), que é simplesmente o valor do L_{avg} calculado a partir da Dose obtida sem uso de limiar (*Threshold*). Este parâmetro foi útil para avaliar os efeitos do nível de limiar sobre o valor final do L_{avg} (dB). Em blocos, o simulador pode ser representado pela Figura 3.

No que diz respeito à programação, embora o LabVIEW possua algumas funções de alto nível em seu *toolkit Sound & Vibration*, escolheu-se implementar o simulador com funções de baixo nível, a fim de se obter maior controle sobre os algoritmos utilizados, e também otimizar o uso dos recursos de hardware do computador. O simulador foi projetado para executar sua análise a partir de um vetor de dados que esteja disponível e represente toda a duração do sinal que se pretende analisar. Algumas vezes isso implica em lidar com vetores de dados relativamente grandes. O conceito de programação utilizado é completamente apropriado para o objetivo inicialmente proposto, mas definitivamente não

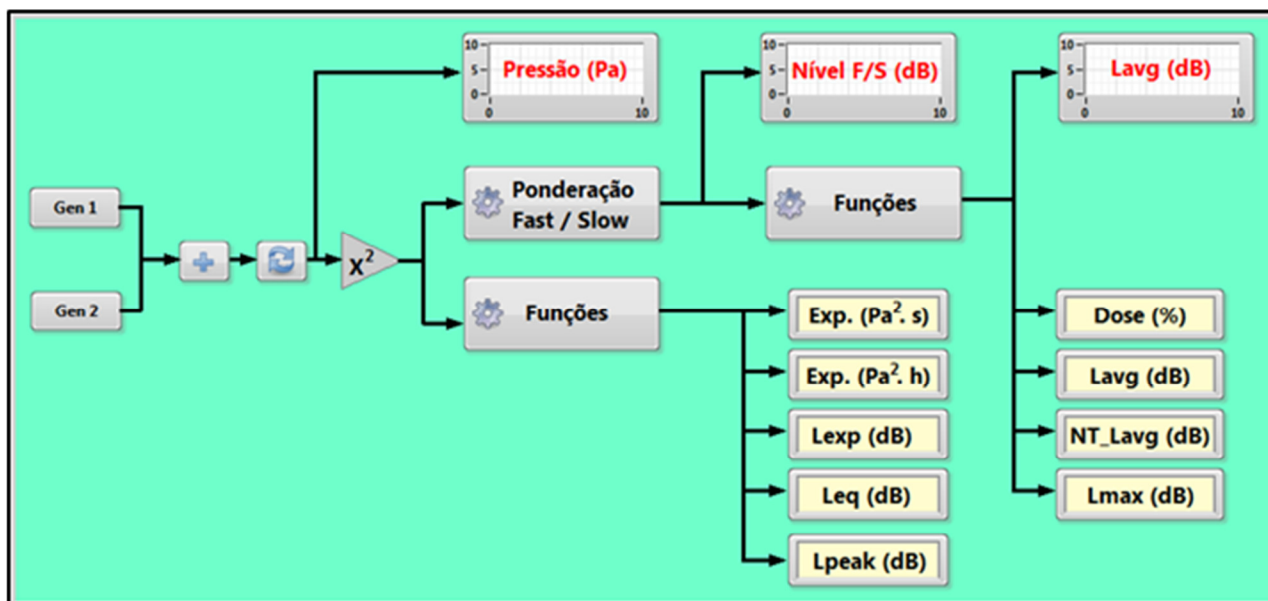


Figura 3: Diagrama em blocos do programa simulador

é o melhor, caso se queira uma análise de longa duração, como por exemplo, análise de uma jornada de trabalho típica com duração de 8 horas. É possível ao usuário escolher a frequência de amostragem dos sinais que serão simulados. Para o estudo pretendido, o simulador operou com frequência de amostragem de 48 kHz, o que supera em mais de dez vezes a máxima frequência existente no sinal de entrada, que foi de 4 kHz. Frequências de amostragem maiores foram utilizadas durante os testes iniciais, e mostraram não trazer benefícios. Ao contrário, trouxeram apenas aumento no tamanho dos vetores utilizados, aumentando também o tempo de processamento e consumindo mais recursos de hardware.

3.2 Descrição do sistema baseado em um canal de aquisição

O audiodosímetro físico também foi desenvolvido em plataforma LabVIEW com um hardware National Instruments PXI 4461 (204 kS/s) sendo excitado por um gerador arbitrário PXI 5421 (100 MS/s) totalmente independente. Os sinais da IEC 61672-1 com larguras de pulsos 0,25 ms, 2 ms e 200 ms, são calibrados pelo Inmetro (laboratório primário no Brasil). Para as outras larguras de pulso tonal o código LabVIEW foi reprogramado convenientemente para gerar sequências entre

1 e 4000 pulsos tonais, fazendo-as coincidir com todas as larguras especificadas na IEC 61672-1, porém com taxa de repetição de 10 s.

O toolkit Sound & Vibration do LabVIEW não oferece funções para cálculo da Dose ou do nível médio com energia não equivalente. Foi necessário, portanto, desenvolver um audiodosímetro conforme a ANSI S1.25.

A partir do sinal (*waveform*) adquirido com as ferramentas do toolkit, ponderado em frequência (*weighted signal*: L_A ou L_C) e ponderado no tempo (*exponential average sound level*: L_S ou L_F), é isolada a via de dados da amplitude e comparada com o valor do limiar de integração (*threshold*) programado no painel frontal. Cada valor de amplitude abaixo do *Threshold* é substituído por zero e então reconstruído o *waveform* de entrada. A partir deste sinal é calculado o integrando da Equação (1) que define a Dose, como mostra o diagrama de blocos da Figura 4. Os níveis de energia não-equivalente são posteriormente integrados no tempo. Como parte do circuito de configuração do canal foi instalado um ajuste de sensibilidade do microfone que poderia ser ajustado, por exemplo, para 50 mV/Pa, ou outra sensibilidade qualquer.

O audiodosímetro foi calibrado pela ANSI S1.25 em laboratório acreditado da RBC. Os

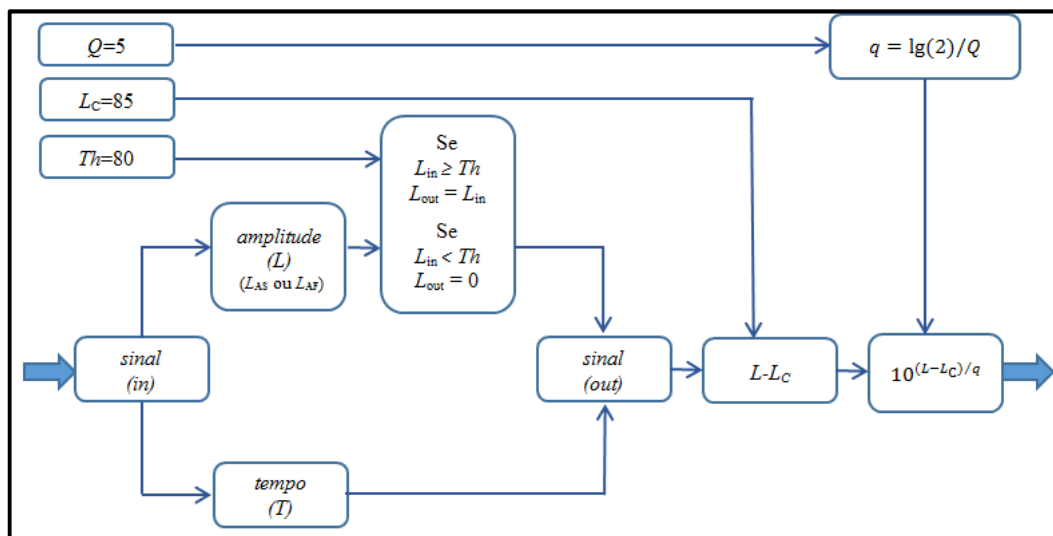


Figura 4: Diagrama de bloco do audiodosímetro e determinação da Dose e do nível médio L_{av} , de acordo com a ANSI S1.25.

piores desvios elétricos encontrados foram da ordem de 0,2 dB para os trens tonais, e erros virtualmente iguais a zero para ponderações em frequência (20 Hz até 20 kHz) e para linearidade de nível (70 dB a 140 dB).

3.3 Resultados para os trens tonais da Tabela 4 da IEC 61672-1

A IEC 61672-1 fornece valores de referência para L_{AE} , L_{AFmax} e L_{ASmax} , para classes 1 e 2. Aos efeitos da IEC 61252 é preciso considerar somente a tolerância da Classe 2. Apesar de não existir uma definição de classe para audiodosímetro as tolerâncias são equivalentes às de sonômetro Classe 2. Por esta razão a tabela de valores de referência proposta pela CE considera valores esperados de L_{avg} para todas as combinações de $Q = 3$, $Q = 4$ e $Q = 5$ e ponderações no tempo F e S, somente para tolerâncias desta classe.

Os valores obtidos através de cálculo numérico foram considerados como valores de referência. Os valores obtidos por meio de excitação elétrica e processamento de sinais foram considerados como elemento de prova. Os códigos foram desenvolvidos de forma independente e em momentos distintos, de maneira que não houve chance de contaminação cruzada ou troca de informações. Uma vez obtidos os resultados estes foram

compartilhados para verificação. A Tabela 1 evidencia a compatibilidade encontrada para todas as larguras de trens tonais e para todas as combinações de ponderações temporais e incrementos de duplicação.

Uma vez confirmada a compatibilidade os valores de referência (cálculo numérico) foram assumidos como os valores que seriam recomendados pela CE 03:29.006. Foram então compilados na Tabela 2. O formato desta tabela é um espelho da Tabela 4 da IEC 61672-1 (2013), somente que se assume uma taxa de repetição de 10 s e tempo mínimo de integração recomendado de 5 min, pelos motivos anteriormente expostos.

Estes valores de referência representam a conexão que faltava entre a proposta da minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020 e a IEC 61672-1 (2013) permitindo testar o desempenho de audiodosímetros com os mesmos trens tonais especificados na IEC 61672-1. Sem os valores da Tabela 2 audiodosímetros que determinam a Dose (%) ou nível médio (L_{avg}) a partir de energia não-equivalente somente poderiam ser verificados pela ANSI S1.25. Outra vantagem de se utilizar os trens tonais da IEC 61672-1 é uma simplificação do requisito técnico associado ao gerador de sinais. Trens tonais com sinal basal requerem geradores arbitrários com mais recursos e faixa dinâmica mais



Tabela 1: Comparação de resultados entre o cálculo numérico (valor de referência) e os resultados medidos experimentalmente (audiodosímetro National Instruments).

	Valor experimental - Valor de referência (cálculo numérico)					
	Fast			Slow		
Largura Burst	Lav(A,F) - L(A,ref) (dB)			Lav(A,S) - L(A,ref) (dB)		
Duração (ms)	Q=3	Q=4	Q=5	Q=3	Q=4	Q=5
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
500	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
200	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,05
100	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,01
50	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,04	0,00
20	-0,02	-0,01	-0,01	-0,05	0,04	0,02
10	-0,02	-0,03	-0,01	0,00	-0,03	-0,02
5	-0,09	0,00	0,00	-0,03	0,14	-0,03
2	-0,06	-0,02	0,04	-0,09	0,04	-0,02
1	0,05	-0,05	-0,02			
0,5	-0,07	-0,10	-0,05			
0,25	-0,13	-0,09	-0,16			

extensa, que obviamente implica em elevação do investimento.

Em 2020 a Tabela 2 foi apresentada ao TC29 da IEC através do voto brasileiro, oficialmente formalizado pela ABNT. Em 2021 a proposta foi discutida na IEC e aceita pelos membros da comissão. A partir de então foi inserida no projeto IEC 61252 Ed.2 como referência para os testes de trens tonais na etapa de aprovação de modelo segundo consta no *Draft 1CD IEC 61252 © IEC:2022*. No momento da elaboração deste trabalho a norma IEC 61252 Ed.2 está na etapa final de discussão e caminha para a versão FDIS. É pertinente observar que a nova edição absorve o mesmo *knowhow* de outras normas, incorporando seções dedicadas a especificações, aprovação de modelo e testes periódicos. No caso da IEC 61252 Ed.2 uma única parte incorpora as três seções, ao contrário do conjunto IEC 61672 em que cada seção é tratada em uma parte independente.

A nomenclatura L_{ASnee} equivale ao nível médio L_{avg} com ponderação em frequência A e ponderação no tempo S. A sigla “nee” significa *non-equal-energy* e é sugerida na minuta para todos os parâmetros que identificam algum tipo de integração energética não equivalente.

Mantendo esta perspectiva em mente a CE 03:29.006 optou por sugerir a sigla L_{ASnee} para representar o que seria denominado como *time-averaged non-equal-energy sound level*, sugestão que foi aceita pela IEC. Na prática, o voto brasileiro contribuiu para manter os fundamentos da base normativa brasileira, pois todo o histórico de décadas de audiodosímetrias foi fundamentado na integração de energia não equivalente. Contribui para resguardar o registro de medições, tanto das análises de risco de perda auditiva ocupacional da iniciativa privada quanto das fiscalizações promovidas pelas repartições competentes do Estado. A norma ANSI S1.25, mesmo sendo uma norma norte-americana, é referenciada, direta ou indiretamente, na NR-15 e na NHO-01 (da Fundacentro). A migração para a IEC 61252 Ed2 poderá ocorrer com bastante naturalidade sendo apenas necessário estabelecer a equivalência de nomenclaturas. Isso também interessa aos fabricantes de audiodosímetros que poderão se utilizar da terminologia correta, evitando confusão ou ambiguidade na descrição dos parâmetros que são exibidos no instrumento e, especialmente, no correto cálculo interno (hardware ou software).

Tabela 2: *Reference response to a sequence of repeated 4 kHz tonebursts, δ_{ref} , relative to the steady sound level* (resposta de referência a uma sequência de trens tonais de 4 kHz, δ_{ref} , relativa a um nível sonoro estável)

Toneburst duration for 10 s repetition rate ms	Reference response to a sequence of repeated 4 kHz tonebursts, δ_{ref} , relative to the steady sound level $\frac{L_{ASnee} - L_{AS}}{L_{AFnee} - L_{AF}}$ dB			Acceptance limits dB
	F; Q=3	F; Q=4	F; Q=5	
1000	-10,0	-12,9	-15,8	$\pm 1,0$
500	-13,0	-16,6	-20,1	$\pm 1,0$
200	-16,9	-21,2	-25,1	$\pm 1,0$
100	-20,0	-24,4	-28,5	$\pm 1,0$
50	-23,0	-27,5	-31,7	+1,0; -1,5
20	-26,9	-31,6	-35,8	+1,0; -2,0
10	-30,0	-34,6	-38,9	+1,0; -2,0
5	-33,0	-37,6	-41,9	+1,0; -2,5
2	-36,9	-41,6	-45,9	+1,0; -2,5
1	-40,0	-44,6	-49,0	+1,0; -3,0
0,5	-43,0	-47,6	-52,0	+1,0; -4,0
0,25	-46,0	-50,7	-55,1	+1,5; -5,0
	S; Q=3	S; Q=4	S; Q=5	
1000	-10,0	-11,4	-12,5	$\pm 1,0$
500	-13,0	-14,5	-15,7	$\pm 1,0$
200	-17,0	-18,6	-19,9	$\pm 1,0$
100	-20,0	-21,6	-22,9	$\pm 1,0$
50	-23,0	-24,7	-26,0	+1,0; -1,5
20	-27,0	-28,6	-30,0	+1,0; -2,0
10	-30,0	-31,7	-33,0	+1,0; -3,0
5	-33,0	-34,7	-36,0	+1,0; -4,0
2	-37,0	-38,7	-40,1	+1,5; -5,0

Laboratórios de aprovação de modelo poderão utilizar a Tabela 2 para executar a bateria de testes elétricos pertinentes, comprovando a conformidade do projeto de audiodosímetro antes mesmo de ser comercializado. Laboratórios de calibração poderão incluir um conjunto parcial de testes para comprovar a manutenção do desempenho do instrumento. A tendência da IEC é sobrecarregar a etapa de

aprovação de modelo e então simplificar a verificação periódica.

4. PROPOSTA DE SINAL TESTE PARA O LIMIAR (*THRESHOLD*)

A minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020 fazia menção ao *threshold*, mas não incluía uma definição nem um método de teste. No voto brasileiro foi sugerido um método para verificar a performance do limiar de integração



na etapa de aprovação de modelo. A proposta para inclusão deste procedimento não foi aceita pela comissão da IEC. Todavia, o procedimento registrado neste trabalho poderá ser um guia de teste para os fabricantes verificarem o desempenho do limiar de integração ou até mesmo de testes realizados por laboratórios de calibração se forem requisitados pelos clientes.

O método da ANSI S1.25 consiste em um pulso tonal, com envoltória de amplitude retangular, cujo nível alto é ajustado para 3 dB, 4 dB ou 5 dB acima do limiar, durante 5 s, e o nível baixo ajustado para 2 dB abaixo do limiar, também durante 5 s, repetidamente. A Figura 5 mostra o painel frontal do audiodosímetro, com a configuração de *Threshold* tal como proposto pela ANSI S1.25. Como mencionado anteriormente, as novas normas evitam o uso de pulsos tonais com sinais basais ou sinais retangulares. Foi, então, formulado, testado e proposto um sinal inovador para o limiar de integração. Diversos sinais foram testados para verificar quais deles teriam uma boa sensibilidade para detecção do *Threshold* (relação entre nível e largura do

trem tonal e a taxa de repetição).

O teste proposto na Tabela 3 tem tal característica quando a ponderação no tempo *S* está selecionada, pois a constante de 1 s interage diretamente com a taxa de repetição de 3 s, maximizando a sensibilidade da detecção (*Threshold ON/OFF*). O teste é realizado com um sinal senoidal estável de 1 kHz, ajustado para uma indicação 4 dB acima do *Threshold*. Por exemplo, se o limiar for programado para 80 dB, o ajuste do sinal senoidal contínuo, do qual o pulso tonal é extraído, será de 84 dB. O trem tonal tem largura de 1 s e taxa de repetição de 3 s, ou seja, permanece 1 s ativo e 2 s inativo, e assim por diante. Os valores propostos, foram determinados pelo método de cálculo numérico e corroborados experimentalmente com o sistema de aquisição.

As tolerâncias foram determinadas propondo um erro máximo admissível de $\pm 0,5$ dB para o limiar de integração. Os valores de tolerância da Tabela 4 correspondem à simulação do erro aplicado ao limiar.

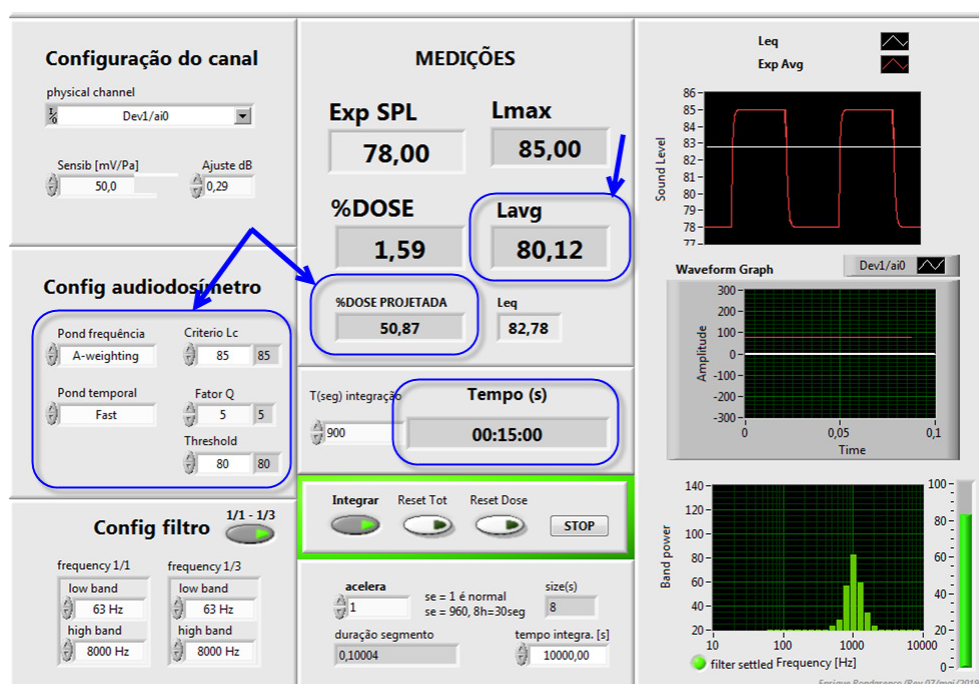


Figura 5: Painel frontal do audiodosímetro Naciona Instruments. Imagem ilustrativa da verificação dos sinais de teste de *Threshold* especificados na ANSI S1.25.

Tabela 3: Comparação de resultados entre o cálculo numérico (valor de referência) e os resultados medidos experimentalmente (audiodosímetro National Instruments).

Toneburst duration for 3 s repetition rate ms	Exchange rate dB	Reference threshold circuit response to a sequence of repeated 1 kHz tonebursts, δ_{ref} , relative to a steady sound level 4 dB above threshold level $L_{ASnee} - L_{AS}$ dB	Acceptance limits dB
1000	3	-7,1	+0,5; -0,7
	4	-8,5	+0,7; -1,0
	5	-10,0	+0,9; -1,2

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ANSI S1.25 foi publicada há mais de 3 décadas e, além de não ter sido revisada até a presente data, se desconhece qualquer movimento nesse sentido. A legislação brasileira, que adotou esta norma como fundamento para avaliação do ruído ocupacional, poderia ser colocada em risco assim como todo o histórico de audiodosimetrias. Por outro lado, a partir da minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020, que incorporou a capacidade opcional de um medidor de exposição sonora calcular a Dose e o L_{avg} com base na integração de energia não equivalente, apontaria como método de verificação da conformidade trens tonais especificados na IEC 61672-1, cujos valores de referência não se aplicam a este tipo de integração.

Os resultados deste trabalho estão resumidos na Tabela 2 e representam a conexão definitiva entre a minuta 3WD IEC 61252 © IEC:2020 e os trens tonais da IEC 61672-1, incorporados ao projeto a partir do draft 1CD IEC 61252 © IEC:2022. O Brasil aproveitou a janela de oportunidade, especialmente no sentido de manter a base normativa que fundamenta o cálculo da Dose e do L_{avg} , amplamente utilizados no contexto brasileiro e em outros países. Embora a proposta para o *Threshold* não tenha sido igualmente aceita pelo WG da IEC, é uma ferramenta que fica à disposição dos fabricantes ou dos laboratórios para verificação do desempenho da programação do limiar.

A iminente publicação da IEC 61252 Ed2 incluindo a Tabela 2 deste trabalho representa para muitos países a manutenção dos fundamentos normativos que sustentam as avaliações de ruído ocupacional, além, claro, da vantagem de migrarem para uma norma de caráter internacional.

REFERÊNCIAS

- [1] IEC 61252:1993 Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.
- [2] IEC 61672-1:2013 Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications.
- [3] IEC 61672-2:2013 Electroacoustics - Sound level meters - Part 2: Pattern evaluation tests.
- [4] IEC 61672-3:2013 Electroacoustics - Sound level meters - Part 3: Periodic tests.
- [5] 3WD IEC 61252:2021.
- [6] ANSI S1.25: 1991 Specification for Personal Noise Dosimeters.