

ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UMA LINHA DE TIRO

*Eng. Rodrigo Testa Ribeiro
Eng. Paulo Lemos*

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo identificar o que são materiais isolantes acusticamente e escolher a melhor opção entre os materiais encontrados para efetuar o isolamento acústico de uma cabine de uma linha de tiro a fim de proporcionar ao atirador e às demais pessoas envolvidas na atividade melhor conforto acústico durante sua prática, além de evitar problemas de saúde decorrentes da exposição excessiva ao ruído gerado durante longos períodos de utilização.

Palavras-chave: Isolamento acústico, Isolamento acústico de espuma de poliuretano, Isolamento acústico de lã de vidro.

INDOOR FIRING RANGE SOUNDPROOFING

*Eng. Rodrigo Testa Ribeiro
Eng. Paulo Lemos*

Abstract

This article aims to identify acoustically insulating materials, to choose the best option among the materials found in order to acoustically isolate a indoor firing range, thus providing the shooter and the person outside of the firing range same best acoustic comfort during its practice, avoiding recurring health problems to excessive exposure to noise during long period of use.

Key-words: Acoustical panels, Polyurethane Wall Panels, Glass Wool Panels.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo visa apresentar a análise e configuração da melhor solução para efetuarmos o isolamento acústico de uma cabine de tiro, para que os ambientes adjacentes não sejam influenciados ou haja perturbação sonora durante o manuseio de armas de fogo dentro da cabine de tiro e que o atirador tenha conforto acústico durante a prática de tiro, diminuindo o incômodo às pessoas e possíveis danos à audição.

Atualmente, com o avanço da medicina e a preocupação das pessoas, tanto no seu momento de lazer quando exercendo suas atividades remuneradas, existe uma busca por melhores condições de ambiente, tanto para conforto térmico quanto acústico, sempre visando manter a integridade de sua saúde física e mental. Estudos mostram que a exposição ao ruído fora de controle pode causar perda de audição, zumbidos, nervosismo e até impotência sexual, de acordo com o médico otorrinolaringologista Bruno Castro.

Atualmente existem amparos legais estabelecidos pelo Ministério da Economia (responsável atualmente por atividades do extinto Ministério do Trabalho) que visam regulamentar e garantir um ambiente de trabalho adequado e padrão a todos os trabalhadores do Brasil. Diante do exposto, iremos considerar o contido nas normas NR-15 (Ruídos e impacto) e na NR 06 (Equipamentos de proteção individual), para manter as medições e metas a serem alcançadas dentro do estabelecido pela legislação, que tem seu dados baseados em estudos visando criar limites nos quais os seres humanos podem ser expostos sem que sua integridade física possa ser afetada.

O isolamento acústico está muito difundido na construção civil e ambientes de trabalho, sempre visando o conforto acústico para o ambiente. Hoje em dia, existe mais de um método que pode ser utilizado para executar a função de isolar acusticamente um ruído que possa criar desconforto e/ou danos na audição das pessoas.

O método mais utilizado, no ambiente proposto, de acordo com pesquisa realizada pelo autor, é a espuma acústica de poliuretano, que devido a sua estrutura celular promove a absorção sonora através do atrito e sua superfície com cunhas anedóticas serve para aumentar a área de absorção e proporcionar a difração do som. Por se tratar de espuma temos que levar em consideração o fabricante e as especificações de segurança, pois podemos solucionar um problema, acústico, e criar outro, que seria o risco de incêndio, devido a espuma ser inflamável. Portanto, considerando estas questões não se pode utilizar qualquer espuma para isolar acusticamente um ambiente, pois a mesma deve respeitar a norma do corpo de bombeiros, NBR 9442/ IT-10, visando evitar possíveis acidentes como exemplo o caso ocorrido na boate Kiss, no qual morreram 242 pessoas no dia 27 de janeiro de 2013, em Santa Maria, RS, por inalação de fumaça gerada através da queima do isolamento acústico e pelas chamas do mesmo, na qual o isolamento acústico utilizado não era adequado e não atendia as normas de segurança.

Os Equipamentos de Proteção Individual e Coletivo (EPI e EPC) também tiveram grande evolução, atualmente existe EPI específico para cada função, no caso deste estudo há o abafador acústico normatizado para ser utilizado em prática de tiro, que proporciona conforto acústico ao atirador e evita danos a exposição contínua ao ruído.

Considerando estas informações temos o necessário para criarmos um ambiente adequado com conforto acústico e assegurar a segurança e integridade de todos os ocupantes do ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a difusão da prática de tiro e visando o conforto às pessoas que gostam da prática, esta revisão tem como objetivo analisar e configurar a melhor solução para isolar acusticamente uma cabine de tiro de uma linha de tiro, levando em consideração o isolamento acústico e a segurança do praticante de tiro.

Considerando que as ondas sonoras que atingem o atirador são provenientes de dois caminhos vindos da fonte geradora de som, sendo eles: o caminho direto, no qual o som proveniente da fonte vai direto para o ouvido da pessoa e o som refletido pelo meio, no qual o som rebate nas paredes do ambiente até chegar ao ouvido. Com o som refletido e o som direto, temos a reverberação que ocorre quando o som refletido atinge o ouvido no momento que o som direto está se extinguindo, ocasionando o prolongamento da sensação auditiva.

No sentido de proteção do indivíduo, em relação ao som refletido iremos trabalhar para eliminar, ou reduzir ao máximo, diminuindo o tempo de reverberação, que é o tempo que o som demora para cair abaixo de 60db, causando melhor conforto sonoro ao usuário de acordo com estudos de conforto acústico de Mcgraw-Hill The Master Handbook of Acoustics. Já em relação ao som direto iremos trabalhar com a escolha do melhor EPI para diminuir a exposição ao atirador.

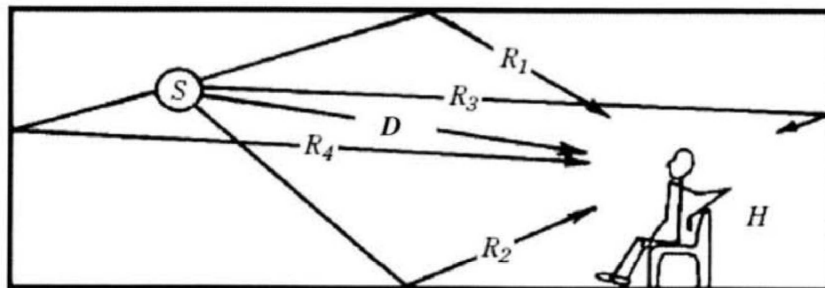


Figura 1. Onda D, direta e ondas R1, R2, R3 e R4, reverberadas
Fonte: The Master Handbook of Acoustics

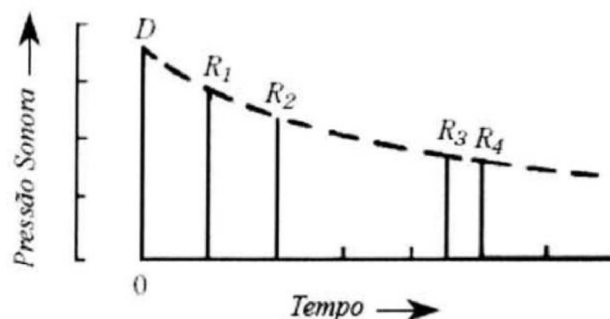


Figura 2. Ilustração de sequencia temporal para extinguir o ruído em espaços fechados
Fonte: The Master Handbook of Acoustics

Outro conceito importante é a absorção sonora que é o quanto o material consegue absorver de energia sonora evitando que parte desta energia seja refletida, desta forma

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO 2020/02

temos o coeficiente de absorção sonora que varia de 0 até 1. No caso deste estudo, a parede a ser considerada é a de alvenaria, que possui coeficiente de 0,01 ou seja, praticamente não absorve nenhuma energia sonora, causando a reverberação e a não eliminação do ruído. Diante do exposto, revestiremos as paredes da linha de tiro a fim que este coeficiente seja elevado a praticamente 1, que se compara a uma janela aberta, aonde não há nenhuma refração da onda sonora.

Estes coeficientes são obtidos do raciocínio que temos através de quatro elementos: energia incidentes (E_i), fração da energia refletida (E_r), energia absorvida pelo material (E_a) e energia transmitida pelo material (E_t), com estes parâmetros temos a equação 1:

$$E_i = E_r + E_a + E_t \text{ (Equação 1)}$$

Combinando a energia absorvida com energia transmitida e dividindo teremos:

$$1 = \frac{E_r}{E_i} + \frac{E_t + E_a}{E_i} \text{ (Equação 2)}$$

Com isso podemos chamar os termos de coeficiente de reflexão (α_r) e coeficiente de absorção (α_θ)

$$1 = \alpha_r + \alpha_\theta \text{ (Equação 3)}$$

Com estes dados foi buscado o melhor material, ou seja, o melhor coeficiente de absorção para os parâmetros de ambiente que temos, como uma cabine de tiro com medidas de 1,5m de largura por 2,5m de comprimento, confeccionada em alvenaria, com coeficiente de absorção de 0,01, já havendo porta dupla, sendo cada porta feita com pranchas de madeira de 1", com coeficiente de absorção de 0,20 cada porta.

Temos que levar em consideração que materiais com coeficiente de absorção acima de 0,50 são considerados isolantes, enquanto abaixo disso são considerados refratores.

Os principais objetivos são eliminar a reverberação dentro da cabine e que fora da linha de tiro fique um ambiente sem influência das atividades executadas dentro da linha, podendo os ocupantes realizarem suas atividades com segurança. O objetivo é que fora da linha de tiro o ruído não ultrapasse os 85 DBs conforme o quadro 1, contido abaixo, e dentro da linha o atirador tenha melhor conforto acústico possível, na soma dos atenuadores de ruído, isolamento acústico e protetor auricular.

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO 2020/02

NIVEL DE RUÍDO DB (A)	MAXIMA EXPOSIÇÃO DIARIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Quadro 1. Máxima exposição a níveis de ruído conforme NR 15
Fonte: Norma Regulamentadora 15

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram obtidos em três etapas, em cada etapa foram disparados 10 vezes com a mesma munição e posteriormente feito a média dos dados obtidos. Primeiro foram feitas as medições durante o uso da arma sem utilização de isolamento acústico e posteriormente foram utilizados dois isolamentos acústicos, um de espuma de poliuretano e outro de lã de vidro; as medições internas foram feitas na altura do ouvido do atirador e as medições externas foram realizadas a 1m da porta e a 1,5m de altura do chão, foi seguido este padrão para todas as medições executadas, todas as medições foram feitas com decibelímetro padrão aferido pelo Inmetro.

A arma utilizada foi uma Taurus .410 conforme figura 3. O som emitido pela mesma é considerado um ruído de impacto, que é quando o ruído tem duração inferior a 1 segundo, chegando em 140 dB numa frequência entre 4120 e 4580 hz, de acordo com o artigo análise acústica e psicoacústica do ruído de armas utilizadas pela Polícia Militar.



Figura 3. Arma utilizada durante os testes acústicos

Fonte: Internet

3.1 Primeiro teste de isolamento

Foi utilizado o isolamento acústico de espuma de poliuretano de nome comercial Sonex Illtec Perfilado com 35mm de espessura, este possui fácil instalação e manuseio, somente necessita ter uma superfície limpa para ser instalado, pois o mesmo é colado na superfície, com isso podemos cobrir qualquer área, mesmo sendo de difícil acesso, com curvas ou cantos vivos, por se tratar de uma espuma o mesmo tem resistência maior a contatos físicos, não rasgando ou danificando o isolamento, aumentando sua vida útil. Desta forma, temos os seguintes dados:

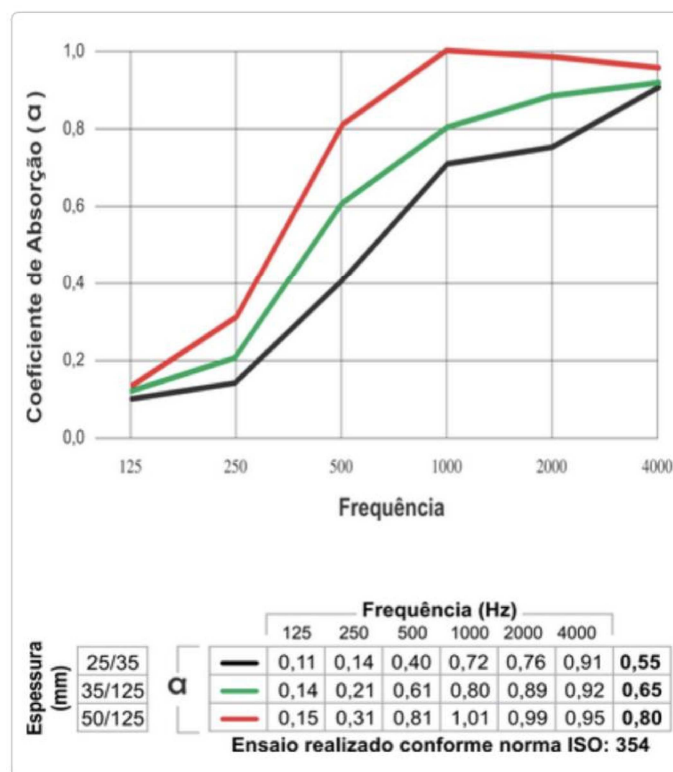


Figura 4. Gráfico coeficiente de absorção x frequência, fornecido pelo fabricante

Fonte: Fornecedor Isar, <http://www.isar.com.br>

Com este gráfico podemos verificar que esta espuma se comportaria perfeitamente como isolante acústico, pois emitimos com os tiros um som na faixa de 4120 e 4580 hz e de acordo com o fabricante a freqüência de 4000hz possui um coeficiente de absorção de 0,92.



Figura 5. Isolamento acústico Sonex Illtec Perfilado
Fonte: Fornecedor Isar, <http://www.isar.com.br>

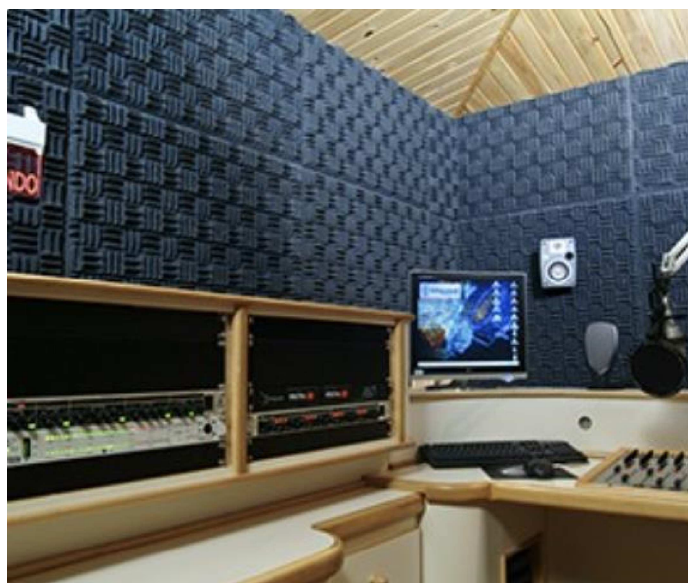


Figura 6. Ambiente com o isolamento acústico Sonex Illtec Perfilado
Fonte: Fornecedor Isar, <http://www.isar.com.br>

Este isolamento conforme o fabricante atende aos critérios de segurança exigidos pela instrução técnica do corpo de bombeiros do estado de São Paulo - IT10, tornando o mesmo seguro para ser utilizado em ambientes fechados.

3.2 Segundo teste de isolamento

O segundo isolamento acústico testado foi a lã de vidro com acabamento em tecido TNT, que possui alta resistência a temperatura e ao fogo, podendo estar em ambientes de

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO 2020/02

trabalho a 250°C. A lã de vidro é muito utilizada na construção civil, entre camadas de alvenaria, pois também é excelente isolante térmico, muitas vezes mais usada como isolante térmico do que acústico.

O acabamento da placa por ser de TNT possui baixa resistência mecânica, ou seja, se houver muito fluxo de pessoas no ambiente e tocando no isolamento, que é algo inevitável, pode acontecer de danificar o acabamento do isolante e conseqüentemente o isolamento diminuir sua vida útil e deixar o ambiente com aspecto de mal cuidado.



Figura 7. Painel de lã de vidro com acabamento em TNT
Fonte: Internet

Por se tratarem de painéis o preparo para efetuar a instalação é mais difícil, para efetuar sua instalação são necessários perfis metálicos para fixar os painéis na parede, isso dificulta sua instalação e em determinados ambientes pode influenciar na segurança, como no caso do presente estudo, pois trata-se de um ambiente onde há manuseio de armas de fogo e se houver algum disparo acidental, o projétil pode atingir o perfil metálico e ricochetear em direção ao atirador, podendo causar algum dano leve ou até mesmo mais grave.

Conforme fabricante temos os seguintes coeficientes de absorção acústica:

4000	1,05	0,96	0,87	1,06	0,97	1,04	0,91
5000	1,04	0,90	0,82	1,04	0,92	0,95	1,00

Frequência	PSI 60x25	PSI 60x50	PSI 40x25	PSI 40x50	PSI 30x50	PSI 30x25	PSI 30x100
------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Quadro 2: Coeficientes de absorção do painel de lã de vidro
Fonte: Fornecedor Isar, <http://www.isar.com.br>

Pela tabela fornecida pelo fabricante temos um coeficiente de absorção de 0,97 para frequência de 4000 Hz, para o produto PSI 30x50, com este dado, em teoria, o isolamento acústico por placa de lã de vidro seria melhor que o por espuma acústica, pois possui coeficiente de absorção superior para a mesma frequência de trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os testes obtivemos os seguintes resultados:

	Sem isolamento	Sonex	Lã de vidro
Dentro da cabine de tiro	124 dB	101 dB	121 dB
Fora da cabine de tiro	98 dB	85 dB	92 dB

Quadro 3: Resultados das medições
Fonte: Criado pelo autor

Com os resultados obtidos concluímos que o melhor isolamento acústico para a linha de tiro é o isolamento tipo espuma Sonex, mesmo possuindo coeficiente de absorção acústica menor que o da placa de lã de vidro, esta diferença dos resultados pode ser justificada pelo fato que os testes dos fabricantes aos ruídos foram efetuados com sons constantes nas determinadas frequências, já no caso deste estudo, estamos trabalhando com uma arma de fogo, que opera em regime de som por impacto num breve período de tempo, podendo isso ter interferido nos resultados obtidos. Também podemos analisar que a medição do ruído dentro da cabine com o isolamento de lã de vidro foi próximo ao sem isolamento, isso pode ser da estrutura que o mesmo é confeccionado, sendo uma superfície lisa, e pelo fato de que é um isolante visando o conforto acústico para parte externa do ambiente, muito utilizado em enclausuramento de geradores de energia e compressor de ar, que o foco é que o ruído seja reduzido externamente e não internamente. Outro ponto a favor da espuma acústica é que esta possui fácil instalação e não necessita de perfilado para fixação, neste caso de linha de tiro, o perfilado pode ser um problema, pois se houver algum disparo acidental dentro da mesma pode o projétil bater no perfilado e ricochetear, podendo acertar o atirador.

Bom salientar que, hoje pela nossa legislação se exige PPCI dos ambientes, que deve ser acompanhada por responsável técnico a fim de evitar acidentes, pois no caso deste estudo, existem muitas fontes geradoras de incêndio, por se tratar de materiais inflamáveis e tóxicos se forem utilizados materiais de baixa qualidade ou materiais que não são para estes fins poderá acarretar em grave acidente; temos também a questão da pólvora, por se tratar de utilização recorrente sempre há acúmulo de pólvora não deflagrada que acaba impregnando o material isolante, se o mesmo não for devidamente limpo, com o acúmulo de pólvora poderá gerar um acidente, neste caso a pólvora entrará em combustão, mas se tivermos algum material inflamável no ambiente poderá se tornar uma grande catástrofe. Neste estudo de caso, trabalhamos somente com materiais devidamente regulamentados e testados para não ocorrer nenhum tipo de acidente, mesmo se houver acúmulo de pólvora e por acidente esta entrar em combustão a mesma se extingue, pois só a pólvora queimará logo e o material isolante não entrará em combustão.

Com os resultados, dentro da cabine obtivemos um ruído a cima de 85 dB, e por isso se faz necessário trabalhar numa proteção individual ao atirador, neste caso, protetor auricular. Atualmente, existem 2 tipos de protetores auriculares, o interno e o tipo concha, abaixo vamos analisar as opções.

Para analisar escolhemos o protetor auricular tipo concha da 3M, CA 14235, com redução de ruído de 21 dB conforme tabela fornecida pelo fabricante.



Figura 8. Protetor auricular 3M
Fonte: 3M do Brasil

3M Muffler haste sobre a cabeça

FREQUÊNCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRRsf
Redução De Ruído No Ouvido (dB)	14	19	26	37	31	30	29	21 dB
Desvio Padrão (dB)	3	3	3	3	2	4	5	

Quadro 4. Resultado de redução de ruído
Fonte: 3M do Brasil

Com esta tabela, podemos verificar que o mesmo possui uma redução de 21 dB NRRsf para abafadores da haste sobre a cabeça, com isso chegamos a conclusão que este abafador atende a nossa necessidade, visto que, dentro da linha há ruído de 101 dB, reduzindo os 21 dB, chegamos a 80 dB, nível abaixo do máximo exigido pela NR 15.

O protetor auditivo de inserção analisado foi o da 3M, modelo Pomp Plus, CA 5745, feito em silicone, abaixo segue informações do mesmo.



Figura 7. Protetor auricular de inserção 3M

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO 2020/02

Fonte: 3M do Brasil

FREQUÊNCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRRsf
Redução De Ruído No Ouvido (dB)	23	24	27	23	27	33	38	19 dB
Desvio Padrão (dB)	5	5	5	5	4	6	5	

Quadro 5. Resultado de redução de ruído
Fonte: 3M do Brasil

Com esta tabela, podemos verificar que o mesmo possui uma redução de 19 dB NRRsf, com isso chegamos a conclusão que este abafador também atende a necessidade, já que, dentro da linha há ruído de 101 dB, reduzindo os 19 dB que o abafador reduz, chegamos a 82 dB, nível abaixo do máximo exigido pela NR 15, mas acima do protetor tipo concha do mesmo fabricante.

Saliento que os valores de NRRsf foram analisados, e caso analisemos os valores de redução de ruído para a frequência gerada pelo tiro que é na faixa de 4000 Hz a 5000 Hz, ambos os protetores, possuem atenuação maior, tornando mais eficiente para a atividade proposta.

5. SUGESTÕES

Como sugestão temos dois pontos a acrescentar, primeiro seria a utilização de uma manta de Kevlar® sobre o isolante acústico, isso ajudaria na atenuação de ruído e também auxiliaria na proteção do isolamento acústico contra princípio de incêndio, já que o Kevlar® tem uma resistência térmica de 426 °C.

Outra sugestão é a utilização de dois EPIs, no caso, o protetor auditivo tipo concha junto com o tipo plug, os dois juntos teriam uma atenuação de 26 dB, já que em conjunto a soma se dá do de maior eficiência, no caso do concha de 21 dB, mais 5 dB, totalizando 26 dB de redução de ruído, melhorando o conforto acústico para o usuário, chegando em 59 dB de dose.

7. CONCLUSÃO

Com os dados obtidos e as análises realizadas dos materiais e dos protetores auditivos que foram empregados, concluímos que o melhor isolante acústico para ser utilizado numa linha de tiro é o isolamento de espuma Sonex Illtec Perfilado e ambos os protetores auditivos, de concha e tipo plug, são indicados para serem utilizados, com isso foi obtido sucesso na proposta inicial, obter um ambiente seguro para o atirador, atendendo as normas de segurança exigidas pelas legislação vigente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICO

Norma regulamentadora NR 06 - Ministério do trabalho

Norma regulamentadora NR 15 - Ministério do trabalho

Instrução técnica nº 10/2011 - Controle de materiais de acabamento e de revestimento - Corpo de bombeiros do estado de São Paulo

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO 2020/02

SANTOS GONÇALVES, Adriano. Caracterização Acústica de Espuma de Poliuretano, Absorção Sonora, Tese de Mestrado da Universidade do Porto, Portugal, 2008

Isolamento Acustico Sonex e Painel de Lã de Vidro, revendedor Isar, <http://www.isar.com.br>

LORENA GUIDA, Heraldo; HERNANDES DINIZ, Thiago; KOODI KINOSHITA, Sérgio. Artigo Análise acústica e psicoacústica do ruído de armas utilizadas pela Polícia Militar, 2011, Local da Publicação: Jornal Brasileiro de Otorrinolaringologia

ZUGNO FILIPPINI, Celso Antônio; Acuidade Auditiva Prejudicial pela Presença de Ruidos de Impacto de Armas de Fogo, Trabalho de especialização em segurança do trabalho, Porto Alegre, 2009

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C., The Master Handbook of Acoustics, quinta edição.

3M do Brasil, <https://www.3m.com.br/>

Dupont, <https://www.dupont.com.br>

National Institute for Occupational Safety and Health