UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

JOSÉ FERNANDO CREMONESI

**Método de análise do ruído em áreas industriais e
controle por enclausuramento acústico das fontes.**

São Paulo

2013

JOSÉ FERNANDO CREMONESI

Método de análise do ruído em áreas industriais e controle por enclausuramento acústico das fontes.

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura. Linha de Pesquisa: Conforto e Ergonomia.

Orientador: **Prof. Dr. Sylvio Reynaldo Bistafa**

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DO ORIENTADOR.

O original se encontra disponível na sede do programa.

São Paulo 05 de junho de 2013.

São Paulo

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL AUTOR: fernandocremonesi@yahoo.com.br

C915m	<p>Cremonesi, José Fernando Método de análise do ruído em áreas industriais e controle por enclausuramento acústico das fontes / José Fernando Cremonesi. --São Paulo, 2013. 168 p. : il.</p> <p>Tese (Doutorado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP. Orientador: Sylvio Reynaldo Bistafa</p> <p>1.Acústica 2.Som (Controle) 3.Indústrias 4.Ergonomia I.Título</p> <p>CDU 534</p>
-------	---

DEDICATÓRIA

Ao concluir esta tese certifico-me que, embora este seja um trabalho deveras solitário, os seus resultados não podem deixar de ser debitados a um conjunto de esforços compartilhados que, se não estivessem presentes no penoso percurso trilhado, possivelmente jamais seriam alcançados. Neste trabalho, são inúmeras as pessoas que, de modos diversos, colaboraram e apoiaram para que o mesmo se consolidasse. De uma forma especial: a minha esposa Clori e filhos Alessandro e Adriano, com amor, admiração e gratidão pela compreensão e, carinho, presença e incansável apoio ao longo do período de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sylvio Reynaldo Bistafa, por ter assumido a tarefa de orientar esse estudo, pelas contribuições decisivas e pela paciência e respeito com os quais acompanhou os diversos momentos e dificuldades por mim enfrentadas.

A Profa. Dr. Anésia Barros Frota, pelas horas a fio dedicadas a não deixar que o desânimo impedisse a conclusão deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Ualfrido Del Carlo e Prof. Dr. Luís Cláudio Portugal do Nascimento pela ajuda fundamental na revisão do texto.

A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do título de Doutor.

A todos aqueles que contribuíram, seja pelo tempo cedido, assim como pela maneira generosa e amável com que fui recebido e, sobretudo, pelas informações fornecidas: em especial aos gestores e demais funcionários das Indústrias Gráficas.

RESUMO

CREMONESI, José Fernando.

Método de análise do ruído em áreas industriais e controle por enclausuramento acústico das fontes.

2013. 168 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Os conceitos de arquitetura dão novas dimensões aos projetos de enclausuramento de fontes ruidosas por cabines acústicas no chão de fábrica, no que diz respeito às relações entre o ruído industrial e suas implicações no homem quanto à perda da audição, perda de produtividade e riscos de acidentes bem como as metodologias para controle do ruído e a inter-relação entre o ruído industrial e sua vizinhança. O objetivo foi o de desenvolver um método de projetar e construir cabines acústicas para o controle do ruído industrial. As cabines acústicas existentes são desenvolvidas visando apenas o controle do ruído. Entretanto, na arquitetura, outras variáveis como o conforto visual, a ergonomia, a segurança, a visibilidade e o desempenho também devem ser consideradas. Fez-se necessário desenvolver um método prático de avaliação do Ruído Industrial, para dar subsídios às propostas de soluções arquitetônicas que o controlem.

O método prático consiste efetuar medidas de ruído em dB(A) nos pontos modais de uma malha ajustada para as dimensões do edifício industrial. O resultado das medições possibilita a visualização da distribuição do ruído através de isossônicas, permitindo que as soluções sejam avaliadas a qualquer momento, tanto do ponto de vista da metodologia, como dos resultados projetados e efetivamente alcançados. A proposta é demonstrar, para alguns casos reais, como o método de controle facilita a análise e propicia correções

quando necessário. Conhecemos os métodos tradicionais contidos na NR-15 e suas implicações nas áreas industriais. A redução do ruído na fonte é a melhor opção para o tratamento acústico na indústria. A diminuição do ruído reverberante, pelo aumento das superfícies absorventes internas ao edifício industrial, reduz também o nível sonoro a que os operários estão submetidos, mas torna os operadores das máquinas excessivamente expostos, pois seus postos de trabalho ficam interpostos entre as fontes do ruído e o tratamento acústico, recebendo, portanto, toda a energia emitida. A redução do ruído na fonte tem resultados satisfatórios, pois diminui em muito os custos do tratamento acústico e livra o operário do recebimento direto da dose de ruído. Para este trabalho, são selecionados exemplos de locais que apresentam condições excessivas de ruído e necessitam de tratamento, os quais propiciam a implantação da metodologia desenvolvida.

Palavras-Chave: arquitetura, acústica, controle de ruído, enclausuramento, indústria, ergonomia.

ABSTRACT

CREMONESI, José Fernando. *Noise analysis Method in industrial areas and acoustic control by enclosure of sources*. 2013. 156 f. Thesis (Ph.D.) - Architecture and Urbanism School of University of São Paulo, São Paulo, 2013.

The architectural concepts give new dimensions to noisy source enclosure projects for performance should also be considered. The relationship between industrial noise, their implications on man as in hearing loss, loss of productivity, rising accident, methodologies of control and the interrelationship between the industrial noise and its neighborhood is considered. The goal was to develop a design method for building acoustic cabins for industrial noise control. The existing acoustic hoods are developed targeting only the noise control. However, in architecture, other variables such as visual comfort, ergonomics, safety, visibility beyond the performance should be considered.

Developing a practical method for evaluating the industrial noise is necessary to give subsidies to propose architectural solutions that control the industrial noise.

The practical method consists of performing measurements in dB (A) in the modal points of a mesh adjusted to the dimensions of the building industry. The results of measurements allow the visualization of the noise distribution through isossonics that can evaluate at any time the solutions, both from the standpoint of methodology as projected results and effectively achieved. The proposal demonstrates some real cases in which the control method facilitates the analysis and provides corrections when necessary. We know the traditional methods contained in NR 15 and its implications in the industrial areas. The noise reduction at source is the best option for the acoustic treatment in the industry. The reverberant noise reduction, by increasing absorbent surfaces inside the industrial building, also reduces the sound level that the operators are submitted, but makes machine operators excessively exposed because their jobs are interposed between the noise sources and acoustic treatment, receiving all the emitted energy. The source noise reduction has satisfactory results because it reduces considerably the acoustic treatment costs and free the worker from receiving direct noise dose. For this work, examples of sites that have excessive noise conditions, and need treatment, are selected, which provide the implementation of the developed methodology.

Keywords: architecture, acoustics, noise control, enclosure, industry, ergonomics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Percentagem esperada de risco em função do nível sonoro.....	32
Tabela 2 -	Níveis sonoros médios, em dB(A), para cada período de ruído, em função do número de períodos diários e do tempo acumulado de exposição.....	35
Tabela 3 -	Correções a serem deduzidas dos níveis sonoros constantes da tabela 2 em função das diferenças entre os níveis ponderados segundo curva C e segundo a curva A de ponderação.....	36
Tabela 4 -	Resume o anexo n.1 da NR-15, citado apenas os valores necessários para comparação com a tabela 3.....	38
Tabela 5 -	Característica das frequências em campo livre medidas em decibel.....	42
Tabela 6 -	Valores medidos em dB(A).....	72
Tabela 7 -	Valores medidos em dB(A) - setor 1.....	74
Tabela 8 -	Área de indústria alimentícia medidas efetuadas em dB(A).....	76
Tabela 9 -	Resultados das medições em dB(A) indústria de papel.....	77
Tabela 10 -	Resultados das mediações em dB(A) indústria metalúrgica.....	79
Tabela 11 -	Mediação do nível sonoro em dB(A) indústria metalúrgica.....	81
Tabela 12 -	Unidade 1 - levantamento do ruído sem tratamento acústico	84
Tabela 13 -	Unidade 1 - após o tratamento.....	86
Tabela 14 -	Unidade 2 - levantamento do ruído sem tratamento acústico.....	89
Tabela 15 -	Unidade 2.....	91
Tabela 16 -	Unidade 2 - Subsolo, sem tratamento acústico.....	95
Tabela 17 -	Unidade 2 - Subsolo com tratamento acústico.....	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Filtros (A) (B) e (C) de ponderação	41
Gráfico 2 - Representa o traçado das curvas isossônicas.....	43
Gráfico 3 - Isossônicas - indústria alimentícia.....	76
Gráfico 4 - Indústria de papel.....	78
Gráfico 5 - Indústria metalúrgica isossônicas.....	80
Gráfico 6 - Indústria metalúrgica.....	81

LISTA DE DESENHOS

Desenho 1 - Demonstra como as vibrações excitam o corpo humano.....	44
Desenho 2 - Porta de duas folhas com duas linhas de vedação.....	58
Desenho 3 - Detalhe da vedação junto ao piso da folha de porta acústica executada em madeira com WR 50 dB.....	59
Desenho 4 - Corte de porta acústica simples com redução de 25 dB, a fresta junto ao piso normalmente é a que mais prejudica o isolamento sonoro da porta.....	60
Desenho 5 - Porta metálica com vedação magnética – vista lateral.....	61
Desenho 6 - Porta acústica metálica de duas folhas com batente no centro.....	61
Desenho 7 - Detalhe de porta acústica metálica dupla com coluna e visores de vidros duplos dos dois lados.....	62
Desenho 8 - Detalhe de porta acústica metálica de abrir com visores de vidros duplos em ambos os lados	62
Desenho 9 - Enclausuramento.....	99
Desenho 10 - Trilho Stanley superior.....	107
Desenho 11 - Vedação metálica trilho superior.....	107
Desenho 12 - Trilho inferior em chapa dobrada.....	107
Desenho 13 - Vedação vertical no batente.....	108
Desenho 14 - Vedações portas	108
Desenho 15 - Planta de cobertura da cabine acústica com modulação (924 x 1764mm)....	109
Desenho 16 - Corte da cabine acústica.....	109
Desenho 17 - Detalhe das portas da cabine.....	109
Desenho 18 - Vista frontal da cabine.....	110
Desenho 19 - Vista lateral 1.....	118
Desenho 20 - Vista lateral 2.....	118
Desenho 21 - Vista da entrada do papel, abertura necessária para a troca do papel com a máquina em funcionamento.....	119
Desenho 22 - Vista da saída do papel, a área da abertura está relacionada com o “corpo” da máquina que ocupa esse espaço.....	119
Desenho 23 - Cobertura.....	120
Desenho 24 - Disposição cabine interna e externa.....	130
Desenho 25 - Disposição dos silenciadores e bandejas do teto.....	131
Desenho 26 - Corte Longitudinal.....	131
Desenho 27 - Detalhe corte longitudinal.....	132
Desenho 28 - Projeto do silenciador passivo. Os espaços de ar existentes entre as placas de materiais absorventes devem ter áreas equivalentes à área de passagem do duto.....	155
Desenho 29 - Detalhes do projeto da bandeja para a execução do duto aonde serão instalados os baffles do silenciador.....	156

Desenho 30 - À direita projeto da montagem do silenciador passivo com lamelas e à esquerda o desenho mostra a montagem de uma placa que será instalada para a constituição do silenciador.....	156
Desenho 31 - Detalhes do projeto para a execução dos silenciadores construídos com baffles ou lamelas.....	157
Desenho 32 - Disposição baffles dos silenciadores em planta. Os horizontais situam-se a uma cota de 1,2 m abaixo dos verticais conforme pode ser verificado no Desenho 33.....	161
Desenho 33 - Corte longitudinal.....	161
Desenho 34 - Vista frontal e lateral do enclausuramento.....	162

LISTA DE FOTOS

Foto 1 -	Cabine acústica IAC - 1.....	27
Foto 2 -	Cabine acústica IAC - 2.....	28
Foto 3 -	Cabine acústica IAC - 3.....	28
Foto 4 -	Medidores de nível sonoro projetado e fabricados pelo IPT	46
Foto 5 -	Apoio de neoprene sob as câmaras dos laboratórios de acústica do IPT....	48
Foto 6 -	Carrossel que transporta os pórticos que contém as amostras para o ensaio e conduzem as amostras para espaço reservado entre as duas câmaras reverberantes.....	49
Foto 7 -	Carrossel que transporta os pórticos que contém as amostras para o ensaio.....	50
Foto 8 -	Área destinada à montagem e desmontagem das amostras.....	50
Foto 9 -	Pórtico com abertura normatizada para ensaiar portas e janelas.....	51
Foto 10 -	Porta dupla com trava de segurança.....	56
Foto 11 -	Detalhe do batente com vedação dupla lateral	56
Foto 12 -	Detalhe do batente com vedação dupla junto ao piso.....	57
Foto 13 -	Trava anti-pânico que permite o fechamento da porta em três pontos: superior, inferior e lateral.....	57
Foto 14 -	Medidor de nível sonoro tipo 1 marca Rion modelo NA23 e calibrador Bruel & Kjaer modelo 4230.....	72
Foto 15 -	Cabine acústica sem visor.....	100
Foto 16 -	Cabine acústica sem visor com as portas abertas.....	101
Foto 17 -	Cabine acústica com perímetro em vidro propiciando a visualização da área industrial	102
Foto 18 -	Enclausuramento de impressora mostrando a transparência da cabine.....	104
Foto 19 -	Cabine unidade 1 - Os operadores do lado externo do enclausuramento sem a necessidade do uso do protetor de ruído individual.....	110
Foto 20 -	Cabine unidade 1 - Os operadores do lado externo do enclausuramento sem a necessidade do uso do protetor de ruído individual.....	111
Foto 21 -	Cabine unidade 1 - Substituição do papel.....	112
Foto 22 -	Cabine unidade 1 - quando da abertura das portas, sensores instalados nas mesmas desligam a máquina.....	112
Foto 23 -	Cabine Unidade 1 - A grande área envidraçada propícia à visualização do trabalho da impressora do lado externo do enclausuramento.....	113
Foto 24 -	Cabine Unidade 2 - Impressora em manutenção.....	113
Foto 25 -	Cabine Unidade 2 - Ajuste da máquina, nesta operação os sensores são desativados.....	114
Foto 26 -	Cabine Unidade 2 - Troca da tinta de impressão.....	114
Foto 27 -	Cabine Unidade 2 - Impressora em funcionamento com a bobina do papel em posição fora da cabine.....	115
Foto 28 -	Cabine Unidade 2 - Impressora em funcionamento - Entrada de papel.....	115
Foto 29 -	Cabine Unidade 2 - Impressora em manutenção, as portas de correr	

	abertas propiciam grandes vãos para o acesso à máquina.....	116
Foto 30 -	Cabine Unidade Subsolo - Impressora em funcionamento com a bobina no final.....	116
Foto 31 -	Cabine Unidade subsolo - exemplo de cabine instalada na área subsolo....	117
Foto 32 -	Cabine Unidade Subsolo - Início da montagem, locação da cabine no entorno da máquina. Instalação dos pilares metálicos.....	120
Foto 33 -	Cabine unidade subsolo - Instalação da treliça do primeiro módulo do enclausuramento. Neste caso, o pilar do edifício ficará posicionado no interior da cabine. Vista da área da entrada do papel.....	121
Foto 34 -	Cabine unidade subsolo - colocação da peça estrutural superior do primeiro módulo.....	121
Foto 35 -	Cabine Unidade subsolo - Os três módulos instalados faltando às peças das duas extremidades da cabine. Vista saída do papel.....	122
Foto 36 -	Cabine unidade subsolo - Colocação das vigas suporte do teto.....	122
Foto 37 -	Cabine Unidade Subsolo - Colocação Cabine no prumo 1. Os vergalhões do teto serão retirados após a fixação da cabine no prumo.....	123
Foto 38 -	Cabine Unidade Subsolo - Colocação Cabine no prumo 2	123
Foto 39 -	Cabine Unidade Subsolo - Início da colocação das bandejas do teto.....	124
Foto 40 -	Cabine Unidade Subsolo - Colocação das bandejas do teto.....	124
Foto 41 -	Cabine Unidade Subsolo - Estrutura montada o pilar do edifício ficou dentro do enclausuramento.....	125
Foto 42 -	Cabine Unidade Subsolo - Início da colocação dos vidros fixos, saída do Papel.....	125
Foto 43 -	Cabine Unidade Subsolo - Colocação das portas de correr.....	126
Foto 44 -	Cabine Unidade Subsolo - Vedação da cabine na entrada do papel 1.....	126
Foto 45 -	Cabine Unidade Subsolo - Vedação da cabine na entrada do papel 2.....	127
Foto 46 -	Cabine Unidade Subsolo - Vedação da cabine na saída do papel 1.....	127
Foto 47 -	Cabine Unidade Subsolo - Vedação da cabine na saída do papel 2.....	128
Foto 48 -	Cabine Unidade Subsolo - Aberturas propiciadas pelas portas de correr....	128
Foto 49 -	Perfil metálico para a estrutura da cabine em chapa dobrada de 6 mm2 com enchimento.....	133
Foto 50 -	Perfil que forma o canto com camada de lã de rocha e gesso.....	133
Foto 51 -	Execução da cabine na fábrica pré-montagem.....	134
Foto 52 -	Início da montagem cabine interna.....	134
Foto 53 -	Início da montagem simultânea. A cabine externa já com as bandejas de fechamento e a interna só estrutura.....	135
Foto 54 -	Parte da cabine externa montada e a cabine interna, pronta para receber as bandejas.....	135
Foto 55 -	Montagem da cabine acústica, início da colocação das vigas da Coberturas.....	136
Foto 56 -	Montagem da cabine acústica, parte da cobertura da cabine interna já Instalada.....	136
Foto 57 -	Montagem de painel lateral. Devido ao peso os painéis foram montados com o auxílio de empilhadeira.....	137

Foto 58 -	Transporte e vedação do painel lateral.....	137
Foto 59 -	Montagem de painel lateral.....	138
Foto 60 -	Montagem de painel lateral, cabine externa.....	138
Foto 61 -	Montagem da cobertura da cabine.....	139
Foto 62 -	Montagem da cobertura da cabine.....	139
Foto 63 -	Detalhe da montagem das dobradiças das portas.....	140
Foto 64 -	Detalhe da montagem das portas com dobradiças helicoidais.....	140
Foto 65 -	Detalhe do silenciador para ventilação.....	141
Foto 66 -	Ventilador fonte geradora do ruído com diâmetro de 2m de um sistema de ventilação.....	157
Foto 67 -	Silenciadores executados por Baffles de lã de rocha e tela perfurada, para silenciar o ruído causado pelo sistema de ventilação, mostrado na foto Anterior.....	158
Foto 68 -	Silenciador – detalhe da cunha aerodinâmica desse duto de ventilação, voltada para a incidência do fluxo do ar visando diminuir a turbulência e a perda de carga.....	158
Foto 69 -	Estrutura do enclausuramento montada no entorno da máquina de Refrigeração.....	162
Foto 70 -	Estrutura da proteção montada no entorno da máquina de refrigeração....	163
Foto 71 -	Montagem do enclausuramento sobre a máquina de refrigeração.....	163
Foto 72 -	Enclausuramento concluído.....	164

LISTA DE PLANTAS

Planta 1 -	Corte do pórtico metálico (carrossel) que propicia o deslocamento da amostra.....	52
Planta 2 -	Duas câmaras reverberantes inferiores, câmara anecoica e o estacionamento de amostras com o carrossel de transporte.....	52
Planta 3 -	Corte contendo a câmara antiga, as duas câmaras novas sobrepostas.....	53
Planta 4 -	Projetos de forma e ferragem do pórtico executado em concreto para a montagem da amostra.....	53
Planta 5 -	Projeto com detalhe das rodas superiores, que servem de guia e das rodas inferiores que servem de apoio para o pórtico de concreto.....	54
Planta 6 -	Isossônicas já aplicadas sobre a planta e o layout industrial de indústria de higiene pessoal - setor 1.....	75
Planta 7 -	Unidade 1 - com o Layout.....	83
Planta 8 -	Unidade 1 - Isossônicas da área da gráfica sem tratamento acústico.....	85
Planta 9 -	Unidade 1 - Representa o levantamento das isossônicas da área da gráfica após a colocação das cabines acústicas, indicadas em vermelho nas Impressoras desta área.....	87
Planta 10 -	Unidade 2 - com layout.....	88
Planta 11 -	Unidade 2 - Isossônicas da gráfica sem tratamento acústico	90
Planta 12 -	Unidade 2 - Representa o levantamento das isossônicas após a colocação das cabines acústicas, indicadas em vermelho	92
Planta 13 -	Unidade 2 - Subsolo layout.....	93
Planta 14 -	Unidade 2 - Levantamento isossônicas subsolo sem tratamento	95
Planta 15 -	Unidade 2 - Representa o levantamento das isossônicas após a colocação das cabines acústicas, indicadas em vermelho.....	97
Planta 16 -	Enclausuramento por barreira acústica com aberturas.....	142
Planta 17 -	Projeto com detalhe do batente da porta e o trinco de vedação.....	143
Planta 18 -	Projeto com detalhe do visor da porta do enclausuramento.....	144
Planta 19 -	Projeto estrutural da cabine com detalhes dos encaixes dos perfis e dos batentes das portas.....	144
Planta 20 -	Detalhes das aberturas junto ao piso para promover a ventilação do enclausuramento tratadas acusticamente.....	145
Planta 21 -	Ampliação do detalhe da ventilação tratada junto ao piso.....	146

Planta 22 - Detalhe da cobertura em forma de coifa, tratada acusticamente..	147
Planta 23 - Enclausuramento do sistema de ventilação de motor elétrica acima de 150 cv (entrada de ar).....	150
Planta 24 - Enclausuramento do sistema de ventilação (entrada do ar) de motor Elétrico acima de 150 cv.....	150
Planta 25 - Silenciador para escape de ar com alta temperatura.....	151
Planta 26 - Silenciador para dutos circulares.....	152
Planta 27 - Duto retangular revestido internamente com material absorvente acústico, lã de rocha revestida por bidim.....	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Tabela do Surfer.....	71
Figura 2 -	Criação das Isossônicas.....	73
Figura 3 -	Resultado da aplicação do programa.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CHABA	National Research Council, Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics.
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ISO	International Standards Organization
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
NRR	Noise Reduction Rating
NBR	Normas Brasileiras
NRRsf	Nível de Redução de Ruído Método Subjetivo
NR	Norma reguladora
ANSI	American National Standards Institute

LISTA DE SÍMBOLOS

(A)	Filtro de ponderação A
dB	Decibel
Hz	Hertz (ciclo por segundo)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	22
1. A questão fundamental norteadora da pesquisa	22
1.1 cabines de controle do ruído industrial encontradas no mercado.....	27
1.2. Embasamento teórico - ruídos.....	29
1.2.1.. Risco de dano auditio.....	30
1.2.2. Critério de dano auditivo.....	34
1.2.3. Índice de exposição ao ruído.....	36
1.2.4. Emprego de proteção individual.....	39
1.2.5. Filtro (A) de ponderação.....	40
1.2.6. A experiência efetuada por Fletcher e Munson - campo auditivo.....	43
1.2.7. Modelo mecânico do corpo humano.....	44
1.3 Solução técnica 1: Desenvolvimento do primeiro medidor digital de ruído do mundo.....	46
1.3.1. Solução técnica 2: desenvolvimento de câmaras reverberantes com amortecedores de neoprene com frequência de corte de 6 hz	47
1.3.2 Solução técnica 3: desenvolvimento do um pódio móvel para otimização da troca de amostras de grande porte nos ensaios em câmaras reverberantes, denominado “carrossel”, ainda único no mundo.	49
1.3.3 Solução técnica 4: desenvolvimento de portas acústicas dando realce às vedações.....	55
1.3.4 Solução técnica 5: desenvolvimento de silenciador entre a porta e o piso	59
1.4 Avaliação do ruído industrial.....	63
1.5 Controle do ruído versus redução do ruído	65
1.6 A redução do ruído	67
1.7 Determinação dos pontos a serem tratados.....	70
2. Estudos de caso dos levantamentos acústicos por isossônicas.....	74
2.1. Indústria de produtos de higiene pessoal	74
2.2. Indústria alimentícia	76
2.3. Indústria de papel	77

2.4. Indústria metalúrgica	79
----------------------------------	----

3. Solução Técnica 6: Arquitetura de cabines para o controle do ruído industrial e dispositivos 82

3.1. Estudos de casos resolvidos com enclausuramento.....	82
3.2. Indústria gráfica – levantamentos	82
3.3. Solução técnica 7: Desenvolvimento do projeto de cabines acústicas para enclausuramento de impressoras pertencentes ao campo gráfico	98
3.4 Solução técnica 8: Desenvolvimento do projeto de cabines acústicas para enclausuramento de impressoras com áreas transparentes	101
3.5. Solução técnica 9: Desenvolvimento de projeto para a ventilação das cabines acústicas	105
3.6. Solução técnica 10: Desenvolvimento de projeto para a estanqueidade das proteções.....	106
3.7. Solução técnica 11: Desenvolvimento genérico de uma cabine acústica para a indústria gráfica.....	109
3.8. Solução técnica 12: sistema de exaustão da cabine.....	117
3.9. Montagem da cabine acústica.....	120
3.10 Solução técnica 13: Cabine com atenuação de 80 db.....	129
3.11 Solução técnica 14: Detalhe do projeto para isolamento acústico de 80 db	132
3.12 Solução técnica 15: Tratamento acústico de indústria petroquímica.....	141
3.13 Solução técnica 16: Desenvolvimento de silenciador entre a cabine e o piso.....	146
3.14 Solução técnica 17: Desenvolvimento de semi- enclausuramento por barreira acústica com ventilação permanente na cobertura	147
3.15. Solução técnica 18: Motores elétricos silenciadores.....	148
3.16. Solução técnica 19: Silenciador de escape de vapor de alta temperatura	151
3.17. Solução técnica 20: Silenciador para dutos de seção circular.....	152
3.18 Solução técnica 21: Silenciador de seção quadrada	153
3.19. Solução técnica 21: Silenciador tipo lamela.....	153
3.20 Solução técnica 22: Desenvolvimento de silenciador específico para torres de refrigeração.....	159
4. Conclusões.....	164
5. Referências bibliográficas.....	166
6. Bibliografia recomendada... ..	167

INTRODUÇÃO

Esta tese reúne uma série de estudos sistemáticos de necessidades e problemas, materiais, componentes e sistemas necessários ao desenvolvimento das cabines de controle do ruído industrial.

1. A questão fundamental norteadora

Quais são as soluções técnicas e tecnológicas, inovadoras e experimentais, que podem ser desenvolvidas e implementadas de maneira a aprimorar, do ponto de vista ergonômico, social e gerencial, o projeto arquitetônico de cabines de enclausuramento acústico em instalações industriais ruidosas, com ênfase no bem-estar dos funcionários e no acesso facilitado às máquinas para fins de manutenção?

A formação do autor desta pesquisa como arquiteto sempre o levou a uma reflexão global de que os aspectos humanos prevalecem sobre todos os outros, tratando-se do projeto de cabines de enclausuramento de ruídos em fábricas. Neste sentido, o conjunto de soluções técnicas desenvolvidas e aqui relatadas apoia este tipo de arquitetura de cabines de enclausuramento de ruído em ambientes industriais, com acentuada preocupação com a humanização das mesmas, levando em conta os aspectos ergonômicos, de conforto e de transparência de superfícies, entre outros.

Durante a fase de levantamento de dados, tanto fontes de ruídos primárias quanto secundárias foram identificadas. A reverberação do edifício também foi contemplada nos níveis sonoros registrados.

O estudo de caso apresentado nesta tese, no segmento da indústria gráfica, representa uma pequena amostra dos levantamentos de níveis de ruídos industriais realizados. Neste exemplo, demonstrou-se ser possível selecionar fontes que devam ser prioritariamente tratadas. Os dados contidos nas Tabelas 16, 17, 18, 19, 20, 21 e as plantas 9, 10, 12, 13, 15 e 16 permitiram verificar que, quando as fontes mais ruidosas recebem tratamento acústico (no caso, cabines), os resultados são altamente positivos e podem ser confirmados.

O método desenvolvido nesta pesquisa é fruto de muitos anos de investigação e aplicação no tratamento do ruído industrial. A partir da experiência adquirida ao longo de 16 anos de percurso profissional como arquiteto no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de

São Paulo (IPT) e mais 27 anos de consultoria em acústica para controle do ruído industrial, com intervenções em cerca de duas centenas de galpões (levantamentos, representações, análises e soluções para redução de ruído), o autor desenvolveu um método simplificado para:

- Determinar curvas isossônicas;
- Identificar setores mais ruidosos, resultantes da composição das diversas fontes;
- Identificar as fontes mais ruidosas e compará-las com os limites da NR-15;
- Se for o caso, enclausurar o(s) equipamento(s) responsável(is) principal(is) pelo problema, utilizando recursos que permitam visualização da área industrial, dando continuidade ao chão de fábrica, além de solucionar as questões de ventilação para controle de calor e de emissões de gases, odores etc.;
- Após o enclausuramento, determinar as novas curvas isossônicas e confirmar os resultados.

Uma dificuldade encontrada quando da execução de programas de redução do ruído na indústria foi a descrença quanto aos resultados dessa implementação. A existência de inúmeras fontes sonoras dificultou sobremaneira a obtenção de reduções plausíveis, pois após o tratamento das fontes “primárias” mais ruidosas, as fontes secundárias (que, em primeira instância, estavam mascaradas pelas primeiras) apareceram na composição do ruído de fundo da indústria, deixando a sensação que todo o esforço e investimentos haviam sido em vão. Outra dificuldade foi o fato de os operários receberem adicional de insalubridade pela poluição sonora. A redução do ruído acarreta a perda desse adicional afetando-os economicamente, fator que diminuiu a receptividade das soluções.

O trabalho apresenta a descrição de como montar um programa visando a redução ou o controle do ruído industrial. A descrição de método prático de medidas, as intervenções em máquinas, e a redução do ruído na fonte oferecem sugestões de como enfrentar a questão.

A questão do ruído industrial é intrincada, pela falta clara de metodologia para a sua redução. Devido à especificidade das fontes sonoras e de suas diversidades, fica sempre alguma desconfiança quanto à eficiência das intervenções visando o controle do ruído. As dificuldades de estabelecer claramente os fatores e ocorrências, muitas vezes, fazem com que as intervenções não atinjam os efeitos desejados, contribuindo em muito para o descrédito do tratamento acústico, e para a procura de soluções paliativas como o uso dos EPIs, que deveriam ser utilizados em última instância.

Para tentar contornar a situação e melhorar a comunicação entre o especialista e os responsáveis pelo “chão de fábrica”, introduzindo informações que posteriormente pudessem ser checadas, foi proposto um método de medição que propiciasse um maior conhecimento da propagação do ruído dentro da área industrial, sua distribuição e sua contribuição na dosagem do ruído em relação aos trabalhadores. Além do mais, os trabalhadores, foram conscientizados de que o adicional de insalubridade em razão do ruído industrial é um pagamento pela surdez ocupacional, que certamente virá em longo prazo.

A visualização da distribuição do ruído na planta industrial através das isossônicas mostra as fontes sonoras e sua influência sobre a área em questão, facilitando a tomada de decisão sobre as prioridades.

A grande vantagem do método é que esta leitura pode ser realizada com a indústria em pleno funcionamento, não havendo diminuição da produtividade em virtude das medições. Uma vez implantado o tratamento, novas medições utilizando as curvas isossônicas poderão ser efetuadas para a verificação dos resultados obtidos.

O enclausuramento de fontes por meio da instalação de cabine acústica, com áreas transparentes, propicia a visualização da planta industrial juntamente com as posições dos operadores, diminuindo os riscos de acidentes.

Esta tese tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de enclausuramento, usando como subsidio um método prático para efetuar levantamentos acústicos do ruído industrial, com o intuito de identificar as fontes sonoras que mereçam tratamento acústico. Uma vez identificada a fonte, com suas frequências predominantes, a opção pelo enclausuramento sempre é a mais eficaz, pois reduz o ruído na fonte e impede que o mesmo fique reverberante dentro do ambiente industrial.

Cronologicamente o método simplificado é constituído de:

- Estabelecimento de uma malha, em função do layout, que se ajusta à planta da área industrial e a modulação da área industrial;
- Realização de medições nos nós da malha, em dB(A);
- Organização dos dados levantados para introdução dos valores na forma de tabela no software *Surfer*;
- Geração de isolinhas que, tendo no eixo Z os níveis sonoros, estabelecem curvas de igual nível sonoro, denominadas isossônicas.

Nota: Para a elaboração dos desenhos no software *Surfer*, é necessário seguir alguns passos:

- Elaborar tabela com as coordenadas de cada ponto e o nível sonoro;
- Abrir o *Surfer* e criar uma tabela que gerará a malha;
- Após isso, criar um arquivo Plot onde são inseridos os valores das coordenadas de cada ponto e os valores da medição do ruído, e onde será gerada a imagem com as curvas de igual sonoridade;
- Após isso, criar um arquivo que gerará um mapa em escala ajustável ao desenho da indústria pré-estabelecido.

Esse desenho colocado sobre o layout da área industrial mostra os níveis sonoros e sua distribuição, indicando as fontes e sua influência sobre os postos de trabalho. Essa leitura do “clima” acústico da área industrial possibilita as tomadas de decisão quanto à pertinência de implementar o programa de controle do ruído, bem como as necessidades do tratamento desse ruído na fonte. Uma vez implementado o programa, novo levantamento poderá ser efetuado para verificar o acerto das soluções ou corrigir eventuais deficiências.

As normas brasileiras e internacionais sobre o ruído em áreas industriais recomendam que o nível sonoro reverberante no interior da indústria seja medido nos postos de trabalho, e à altura do ouvido do operador. O ruído é aferido com o medidor de nível sonoro selecionando o filtro de ponderação A - dB(A). Esta medição nos postos de trabalho é indicada para operadores que permanecem durante toda a jornada na mesma posição.

Quando o operário se desloca pela indústria, passando por várias fontes diversas de ruído, é recomendada a utilização de dosímetro. O dosímetro é o equipamento que mede a dose de ruído recebida por um indivíduo durante a jornada de trabalho.

Constatando que a dose do ruído esteja acima dos níveis recomendados pela legislação, fica difícil estabelecer que fontes sonoras que contribuíram para esses níveis, dificultando a tomada de decisão no controle dessas fontes.

Na presença de várias fontes sonoras ruidosas que compõem o layout da área industrial, essa distribuição cria corredores que dificultam a visualização da fábrica, e expõe os operadores a riscos adicionais. Qualquer acidente pode passar despercebido a outros

operadores, e em razão do ruído a forma verbal de comunicação quase sempre é prejudicada, mascarando possíveis pedidos de socorro.

Diante do exposto, o cumprimento dos objetivos da tese está na proposição do método para a aplicação prática no controle do ruído industrial.

O método prático de mapeamento do ruído no ambiente industrial fornece subsídios aos responsáveis pelo controle do clima acústico e estabelece as diretrizes para a quantificação dos resultados e sua verificação, mediante as normas técnicas vigentes, e a implementação de soluções para possível atendimento dessas normas.

Com esse objetivo geral, os objetivos específicos são:

- Identificar as fontes geradoras de ruído e os seus respectivos impactos (qualitativos e quantitativos) no ambiente de trabalho;
- Aplicar método visual e quantitativo para a caracterização do ruído no ambiente industrial;
- Propor alterações que resultem na redução do problema na fonte sem enclausuramento;
- Quantificar o impacto das intervenções e verificar a sua eficácia mediante as normas técnicas vigentes;
- Quando necessário, estabelecer diretrizes arquitetônicas para a construção de cabines de proteção acústica;
- Elaborar a programação dos investimentos para as intervenções;
- Elaborar o projeto executivo do enclausuramento através de cabines acústicas;
- Repetir os procedimentos para a verificação dos resultados obtidos.

É importante destacar que todo o processo ocorre com a indústria em pleno funcionamento, exceto quando da instalação dos enclausuramentos.

A questão da arquitetura

Segundo o grande arquiteto Walter Gropius (1883 a 1969): *“uma cadeira, um edifício, uma cidade...”* [e se poderia acrescentar: “ou uma cabine acústica”] *“... tem que ser enfocadas, essencialmente, da mesma maneira: por meio de um estudo sistemático de necessidades e*

problemas, levando-se em conta materiais e técnicas modernas de construção, sem referência a formas ou estilos predeterminados.” (Enciclopédia Britânica, livro 8, págs. 429; 431).

Aplicando tais ensinamentos ao presente trabalho, o conhecimento das necessidades e problemas será relacionado nos capítulos 1 e 2,

No capítulo 3, tem-se as propostas de resolução para cabines de controle de ruído industrial, dentro dos preceitos de Gropius.

1.1. Cabines de controle do ruído industrial encontradas no mercado.

A solução mais utilizada para a redução do ruído na fonte é o enclausuramento por cabines acústicas. Esta solução permite que o operador tenha seu posto de trabalho externo ao enclausuramento, ficando protegido do ruído e dispensado do uso de EPI.

As cabines apresentadas nas fotos 1, 2 e 3 são produtos colocados no mercado internacional pela **IAC**, empresa das mais conceituadas no meio.

Foto 1 - Cabine acústica IAC

Foto 2 - Cabine acústica IAC

Foto 3 – Cabine Acústica IAC

Como podemos verificar nas fotos 1, 2 e 3, as cabines acústicas convencionais resolvem a questão do ruído na fonte, entretanto criam uma barreira visual dentro da área industrial.

1.2 Embasamento Teórico – Ruídos.

O embasamento teórico do trabalho pressupõe o conhecimento de conceitos subjacentes ao problema do dano auditivo provocado pela exposição aos ruídos, assim como dos pressupostos vigentes na forma oficial (Normas Técnicas NBR) de abordar o problema do controle da exposição ao ruído.

A primeira etapa do embasamento teórico é a definição de conceitos fundamentais de acústica.

Segundo Glorig e Beranek (1971), para uma perfeita compreensão dos conceitos que serão comunicados, passamos a estabelecer uma linguagem comum entre nós e o leitor, através das definições básicas a seguir:

- Audiômetro de frequências discretas: é um instrumento para determinar o limiar auditivo para tons puros discretos, em geral de 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 e 8000 Hz. Algumas vezes realizam-se medições também em 125 e 1500 Hz. Em cada frequência de ensaio existe um valor zero estabelecido por acordo internacional, o qual corresponde aproximadamente ao limiar auditivo médio para uma população de pessoas jovens pouco expostas a níveis sonoros elevados.
- Limiar auditivo: nível de pressão sonora do menor sinal acústico que provoca sensação auditiva em uma fração especificada do número de vezes que o sinal é apresentado ao ouvido. O limiar auditivo para palavras “espondaicas” (palavras construídas por duas sílabas longas), por exemplo, é definido como o menor nível de pressão sonora no qual um sujeito é capaz de repetir corretamente 50% das palavras que lhe são apresentadas. O limiar auditivo varia em função do tipo de estímulo, sendo necessário identificar o estímulo em questão. São utilizados como estímulos, tipicamente, tons puros, tons de frequência oscilante, faixas de ruído e palavras.
- Deslocamento do limiar auditivo: é uma alteração no limiar auditivo, em geral de um indivíduo, medida em relação a algum limiar determinado anteriormente. Um deslocamento temporário do limiar auditivo deixa de existir num intervalo de tempo que pode variar desde alguns segundos até alguns dias. Um deslocamento permanente do limiar auditivo permanece por algum tempo, mesmo após duas (2) ou três (3) semanas.

- Critério de risco de dano: especifica limites para a exposição de pessoas ao ruído, os quais, se não excedidos, asseguram que o risco de dano auditivo de um dado grupo é aceitável mente pequeno.
- Ruído perigoso: é qualquer som capaz de causar dano permanente ao sentido da audição dos seres humanos.
- Nível auditivo: é o número de decibéis pelo qual alguma quantidade relacionada a som ou audição está acima (+) ou abaixo (-) do zero audiométrico padronizado em uma frequência especificada. Por exemplo, é possível quantificar a fala, ou ruído, ou limiar auditivo em uma determinada frequência em termos de seu “nível auditivo”.
- Perda auditiva: um nível auditivo em decibel relacionado especificamente à elevação (+) permanente do limiar auditivo de um indivíduo. Por exemplo, se o limiar auditivo de uma determinada pessoa em 1000 Hz é 40 dB acima do zero audiométrico nessa frequência, ela tem uma perda auditiva de 40 dB.
- Deficiência auditiva (enfraquecimento auditivo): ocorre sempre que, para um indivíduo, a média de suas perdas auditivas em 500, 1000 e 2000 Hz excede 25 dB (resultados de medições utilizando um audiômetro que atenda às especificações de International Standards Organization, ISO/R-389 - 1964). Essa deficiência também é chamada de enfraquecimento auditivo para comunicação via conversação.
- Grau de deficiência auditiva (percentagem de enfraquecimento da audição): começa a partir de uma perda auditiva média de 25 dB (grau zero de deficiência auditiva) e aumenta à taxa de 1,5 pontos percentuais a cada decibel de perda auditiva média, até atingir uma perda de 92 dB (ou 100% de enfraquecimento).
- Risco percentual: é definido como a diferença entre a percentagem das pessoas com uma deficiência auditiva em um grupo exposto ao ruído, e a percentagem das pessoas com uma deficiência auditiva em um grupo não exposto ao ruído, mas, em todos os aspectos, semelhante ao primeiro.

- Nível sonoro, escala de ponderação A (unidade – dB(A)): é a leitura obtida ao se medir ruído com a finalidade de determinar o risco auditivo utilizando um medidor de nível sonoro padronizando, selecionando-se a condição em que o equalizador de ponderação A é introduzido no circuito do instrumento. A resposta “lenta” do indicador deve ser selecionada. Em geral o medidor é observado por um intervalo de aproximadamente cinco (5) segundos, e o valor observado (a média das flutuações) é registrada como o nível sonoro em dB(A). Caso as flutuações excedam uma faixa de seis (6) dB(A), utiliza-se como média um valor três (3) dB(A) abaixo do valor máximo das flutuações. As medições são, em geral, realizadas na posição de um ouvido exposto, sem a presença do indivíduo.

1.2.1. RISCO DE DANO AUDITIVO

Como se pode notar da leitura das definições acima, existe um consenso a respeito do que poderia ser considerado “deficiência” auditiva ou “dano” auditivo, embora segundo esse consenso nem toda perda auditiva seja considerada “deficiência” ou “dano”.

A perda auditiva só passa a ser considerada deficiência quando começa a interferir na capacidade de comunicação via conversa, ou seja, quando a média auditiva nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz ultrapassa a marca dos 25dB.

É importante salientar que normalmente a perda auditiva ocorre em primeiro lugar em 4000 e 8000 Hz, deslocando-se, gradativamente, para a região de inteligibilidade da palavra falada, ou seja, 500, 1000 e 2000 Hz.

Uma vez compreendido o conceito vigente de “dano”, vale a pena explanar um pouco melhor o conceito de “risco” que é definido como a diferença entre a percentagem das pessoas com deficiência auditiva (nos termos acima) em um grupo de pessoas expostas a ruído, e a percentagem das pessoas com deficiência auditiva em um grupo equivalente, mas não exposto ao ruído.

A Tabela 1 apresenta a percentagem esperada de risco em função:

- Do nível sonoro em dB(A) de exposição contínua ao longo da jornada de trabalho (medido na escala A de um medidor de nível sonoro que atende as especificações do American National Standards Institute);

- Dos anos de exposição.

Para cada nível sonoro a Tabela 1 apresenta duas linhas de percentagem de risco:

- Na linha superior, indicada pelo título “Total”, estão as percentagens das pessoas que apresentam deficiência auditiva devido à ação combinada de ruído e idade, e;
- Na linha inferior, indicada pelo título “Ruído”, foram subtraídos os efeitos relativos ao envelhecimento.

Tabela 1 - Percentagem esperada de risco em função do nível sonoro.

IDADE (ANOS)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
EXPOSIÇÃO (ANOS)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
TOTAL 85 dB(A) RUÍDO	0,7	2,0	3,9	6,0	8,1	11,0	14,2	21,5	32,0	46,5
	0,0	1,0	2,6	4,0	5,0	6,1	6,5	8,0	8,0	6,5
TOTAL 90 dB(A) RUÍDO	0,7	4,0	7,9	12,0	15,0	18,3	23,3	31,0	42,0	54,5
	0,0	3,0	6,6	10,0	11,9	13,4	15,6	17,5	18,0	14,5
TOTAL 95 dB(A) RUÍDO	0,7	6,7	13,6	20,2	24,5	29,0	34,4	41,8	52,0	64,0
	0,0	5,7	12,3	18,2	21,4	24,1	26,7	28,3	28,0	24,0
TOTAL 100 dB(A) RUÍDO	0,7	10,0	22,0	32,0	39,0	43,0	48,5	55,0	64,0	75,0
	0,0	9,0	20,7	30,0	35,9	38,1	40,8	41,5	40,0	35,0
TOTAL 105 dB(A) RUÍDO	0,7	14,2	33,0	46,0	53,0	59,0	65,5	71,0	78,0	84,5
	0,0	13,2	31,7	44,0	49,9	54,1	57,8	57,5	54,0	44,5
TOTAL 110 dB(A) RUÍDO	0,7	20,0	47,5	63,0	71,5	78,0	81,5	85,0	88,0	91,5
	0,0	19,0	46,2	61,0	68,4	73,1	73,8	71,5	64,0	51,5
TOTAL 115 dB(A) RUÍDO	0,7	27,0	62,5	81,0	87,0	91,0	92,0	93,0	94,0	95,0
	0,0	26,0	61,2	79,0	83,9	86,1	84,3	89,5	70,0	55,0

É importante salientar que a Tabela 1 não se destina a prever o efeito da exposição ao ruído sobre um indivíduo. Ao contrário, ela aponta o fato de que uma percentagem das pessoas expostas a uma dada condição de ruído contínuo por certo número de anos apresentará algum grau de deficiência auditiva. Os dados da Tabela 1 não discriminam o grau de deficiência apresentado pelos indivíduos. Esses dados foram levantados principalmente em indústrias têxteis e de papel, onde os trabalhadores são expostos aos

mesmos níveis sonoros todos os dias por anos a fio; ou seja, estes resultados não se aplicam diretamente, por exemplo, a ruídos intermitentes.

No caso de exposição a ruídos não contínuos, o risco de dano auditivo pode ser aprimorado em relação aos valores da Tabela 1 através do controle do tempo de exposição dos indivíduos, por exemplo, através da alternância entre períodos de exposição e períodos de não exposição a níveis elevados de ruído.

As duas principais teorias que auxiliam no estabelecimento de critérios de risco de dano no caso de ruídos não contínuos – *Teoria de Igual Energia* e *Teoria de Igual Efeito Temporário* – são descritas sumariamente abaixo. Os cálculos baseados nessas teorias não coincidem no caso de exposições continuadas, nem no caso de exposições intermitentes. No entanto, a primeira parece melhor que a segunda para exposições continuadas, e a segunda melhor que a primeira no caso de exposições intermitentes.

A *Teoria de Igual Energia* pressupõe que o risco de dano auditivo é determinado pela quantidade total de energia sonora à qual o ouvido é exposto todos os dias (8 horas). Assim, para exposições de meio dia (4 horas), independentemente de sua distribuição ao longo do período de 8 horas, são permitidos níveis sonoros de 3 dB superiores, mantendo a percentagem de risco.

Da mesma forma, a cada redução do tempo total de exposição para a metade, permite-se um acréscimo de 3 dB aos níveis sonoros permissíveis. Essa teoria tem se mostrado válida para ruídos contínuos, ou seja, para uma única exposição continuada a cada dia.

A *Teoria de Igual Efeito Temporário* postula que o risco de dano auditivo está relacionado à perda auditiva temporária (deslocamento temporário do limiar auditivo) experimentada por ouvidos jovens quando expostos ao ruído em questão. Essa teoria se baseia na observação de que as exposições ao ruído (que vão acabar provocando perda auditiva permanente) também provocam perda auditiva temporária (deslocamento temporário do limiar auditivo) em ouvidos jovens, e vice-versa.

Os estudos relacionados aos deslocamentos temporários do limiar auditivo mostram que as exposições intermitentes são muito menos perigosas que as exposições continuadas.

Um exemplo disso é apresentado por Sataloff, Vassallo e Mendulise em seu artigo “Hearing Loss from Exposure to Interrupted Noise” (1969), em que constatou-se que os mineiros que trabalhavam na extração de minérios de ferro, expostos intermitentemente ao intenso ruído provocado pela perfuração de rochas nos túneis subterrâneos, não apresentaram maior incidência de deficiência auditiva do que outros trabalhadores expostos a ruídos contínuos 20 dB mais baixos.

1.2.2 CRITÉRIOS DE DANO AUDITIVO.

Uma conclusão lógica da leitura da Tabela 1 é que, caso não se deseje assumir nenhum risco de dano auditivo, os níveis sonoros contínuos devem ser iguais ou inferiores a 80 dB(A).

Sabe-se, no entanto, que atingir tais níveis na indústria no atual estado da arte em projeto de máquinas pode-se mostrar economicamente impraticável. Assim sendo, cada comunidade deve aceitar um compromisso, mesmo que temporariamente, admitindo um risco que seja coerente e procurando, ao mesmo tempo, evitar a deficiência auditiva de seus indivíduos.

Os critérios de ruído mais amplamente aceitos para evitar a perda auditiva provocada pelo ruído foram preparados, nos EUA, pelo Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics for the National Academy of Sciences - CHABA (“Hazardous Exposure to Intermittent and Steady-State Noise”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 39, issue 3, p. 451, 1966).

O compromisso assumido por esse método é que, para qualquer grupo exposto, os níveis sonoros permissíveis não impliquem, após 10 anos ou mais de exposição, numa incidência superior a 10% de risco de dano auditivo nos termos já descritos acima.

Para ruídos intermitentes, pressupõe-se que o espaçamento e a duração dos períodos de ruído se mantenham constantes ao longo da jornada de trabalho. O método não pretende ser aplicável a:

- Ruídos de impacto;
- Ruídos de duração inferior a um segundo;
- Ruídos compostos por vários tons puros;
- Ruídos variáveis de tal maneira que não seja possível medi-los corretamente com um medidor de nível sonoro comum.

Para fins de aplicação de método, considera-se “períodos de ruído” aqueles nos quais os níveis sonoros permanecem acima de 80 dB(A), considerando-se nível sonoro médio o valor médio das leituras em dB(A) ao longo do período. Considera-se, ainda, que ocorre uma “interrupção” na exposição quando o ruído cai para níveis inferiores a 80 dB(A) por mais que 5 minutos, ou por um intervalo de tempo igual a 20% da duração média do “período de ruído”. Os critérios do CHABA para esses níveis são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis sonoros médios, em dB(A), para cada período de ruído, em função do número de períodos diários e do tempo acumulado de exposição.

EXPOSIÇÃO ACUMULADA	NÚMERO DE INTERVALOS DE RUÍDO POR OITO HORAS DE TRABALHO DIÁRIAS						
	1	3	7	15	35	75	+150
8 horas	90						
6 horas	91	92	93	94	94	94	94
4 horas	93	94	95	96	98	99	100
2 horas	96	98	100	103	106	109	112
1 hora	99	102	105	109	114	115	
30 minutos	102	106	110	114	115		
15 minutos	105	110	115				
8 minutos	108	115					
4 minutos	111						

Como se nota na Tabela 2, os riscos de dano auditivo se iniciam em grupos expostos a ruídos contínuos de mais 90 dB(A) ao longo de uma jornada de trabalho de oito horas. Nota-se, ainda, que os valores correspondentes a uma única exposição diária estão de acordo com a Teoria de Igual Energia – redução da exposição acumulada para a metade a cada elevação de 3dB no nível sonoro. No caso de períodos de ruído, a exposição acumulada é reduzida à metade a cada elevação de 5dB no nível sonoro, aproximadamente, e permitem-se níveis sonoros consideravelmente mais elevados, como no caso dos trabalhadores em minas de carvão, onde ocorrem 35 ou mais períodos de ruído por dia.

Correções em Função da Predominância de Baixas Frequências:

Os limites da Tabela 2 se aplicam quando a diferença entre os níveis sonoros ponderados segundo a curva A é inferior a 5dB (ruídos com predominância média e aguda). Quando essa diferença é maior que 5dB, deve-se aplicar uma correção, subtraindo dos níveis

sonoros constantes da Tabela 2 os valores constantes da Tabela 3 antes de estabelecer os limites de exposição.

Tabela 3 - Correções a serem deduzidas dos níveis sonoros constantes da Tabela 2 em função das diferenças entre os níveis ponderados segundo a curva C e segundo a curva A de ponderação.

NÍVEL SONORO PONDERADO SEGUNDO A CURVA (A) (dBA)	C- A				
	5	10	15	20	25
90	0	1	1	1	1
100	2	4	4	5	6
110	4	6	8	9	10
120	6	9	12		

1.2.3. ÍNDICE DE EXPOSIÇÃO AO RUÍDO.

A exposição a um determinado nível sonoro começa a ser considerada “arriscada” assim que a duração dessa exposição iguala o limite de exposição acumulada previsto na Tabela 2 para esse nível sonoro. Pode-se definir o Índice de Exposições ao Ruído como a relação entre a duração efetiva da exposição e o limite de exposição acumulada para o nível sonoro em questão. Podemos então dizer que a exposição começaria a ser arriscada assim que esse Índice tivesse valor unitário, o risco de dano tornando-se cada vez maior à medida que o valor do Índice cresce em relação à unidade.

Se a exposição ao ruído for composta por duas ou mais condições sucessivas com níveis sonoros acima de 89 dB(A), o Índice de Exposição ao Ruído para a exposição como um todo passa a ser definido como a soma dos Índices das diversas condições em separado. Desta forma, o Índice de Exposição ao Ruído é representado pela expressão:

$$C1/T1 + C2/T2 + C3/T3 + \dots$$

Onde: C_n = duração efetiva a um dado nível sonoro, e

T_n = limite de exposição acumulada previsto na Tabela 2 (incluídas as eventuais correções da Tabela 3) para o nível em questão.

Observação: níveis sonoros inferiores a 90 dB(A) não são considerados nesses cálculos.

Exemplo: Consideremos o risco de uma exposição a 91 dB(A) durante toda a manhã, associado à exposição a um ruído intermitente de 100 dB(A) com duração de 10 segundos, repetido duas vezes por minuto ao longo de toda a tarde. Considerando que tanto o período da tarde como o da manhã tem duração de 4 horas, tem-se a seguinte situação:

- A Tabela 2 admite que a exposição a 91 dB(A) tenha uma duração de 6 horas; assim, uma exposição de 4 horas resulta num índice de 0,67 para o período da manhã.
- Dois pulsos de 100 dB(A) por minuto ao longo de 4 horas resultam em 480 pulsos, o que, implica numa exposição efetiva de 80 minutos (levando-se em conta que a duração de cada pulso é de 10 segundos). A Tabela 2 prescreve um limite de 240 minutos (4 horas) para essa condição, o que resulta num índice de 0,33 para o período da tarde. Somando-se os índices da manhã e da tarde, obtém-se o valor de 1,0 para o Índice de Exposição ao Ruído para essa condição composta.

O Índice de Exposição ao Ruído acima exprime uma situação no limite do que é aceitável em relação ao risco previsto pela Tabela 2.

A legislação brasileira que tem como objetivo regular a exposição dos trabalhadores ao ruído está contida na Norma Reguladora NR-15 (Portaria nº 3214 de 08/06/1978 do Ministério do Trabalho), tendo sido amplamente publicada e conhecida, de forma que apenas teceremos alguns comentários para deixar claros seus pressupostos.

Comparando-se os 90 dB (constantes na Tabela 2 como nível sonoro admissível para sons contínuos por períodos de 8 horas) com o valor do nível sonoro que corresponde, na Tabela 2, ao risco de 10% (assumido pelo CHABA para uma exposição de 10 anos ou mais), nota-se uma contradição: a Tabela 1 prevê, para exposições a 90 dB(A), riscos maiores que 10% acima de 15 anos.

Observando-se, na Tabela 1, os riscos correspondentes à exposição a níveis sonoros de 85 dB(A) ao longo das 8 horas de trabalho diárias, nota-se que o risco é igual a, no máximo 8%, para até 45 anos de exposição. Vê-se, então, que a legislação brasileira assume que o risco aceitável para a comunidade é de 8%, ou seja, inferior aos 10% admitidos pelo CHABA.

Tabela 4 - Resume o Anexo nº 1 da NR-15, citando apenas os valores necessários para comparação com a Tabela 2.

Nível de Ruído dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
87	6 horas
90	4 horas
100	2 horas
105	30 minutos
110	15 minutos
115	7 minutos

Comparando-se a Tabela 4 com a coluna correspondente aos intervalos de exposição na Tabela 2, nota-se que os valores da Tabela 4 são, para os mesmos valores de exposição acumulada, 5 dB(A) inferiores àqueles. Ou seja, propagando-se o deslocamento de 90 para 85 dB(A) para o restante da Tabela 4, pode-se concluir que a NR-15 pressupõe que a exposição dos brasileiros ao ruído ao longo da jornada de trabalho seja interrompida algumas vezes (6 vezes, em média).

Pode-se concluir, portanto, que: se a exposição aos níveis sonoros previstos pela NR-15 ocorrer em períodos contínuos (número de períodos inferior a 7) o risco de dano é, na verdade, maior que os 8% citados acima. Por outro lado, se essa exposição ocorrer em um número de períodos superior a 7, o risco de dano auditivo é menor que os citados 8%.

Utilizando os mesmos critérios de cálculo da CHABA, a NR-15 compõe as exposições implicitamente por meio do Índice de Exposição ao Ruído, utilizando para tal apenas os valores da Tabela 2.

A norma ISO admite o nível de 90 dB(A) como o nível máximo de exposição para 8 horas de trabalho, exemplificado na tabela 2.

1.2.4. EMPREGO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Os conceitos anteriormente descritos não são empregados com frequência na área de segurança do trabalho. Na indústria, sempre se utiliza o equipamento de proteção individual (EPI) como medida paliativa. A legislação brasileira só permite o uso do EPI por um curto período de tempo, prevendo que soluções sejam encontradas (no caso deste estudo, para a redução do ruído e posterior retirada do EPI). Infelizmente, o que se observa é que este equipamento se torna de uso contínuo, e que as soluções para retirá-lo nunca são implementadas, a despeito da Lei.

O rodízio de operários entre áreas menos ruidosas durante a jornada de trabalho poderia ser uma solução para o problema da exposição de ruído a que são submetidos. Entretanto, esta postura pressupõe que todos os operários, possuam a mesma qualificação para as diversas tarefas apresentadas nos vários postos de trabalho, o que sem dúvidas encareceria muito o treinamento.

A procura de um EPI adequado também se constitui em risco, pois muitas vezes compra-se o EPI no mercado sem a devida especificação.

A especificação do EPI deve ser iniciada com um levantamento do ruído em dB(A) nos postos de trabalho, mas não em dB(A), como determina a NR15. Esta medição só serve para indicar o nível sonoro a que o trabalhador está exposto. O EPI é um equipamento de proteção e deve ser eficiente para as frequências críticas de exposição, portanto a medição deveria ser efetuada em dB por frequência, para definição do protetor mais adequado.

Atualmente os EPI são apresentados com indicação do NRR - Noise Reduction Rating ou Nível de Redução do Ruído. Este nível é composto por um único número, que é uma simplificação da avaliação do desempenho do protetor. A norma utilizada para a apuração do NRR e nível de atenuação do protetor auditivo está baseada na ANSI 531.9, com a consultoria de pessoas treinadas e monitoradas para atestar a atenuação produzida pelos protetores auriculares de inserção.

Mais recentemente, a ANSI 512.6 passou a realizar testes com indivíduos que desconheciam o uso do EPI e não recebiam nenhuma instrução de como utilizá-lo. Neste caso, o número indicativo da atenuação do ruído passou a ser denominado de NRRsf,

(Nível de Redução de Ruído - Método Subjetivo), que se mostrou mais confiável por não possuir “vícios” dos indivíduos acostumados aos ensaios, tornando-se atualmente o método mais utilizado.

Exemplo: Se houver na área industrial um ruído de 90 dB(A), e o protetor escolhido tiver um NRRsf de 12dB para uma exposição de 8 horas, pode-se considerar que o operário está exposto a um ruído de 78 dB(A).

Os protetores auriculares em forma de concha possuem ensaios normalizados específicos para determinar o seu isolamento sonoro, os quais são executados em cabeça artificial e em laboratórios credenciados.

O EPI auricular mais utilizado é o de inserção oferecido em espuma moldável. Este dispositivo de proteção necessita ser manuseado para introdução no canal auditivo. Como “norma de conduta”, há a necessidade de lavar as mãos a cada manuseio do protetor. Porém, dependendo do tipo de atividade industrial exercida, e sem o asseio adequado, graxas e partículas de toda a natureza podem ser introduzidos no canal auditivo, causando severos danos à saúde.

Por esta razão os protetores de inserção do tipo *plug* (polímero com cordão), se manuseados pelo suporte existente no mesmo, causam menos danos ao canal auditivo. O protetor mais adequado é o do tipo concha, pois este está livre do manuseio inadequado e sempre protege o pavilhão auricular, sem possibilidade de contaminação do canal auditivo. Este tipo de protetor, no entanto, é mais suscetível às alterações do espectro do ruído. Dependendo do caso, o som pode ficar reverberante no interior da concha, prejudicando o desempenho especificado.

1.2.5. FILTRO (A) DE PONDERAÇÃO

O valor do nível sonoro é o valor da pressão sonora integrada nas bandas de frequência percebidas pelo ouvido humano, que, em última análise, pretende ser traduzida sob a forma de um valor único. Este nível pode ser expresso em dB ou em dB(A).

Outros filtros; B, C e D, que também fazem parte do Gráfico 1, por ora não pertencem ao escopo do presente trabalho.

Gráfico 1 - Filtros (A) (B) e (C) de ponderação.

A energia contida no campo sonoro do filtro de ponderação (A) é ponderada conforme a tabela 5.

Tabela 5 - Característica das Frequências em campo livre medidas em decibel.

* As frequências nominais foram retiradas da norma ISO 266.

Frequência nominal em Hz	Frequência exata	Filtro A
10	10.00	-70.4
2.5	12.59	-63.4
16	15.85	-56.7
20	19.95	-50.5
25	25.12	-44.7
31.5	31.62	-39.4
40	39.81	-34.6
50	50.12	-30.2
63	63.10	-26.2
80	79.43	-22.5
100	100.0	-19.1
125	125.9	-16.1
160	158.5	-13.4
200	199.5	-10.9
250	251.2	-8.6
315	316.2	-6.6
400	398.1	-4.8
500	501.2	-3.2
630	631.0	-1.9
800	794.3	-0.8
1000	1000	0
1250	1259	+0.6
1600	1585	+1.0
2000	1995	+1.2
2500	2512	+1.3
3150	3162	+1.2
4000	3981	+1.0
5000	5012	+0.5
6300	6310	-0.1
8000	7943	-1.1
10000	10000	-2.5
12500	12590	-4.3
16000	15850	-6.6
20000	19950	-9.3

O dB(A) é um filtro de ponderação que subtrai muita energia do campo sonoro nas baixas frequências, soma energia nas médias e subtrai novamente nas altas, buscando adequar o ruído ao desempenho aproximando do ouvido humano – que, por sua impedância, funciona mal nas baixas frequências, funciona bem nas médias e diminui a sua eficiência nas altas.

1.2.6. A EXPERIÊNCIA EFETUADA POR FLETCHER E MUNSON - CAMPO AUDITIVO.

A experiência efetuada por Fletcher e Munson (1933), que construíram as curvas de igual quantidade de sensação sonora em fons (curvas isofônicas), representa o caráter subjetivo da sensação auditiva e abrange as frequências de 20 Hz a 15000 Hz, que compõem a faixa audível pelo homem. A experiência está demonstrada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Representa a o traçado das curvas isofônicas.

Até aqui foram tratados apenas os tipos de proteção ao sistema auditivo, mas a exposição do corpo humano ao ruído também envolve outras questões. Os órgãos, os músculos e os ossos constituem um sistema massa-mola suscetível às vibrações, possuem ressonância própria e são estimulados principalmente por ruídos de baixa frequência.

1.2.7. MODELO MECÂNICO DO CORPO HUMANO.

Desenho 1 - Demonstra como as vibrações excitam o corpo humano.

Como demonstrado no Desenho 1, os órgãos do corpo humano possuem vibrações que podem entrar em ressonância com os níveis sonoros de baixa frequência.

Essas vibrações podem causar indisposições que prejudicam o desempenho das funções do corpo humano, tais como náuseas, dor de cabeça e sonolência, entre outros sintomas. Dependendo da situação, pode ser um fator adicional de risco aos acidentes do trabalho.

Um exemplo claro ocorreu em uma indústria que trabalhava com uma série de bombas de vácuo com uma predominância do ruído em 20 Hz. Após o almoço frequentemente ocorriam incidentes. (aqui definidos como acidentes do trabalho de pequeno porte, sem afastamento). A vibração normal da área do abdome, com ressonância estimada entre 4 e 8 Hz, subia após as refeições para aproximadamente 20Hz, ocasionando sonolência nos operadores. Esta frequência é totalmente despercebida pelo sistema auditivo, mas não pelo sistema digestivo.

Não basta proteger apenas o ouvido, uma vez que a caixa torácica e o abdômen têm como proteção uma fina camada de pele, que não se constitui em barreira acústica para os ruídos de baixa frequência. O ruído entra por estas partes do corpo, e após subir pela traqueia vai afetar o sistema auditivo (ouvido e labirinto) pelo lado interno da cabeça.

Outros órgãos podem entrar em ressonância com o ruído de baixa frequência, e o organismo fica sujeito a sérios transtornos, que não são avaliados na medição em dB(A).

As Normas NR15, NBR 10151 e NBR 10152 também se utilizam do mesmo filtro (A) de ponderação nas indicações de seus valores.

Há alguns anos, o autor desta pesquisa participou de uma comissão do Ministério do Trabalho que buscava argumentos para alterar o conceito da NR-15, que prioriza os níveis sonoros medidos em dB(A), de modo que ficasse equivalente a outras legislações no mundo, introduzindo a questão do ruído de baixa frequência – principalmente em áreas industriais. Infelizmente essa comissão não prosperou, deixando uma lacuna na questão de como enfrentar o ruído de baixa frequência nas áreas industriais.

1.3 Solução Técnica 1: Desenvolvimento do primeiro medidor digital de ruído do mundo.

O autor desta pesquisa trabalhou, por 16 anos, como pesquisador no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo IPT, onde foi responsável pela área de ruído industrial do Instituto, participando da resolução de inúmeros casos.

Durante os anos de trabalho no IPT, participou de muitos projetos de inovação tecnológica com um medidor digital de nível sonoro, inexistente até então no mercado. Este medidor foi fabricado para suprir a necessidade da Prefeitura Municipal de São Paulo, no programa em convênio com o IPT, para o controle do ruído na cidade de São Paulo.

Foto 4 - Medidores de nível sonoro, projetados e fabricados pelo IPT

O diretor presidente da empresa Buril & Kjaer (maior fabricante mundial de equipamentos acústicos da época), em visita ao IPT, conheceu o medidor recém-terminado e notou que o aparelho utilizava microfone B&K. Alguns meses após a visita, a B&K lançou no mercado o medidor digital.

Devido às dificuldades de importação na época, o IPT teve que projetar os próprios microfones para a colocação em seus aparelhos. Foi desenvolvido pelo autor, junto com o Eng. Flavio Pereira Lalli, o sistema de calibração de microfones por reciprocidade, com o intuito de aferir nossos microfones e dar suporte à fabricação dos novos, visando conferir confiabilidade aos futuros microfones.

Entretanto, com o término do convênio com a PMSP o microfone desenvolvido ficou apenas no protótipo. Na mesma época, desenvolvemos geofones mecânicos e eletrônicos para dar suporte à Sabesp no programa de controle de vazamento de águas na cidade de São Paulo.

1.3.1 Solução Técnica 2: Desenvolvimento de câmaras reverberantes com amortecedores de neoprene com frequência de corte de 6 Hz.

No final da década de 70, foram projetados os Laboratórios de Acústica do IPT. Esses laboratórios eram compostos de três câmaras reverberantes, duas delas interligadas por uma abertura destinada a introduzir o pórtilho com a amostra a ser ensaiada.

A terceira câmara reverberante está localizada sobre a câmara nova com um dispositivo acoplado a ela, que possibilita a execução de ensaios de forro suspenso com planos de altura variados, reproduzindo as especificações dos projetos acústicos.

Pertence ao conjunto de Laboratórios uma quarta câmara, projetada para ser anecoica. As duas câmaras reverberantes construídas uma sobre a outra e a câmara anecoica compõem os novos Laboratórios de Acústica que, para atingir os objetivos do projeto, foram construídos sobre apoios de neoprene projetados para uma frequência de corte de 6Hz (Foto 5).

Foto 5 - Apoio de neoprene sob as câmaras dos laboratórios de acústica do IPT.

A inovação no projeto foi ocasionada pela falta de recursos e pela necessidade de executar o maior número de ensaios possíveis no menor intervalo de tempo. Até então os laboratórios existentes no mundo possuíam duas câmaras reverberantes acopladas, e as amostras destinadas aos ensaios eram montadas entre as duas câmaras. Dependendo do tipo da amostra, essa montagem demandava semanas à espera de cura, para posteriormente ser submetida ao ensaio.

O ensaio propriamente dito era executado em curto espaço de tempo; no entanto, a desmontagem da amostra e a posterior limpeza do laboratório consumiam um longo tempo, o que acarretava elevado custo para um único ensaio, além do período em que o laboratório ficava inoperante.

Era uma das prioridades do IPT, à época, ajudar a promover o desenvolvimento da indústria nacional e de seus produtos, pois não havia materiais ou componentes destinados ao mercado da construção civil, com desempenho comprovado por instituições nacionais. Tudo o que existia eram produtos similares aos importados, porém sem certificação de desempenho. Portanto, havia uma grande incógnita quanto aos resultados na aplicação nas obras, sob o ponto de vista acústico.

Tomamos como premissa que os trabalhos de montagem e desmontagem das amostras seriam realizados em áreas externas às câmaras reverberantes, reservando o interior das câmaras apenas para a execução dos ensaios.

Com este programa, projetamos a segunda câmara reverberante com distância de 60 cm da câmara existente. Este espaço foi destinado ao acoplamento de um pórtico projetado em concreto que receberia as amostras a serem ensaiadas.

1.3.2 Solução Técnica 3: Desenvolvimento do um pórtico móvel para otimização da troca de amostras de grande porte nos ensaios em câmaras reverberantes, denominado “carrossel”, ainda único no mundo.

O pórtico, com o componente a ser testado, permanece em um dispositivo externo aos laboratórios, e é introduzido através de um sistema de carrossel no vão entre as câmaras com a ajuda de cabo de aço, tracionado por um guincho utilizado em embarcações e operado por uma pessoa que tensiona o cabo para dar atrito, permanecendo nesta posição no período destinado ao ensaio. Isso possibilita a execução, quando necessário, de mais de um ensaio por dia, reduzindo muito os custos dos mesmos.

Foto 6 - Carrossel que transporta os pórticos que contêm as amostras para o ensaio e conduzem as amostras para espaço reservado entre as duas câmaras reverberantes.

Foto 7 - Carrossel que transporta os pórticos que contem as amostras para o ensaio.

Foto 8 - Área destinada à montagem e desmontagem das amostras.

Foto 9 - Pórtico com abertura normatizada para ensaiar portas e janelas.

O isolamento sonoro entre a fresta do pórtico e as câmaras foi projetada com três linhas de câmara de ar com diâmetro de 3 cm cada, instaladas em rebaixos existentes nas paredes das duas câmaras, voltadas para o pórtico introduzido para o ensaio. Quando do ensaio, as câmaras de ar são cheias com diferentes pressões, visando aumentar o isolamento sonoro. Resta salientar que o projeto constituiu em um avanço nos laboratórios existentes à época, com pleno êxito, pois até os dias de hoje está em funcionamento com o mesmo sistema.

Os sistemas implantados no laboratório possibilitaram a execução de inúmeros ensaios e propiciaram o desenvolvimento de produtos com rapidez, facilidade e baixo custo dos mesmos, tornando-se uma ferramenta eficiente no aprendizado para seus operadores. São apresentadas seguir as Plantas 1, 2, 3, 4 e 5, referentes ao projeto dos laboratórios de acústica do IPT.

Planta 3 - Corte contendo a câmara antiga, as duas câmaras novas sobrepostas. A câmara superior possui um dispositivo de concreto, com altura variável, que se destina a execução de ensaios de forno suspenso e o carrossel de transporte das amostras.

Planta 4 - Projetos de forma e ferragem do pórtico executado em concreto para a montagem da amostra.

Planta 5 - Projeto com detalhe das rodas superiores, que servem de guia e das rodas inferiores que servem de apoio para o pórtico de concreto.

Após deixar o Instituto, o autor constituiu uma empresa voltada para o controle do ruído, e nos últimos 27 anos foram projetados e executados mais de três centenas de tratamentos acústicos na área industrial.

Além da experiência prática ao longo desses anos, a dissertação de Mestrado apresentada em 1982 teve como tema o Ruído Urbano. Entre as contribuições à sociedade, encontram-se a participação nos projetos das Normas NBR 10151 e 10152, vigentes até a presente data.

1.3.3 Solução Técnica 4: Desenvolvimento de portas acústicas dando realce às vedações.

A porta acústica é um item especial, pois está disseminada em vários segmentos e abrange portas de escritórios, consultórios, hotéis, indústrias, casas de espetáculos, estúdios, cinemas, etc.

A participação no desenvolvimento de portas no IPT foi extremamente importante para o posterior projeto das cabines acústicas. O projeto de portas envolve, em primeiro lugar, o levantamento do espectro do ruído a ser isolado, pois para cada tipo de ruído existe uma especificidade de projeto, tanto do ponto de vista do “recheio” da porta, quanto da necessidade do vedado das frestas.

A parte mais fraca em relação ao desempenho acústico de portas, normalmente, está em sua vedação. Os três lados que estão em contato com o batente são sempre mais fáceis de isolar do que o lado inferior da porta junto ao chão, pois muitas atividades não permitem obstáculos no piso devido ao risco do acidente.

Neste caso, algumas alternativas de projeto podem ser contempladas, tais como:

- Um dispositivo que vede a parte inferior da fresta quando a porta se fecha, com acionamento mecânico;
- Colocar, na parte inferior da porta, uma borracha com uma face magnética (como uma borracha de geladeira), e fixar ao piso uma tira metálica para vedar a fresta quando do fechamento da porta;
- Construir um silenciador sob a porta e outro embutido no piso, de modo que quando a porta se fecha o ruído seja reduzido pelo efeito dos silenciadores;
- Criar um ressalto no piso para vedar a parte inferior da porta.

As vedações laterais e superiores devem receber atenção especial. As frestas têm que ser dimensionadas para que os vedos se ajustem perfeitamente, pois, se muito justas, causam uma mola no fechamento, impedindo que este ocorra normalmente e, se folgadas, não produzem o isolamento esperado. O tipo de material também é importante, pois ele não deve possuir “memória”, mantendo a vedação prevista ao longo do tempo.

Alguns exemplos de portas acústicas são apresentados a seguir, com detalhes das vedações.

Foto 10 - Porta dupla com trava de segurança.

Foto 11 - Detalhe do batente com vedação dupla lateral.

Foto 12 - Detalhe do batente com vedação dupla junto ao piso.

Foto 13 - Trava anti-pânico que permite o fechamento da porta em três pontos: superior, inferior e lateral.

Desenho 2 - Porta de duas folhas com duas linhas de vedação. Para ter desempenho acústico é necessária mais de uma linha de vedação na porta. Detalhe para a construção de uma porta acústica genérica

1.3.3 Solução Técnica 5: Desenvolvimento de silenciador entre a porta e o piso.

Desenho 3 - Detalhe da vedação junto ao piso da folha de porta acústica executada em madeira com RW 50 dB.

O Desenho 3 apresenta o projeto de um silenciador na parte inferior da porta para diminuir o vazamento do ruído entre a porta e o piso, sendo esta fresta a que mais interfere no desempenho acústico das portas. Normalmente não é possível executar um degrau na parte inferior da porta, solução que resolveria este vazamento. Outra possibilidade é instalar um dispositivo em forma de guilhotina que é acionado quando a porta fecha. A solução do silenciador é uma das possibilidades para a “vedação” junto ao piso.

Detalhe genérico de uma porta acústica para isolamento sonoro de RW 35:

Desenho 4 – Corte de Porta Acústica Simples com redução de R_w 35, a fresta junto ao piso normalmente é a que mais prejudica o isolamento sonoro da porta. É recomendado que ela tenha a menor dimensão possível e que tenha algum dispositivo de vedação.

Desenho 5 - Porta metálica com vedação magnética – Vista Lateral.

Desenho 6 - Porta acústica metálica de duas folhas com batente no centro.

Desenho 7 – Detalhe de porta acústica metálica dupla com coluna e visores de vidros duplos dos dois lados.

Desenho 8 – Detalhe de porta acústica metálica de abrir com visores de vidros duplos em ambos os lados.

1.4 AVALIAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL.

O ruído industrial advém de processos de manipulação de matérias primas, bem como sua transformação em produtos acabados. Esse processo envolve operações quase sempre ruidosas, causando impactos no ambiente industrial, desde o desconforto, com perda de produtividade, acidentes de trabalho, até doenças ocupacionais.

Muito se tem trabalhado para o controle do ruído interno, utilizando várias metodologias que vão desde mudanças no método produtivo, uso de equipamento de proteção individual (EPI), revestimento das superfícies internas do edifício industrial, até redução do ruído na fonte através do enclausuramento das mesmas.

O tratamento do edifício, na grande maioria dos casos, contribui pouco para a redução do ruído que atinge os operários, além de ser um procedimento oneroso devido à grande quantidade de material utilizado.

A legislação vigente, mais especificamente a NR15, estabelece que o uso de proteção individual (EPI) deva sempre ser temporário, e que seu uso seja suprimido quando as soluções definitivas forem implantadas.

O ruído industrial interno tem níveis sonoros que representam as doses diárias do ruído no qual o operário está exposto, e dependendo do nível sonoro a jornada de trabalho terá duração compatível com a exposição – assunto este tratado no trabalho programado TP1. Segundo a NR15, estes níveis podem variar de 85 dB(A) para 8 horas de exposição até 110 dB(A) para 15 minutos de exposição.

O ruído industrial externo está sujeito a legislações específicas, quase sempre ligadas às regras de uso e ocupação do solo. Para exemplificar: se a indústria estiver instalada em área residencial ou mista, o ruído interno pode ser de 85 dB(A) e o externo de 50 dB(A), e a redução deverá ser de 35 dB(A). Entretanto, tal redução exigirá o isolamento sonoro do edifício, o que às vezes é dificultado por suas peculiaridades e pelas aberturas para ventilação, prejudicando o isolamento. A solução para o caso é tratar as aberturas, propiciando áreas iluminadas, porém vedadas, e áreas abertas para a ventilação com aberturas tratadas, utilizando silenciadores especialmente projetados.

Este trabalho aborda as relações entre o Ruído Industrial, suas implicações no homem quanto à perda da audição, perda de produtividade, riscos, acidentes e metodologias para controle do mesmo e a inter-relação entre o ruído industrial e sua vizinhança lindeira.

Cada sistema produtivo apresenta propriedades particulares, que devem ser analisadas sob o ponto de vista de suas especificidades, sendo cada uma delas tratada em projeto específico, com metodologia e procedimentos dedicados a cada caso.

O objetivo é descrever e ampliar os métodos de avaliação do Ruído Industrial, para que os mesmos tenham uma base sólida de apoio e, ao longo do tempo, possam ser avaliados a qualquer momento, tanto do ponto de vista da metodologia, como dos resultados projetados e efetivamente alcançados. A proposta é demonstrar, para alguns casos reais, como o método de controle facilita a análise e propicia correções quando necessário.

Conhecemos os métodos tradicionais e suas implicações nas áreas industriais. Quando é feita a opção pelo enclausuramento, este se processa através de cabines acústicas opacas, construídas quase sempre em chapa metálica. Apesar de revolver a questão do ruído, a cabine impede parcialmente a visão da área industrial, prejudicando o controle e aumentando o risco de acidentes, propiciando pontos “cegos” dentro da referida área.

A opção da diminuição do ruído por redução da reverberação, tratando as superfícies internas ao edifício industrial, reduz também os níveis sonoros a que os operários estão submetidos, mas torna operadores das máquinas excessivamente expostos, e por força de seu trabalho ficam interpostos entre as fontes do ruído e o tratamento acústico, recebendo, portanto, toda a dose do ruído. Quase na totalidade dos casos, a opção pela redução do ruído na fonte tem um resultado satisfatório, pois diminui em muito o custo do tratamento acústico e livra o operário do recebimento direto da dose de ruído.

Para este trabalho, são selecionados exemplos de locais que apresentam condições de ruído e necessidades de tratamento que propiciem a implementação da metodologia em estudo. Como a legislação vigente estabelece níveis sonoros distintos para o ruído interno da área industrial e os ruídos externos à mesma, os galpões industriais, dependendo de sua localização na malha urbana da cidade, deverão possuir tratamento acústico adequado para suprir as exigências legais, tratamento este que não faz parte do presente trabalho.

1.5 CONTROLE DO RUÍDO VERSUS REDUÇÃO DO RUÍDO.

O controle do ruído e redução do ruído não são a mesma coisa. Em alguns casos, uma solução razoável de um problema de controle de ruído pode ser a modificação do espectro do ruído, sem necessariamente reduzir o valor global do nível de pressão sonora.

Um exemplo disso poderia ser uma bomba hidráulica operando a uma dada rotação, com uma vazão pré-estabelecida. Ao substituir a bomba por duas com a metade da rotação cada uma, obtém-se a mesma vazão, entretanto a sensação sonora será de menos ruído, posto que a frequência diminui.

Na maior parte dos casos, no entanto, a solução do problema implicará na aplicação de alguma(s) das providências citadas a seguir, com o objetivo de reduzir o ruído.

As razões que levam à decisão de se realizar o controle do ruído podem ser de várias naturezas:

- Cumprimento de exigências legais;
- Reclamações da vizinhança;
- Proteção da audição dos trabalhadores;
- Necessidades de melhorar as condições de conforto (e/ou produtividade).

Qualquer que seja a razão, em especial no caso de problemas complexos, é interessante que se instale um “Programa de Controle de Ruído” para que as possibilidades sejam analisadas de forma sistemática, a fim de que a solução implementada reflita a otimização dos fatores: redução do ruído; tempo de implantação; interferência com as funções (produção, manutenção etc.) e custo financeiro.

Uma vez decidida a implementação de um Programa de Controle de Ruído, é fundamental seguir os três (3) passos abaixo:

1. Definir especificamente (quantificar) os resultados finais desejados, para que a situação atual e os passos seguintes possam ser analisados em relação a esses resultados finais. Essa definição envolve a seleção inicial de critérios (ver, por exemplo, o texto Controlando a Exposição ao Ruído) que reflitam os objetivos do Programa.

2. Selecionar equipamentos e métodos de medição de ruído adequados para avaliar, em função dos critérios definidos acima, tanto a situação atual como aquela após a implementação das medidas de controle do ruído. Para que se possa avaliar a gravidade da situação atual nos vários locais envolvidos, verificar posteriormente o sucesso ou não das providências tomadas, e também estabelecer um critério de prioridade na implementação do “Tratamento Acústico”.
3. Definir e priorizar as áreas problemáticas através da implementação de um levantamento das condições vigentes, utilizando os equipamentos e métodos definidos acima.

Uma vez priorizadas as necessidade de intervenção nas várias áreas, o Programa de Controle de Ruído pode ser subdividido em vários subprogramas, um para cada área afetada. Cada subprograma consta, então, da seguinte sequência.

Determinação das fontes sonoras principais e secundárias através:

- Das distâncias e obstáculos entre as fontes e o receptor;
- De informações sobre os níveis e espectros de potência sonora das várias fontes;
- Da medição, no campo, dos níveis e espectros de potência sonora das fontes, seja utilizando os métodos tradicionais, seja, havendo disponibilidade do equipamento, por meio de medições da Intensidade sonora, ou da análise de faixa estreita do sinal acústico;
- Das características de vibrações e frequências esperadas de máquinas rotativas;
- De operação do tipo “isolamento de fontes”;
- Da utilização de meios mecânicos.

Tendo determinado as fontes principais e secundárias (aquelas cujos ruídos aparecerão assim que os ruídos das fontes principais forem atenuados pelo tratamento acústico) é necessário, para cada uma delas:

- Examinar suas características, operação, funções e interferências;
- Estabelecer cuidadosamente o sistema acústico “fonte – caminho – receptor”;
- Listar as possibilidades de: redução do ruído na “fonte”; controlar o ruído ao longo do “caminho”, e alterar as condições do “receptor”;
- Avaliar a efetividade na redução do ruído e o prazo de implementação de cada uma das possibilidades listadas;

- Avaliar os custos totais (custo da instalação do tratamento, da remoção de interferências, do tempo inativo do equipamento, da manutenção regular, etc.) para cada uma das possibilidades listadas, e;
- Otimizar, em função das avaliações acima, a seleção das providências de controle visando atingir os resultados programados.

Uma vez tendo em mãos as decisões (com os respectivos dados econômicos) tomadas para cada uma das fontes, é possível levantar as implicações econômicas de cada uma, e decidir por sua implementação simultânea, ou não. Neste segundo caso, com os dados acima em mãos, é possível uma redefinição da priorização feita inicialmente das áreas (em termos de ordem de implementação das providências de redução do ruído) tendo em mente a otimização da relação benefício/custo nos termos dos resultados finais desejados. Na verdade, com esses dados em mãos, é possível até uma redefinição, eventualmente mais realista, dos objetivos.

Uma vez executadas as providências de um dado subprograma, deve-se repetir o programa de medições visando verificar se as novas condições correspondem aos resultados desejados.

Caso esse resultado ainda não tenha sido atingido, a sequência de passos descrita para os subprogramas deverá ser repetida, obtendo, certamente, um nível muito mais próximo dos objetivos colimados.

1.6 A REDUÇÃO DO RUÍDO.

A redução do ruído, como dissemos anteriormente, pode ser introduzida na fonte, nos caminhos de transmissão, e no nível do receptor. A definição do método mais efetivo em um caso específico vai depender de muitos fatores. Ao lado das considerações puramente técnicas de acústica, desempenho, custo e praticidade são fatores obviamente importantes.

Vale sempre a pena salientar que todo o sistema composto pela fonte, caminhos de transmissão e o próprio receptor deve ser analisado, pois, em geral, a redução do ruído é um problema sistêmico.

Ao obter as isossônicas, com a aplicação do método, os níveis sonoros de maior intensidade aparecem claramente sobre o desenho da distribuição das máquinas na área industrial, identificando os pontos a serem tratados e sua influência sobre as demais áreas.

Pode-se ainda determinar as fontes sonoras que devem ser tratadas em decorrência de sua importância para a deterioração do clima acústico da área em questão.

Essas fontes podem ser de vários tipos, tais como:

- Motores elétricos;
- Bombas hidráulicas;
- Ventiladores;
- Exaustores;
- Pontos de ar comprimido;
- Purgadores de vapor, etc.

Sempre que possível, o ruído deverá ser reduzido na fonte, pois este procedimento, além de mais econômico, é o mais eficiente. Pode ser uma solução de pequeno porte, não se constituindo em uma cabine acústica, mas simplesmente em uma proteção. Dependendo do caso, a simples substituição de peças defeituosas pode resolver a questão.

O controle do ruído na fonte pode exigir mudanças no processo industrial e intervenções nas máquinas, tais como:

- Proteções especiais construídas com materiais resilientes,
- Substituições de partes móveis como engrenagens metálicas, por engrenagens de nylon ou similar,
- Introdução de silenciadores, principalmente nos pontos ou processos que possuam escape de ar comprimido.

Em muitos casos, a redução do ruído na fonte produz, em termos financeiros, resultados melhores que os outros tipos de intervenção.

Alguns dos métodos disponíveis para a redução do ruído na fonte são os seguintes:

- Alteração para uma técnica menos ruidosa de operação; por exemplo, remover peças de uma matriz por meios mecânicos em vez de utilizar jatos de ar comprimido;
- Redução das forças causadoras de ruído; por exemplo, balanceando forças mecânicas, magnéticas ou de atrito intermitente;
- Redução dos efeitos de forças de impacto; por exemplo, pode-se reduzir o ruído causado pelo manuseio e queda de peças metálicas acabadas sobre superfícies duras cobrindo essas superfícies com material resiliente;
- Introdução de isolamento contra vibrações entre superfícies que vibram e os dispositivos e máquinas que produzem as vibrações mecânicas que as excitam; por exemplo, pode-se reduzir o ruído causado por reatores de lâmpadas fluorescentes impedindo seu contato direto a chapa da luminária, colocando entre eles uma almofada de lã de vidro;
- Redução da irradiação do ruído através da redução da amplitude das ressonâncias de painéis, utilizando materiais amortecedores e/ou enrijecedores, ou mesmo pela redução das áreas das superfícies irradiantes; por exemplo, pela utilização de telas ou metal expandido em vez de placas metálicas contínuas.

Alguns métodos para redução do ruído nos caminhos de transmissão são os seguintes:

- Alterações das posições relativas entre o receptor e a fonte dentro da área;
- Utilização das características de diretividade da fonte para obter uma orientação que ofereça alguma redução de ruído ao receptor;
- Barreiras e enclausuramentos parciais ou completos, que podem reduzir a energia sonora que provém da fonte e chega ao receptor (e a outras partes do edifício ou da sala);
- Alteração das características acústicas da área pela introdução de materiais absorventes.

Para reduzir o ruído no nível do receptor podem ser utilizados os seguintes métodos:

- Proteção individual através de dispositivos como protetores auditivos de inserção, “earmuffs”, etc.;
- Controle da exposição do operador de máquinas, restringindo-a a um tempo limitado por dia junto a cada uma das máquinas que produzem diferentes níveis sonoros;
- Posicionamento do receptor com respeito à fonte de ruído ou ao caminho de transmissão; o operador poderia ser protegido do ruído pelo posicionamento remoto

dos controles da máquina ou pelo enclausuramento do operador em uma cabine tratada acusticamente.

1.7 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS A SEREM TRATADOS.

Para a determinação dos pontos a serem tratados, no método tradicional, mede-se o nível sonoro em dB(A), à altura do ouvido e na posição de trabalho do operador, e compara-se o resultado obtido na medição com os dados contidos na NR15, que determina os níveis sonoros máximos permitidos para uma exposição de oito horas. O resultado dessa análise estabelece a necessidade de intervenção no ponto medido.

Esse procedimento pode sofrer influências de outras fontes sonoras próximas, e, em muitos casos, não é possível a determinação clara da fonte e sua contribuição para a dose de ruído imposta ao trabalhador em seu posto.

Medir separadamente a fonte com a indústria em funcionamento exige equipamentos específicos, pois o ruído dentro de um galpão é sempre reverberante.

Estabelecer quais fontes devem ser tratadas é sempre uma tarefa difícil e quase sempre exige que as outras máquinas estejam desligadas para a determinação das características do tratamento acústico exigido.

O método-objeto deste trabalho ignora os postos dos operadores e efetua as medições em lugares pré-estabelecidos pela malha, em áreas escolhidas em função do tamanho da planta e de seu layout.

O resultado é o desenho de curvas isossônicas indicando as fontes sonoras mais expressivas e sua influência na área industrial, pois o levantamento já leva em conta a reverberação do galpão.

Áreas externas também podem ser medidas com o mesmo método, pois o resultado final também será incorporado pela falta de reverberação das medições em campo livre.

A obtenção das curvas isossônicas é realizada através da implementação de coordenadas X e Y para medições definidas segundo as dimensões do recinto.

A seguir, a partir das medições executadas nos nós dessa malha obtêm-se o nível sonoro, que inserido no Surfer representará a coordenada Z.

O Surfer – programa existente no mercado, que identifica o ponto medido e seu respectivo nível sonoro, a partir dos dados medidos e tabulados – traça as curvas de igual intensidade sonora, semelhantes às curvas de nível para a topografia.

A figura a seguir apresenta a tela de inserção de dados do programa para a criação da grade ortogonal em cujos nós serão efetuadas as leituras dos níveis sonoros.

Figura 1 – Tabela do Surfer.

Para as medições do ruído foi utilizado um analisador marca Rion modelo NA23, com tela de proteção contra a ação dos ventos. Para aferir os resultados foi utilizado um calibrador de tom puro marca Bruel & Kjaer modelo 4230 (Foto 14), aferindo a calibração antes e depois das medições.

Foto 14 - Medidor de nível sonoro tipo 1 marca Rion modelo NA23 e calibrador Bruel & Kjaer modelo 4230.

A Tabela 6 a seguir apresenta os resultados das medições realizadas e aplicadas com variável Z, no Surfer:

Tabela 6 - Valores medidos em dB(A).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	78	89	81	83	84	83	86	86	85	85	84	83	88	83	83	82	81	82	82
2	77	81	81	83	84	83	90	87	90	86	86	87	90	84	86	84	82	82	83
3	77	81	81	85	86	84	94	87	92	86	86	88	88	85	89	89	82	83	84
4	77	81	82	85	88	82	83	85	85	85	87	89	86	85	89	87	82	83	85
5	77	81	82	85	88	80	84	83	83	82	83	83	83	84	87	86	81	84	87
6	77	82	82	84	83	80	83	83	83	82	82	82	83	83	84	85	81	83	85
7	77	81	79	82	80	80	81	83	83	81	81	81	82	82	82	80	81	81	82

Os resultados serão curvas de igual intensidade sonora (isossônicas), que deverão ser plotadas sobre o layout da planta industrial. As isossônicas propiciam uma visão clara e objetiva da condição do ruído na área em estudo, identificando as fontes sonoras (geradoras do ruído), a contribuição dessas fontes para o ruído da área em estudo, e sua importância em relação ao clima acústico que envolve os operários em seus postos de trabalho.

Os dados inseridos – X, Y e Z – estão apresentados na Figura 2 do programa:

Figura 2 - Criação das Isossônicas.

É possível também verificar os pontos, cujos níveis sonoros estejam acima dos recomendados pela legislação, e que merecem uma atenção especial. Aqueles pontos que ultrapassam os níveis sonoros recomendados, mas não possuem postos de trabalho, e tem influência pequena sobre outras estações de trabalho, deverão ter tratamento diferenciado em relação às fontes que influenciam os operadores.

Figura 3 – Resultado da aplicação do programa.

Conforme a Figura 3, as isossônicas apresentadas na tela representam os níveis sonoros medidos nos nós da malha ortogonal, e quando plotadas sobre o layout da indústria mostram as fontes sonoras, sua influência no “clima” acústico da área e a necessidade de intervenção.

2. ESTUDOS DE CASO DOS LEVANTAMENTOS ACÚSTICOS POR ISOSSÔNICAS.

Como exemplo são apresentados os resultados de aplicação do método em diversos tipos de indústrias, com suas respectivas isossônicas para apresentar, a partir desses resultados, as soluções para algumas fontes identificadas pelo autor (entretanto não serão anexados os layouts nem a denominação dos locais, por exigência contratual).

2.1 INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE HIGIENE PESSOAL.

Tabela 7 – Valores medidos em dB(A) - setor 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	97	99	99	89	88	88	90	93	93	92	91	89	84	88	88	88	88	88	86
B	99	101	103	89	88	90	92	96	97	92	99	89	89	90	90	90	90	91	86
C	97	101	102	94	91	91	92	94	97	91	90	89	89	89	90	90	90	90	87
D	95	95	94	93	89	90	90	90	90	91	89	87	89	89	90	90	89	87	87
E	92	93	92	92	89	90	89	89	89	90	89	87	87	88	87	87	88	86	87
F	90	92	92	93	91	90	89	89	89	91	89	88	87	87	87	89	88	86	86
G	90	92	92	92	91	90	89	88	89	92	89	88	88	87	87	90	89	86	85
H	89	89	90	92	91	90	89	88	89	92	89	86	88	88	88	89	90	86	86
I	88	89	91	91	91	89	89	88	89	90	89	87	87	88	88	88	90	86	85
J	88	89	90	90	90	90	88	88	89	89	88	87	87	88	88	88	88	86	86
K	87	89	89	90	91	88	88	88	90	89	90	87	87	87	87	88	87	87	87
L	88	88	89	91	92	88	87	87	87	90	90	87	87	87	90	90	87	87	87

Planta 6 – Isossônicas já aplicadas sobre a planta e o layout industrial de indústria de higiene pessoal - setor 1.

2.2 INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.

Tabela 8 - Área de indústria alimentícia medidas efetuadas em dB(A).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	87	88	89	84	86	86	84	92	91	92	91	82	82	80
2	89	89	89	89	89	88	88	91	92	91	89	84	83	80
3	88	89	89	89	89	89	89	91	91	90	93	88	86	80
4	88	89	89	88	90	90	90	92	92	89	94	92	89	88
5	88	89	89	89	91	90	91	92	93	94	95	93	89	88
6	89	89	89	89	92	91	90	93	94	99	94	93	88	88
7	89	88	89	89	93	90	90	93	93	95	93	92	88	86
8	89	88	89	89	90	89	89	92	92	93	91	90	88	89
9	78	80	82	80	80	79	79	81	79	79	82	78	78	79
10	80	80	79	80	79	79	79	81	78	79	81	77	77	78
11	77	78	78	82	79	79	79	79	77	79	78	76	75	76
12		77	79	80	77	77	78	76	76	77	76	73	75	76
13		77	78	79	75	76	76	78	76	77	75	74	75	71

Gráfico 3 - Isossônicas indústria alimentícia.

2.3 INDÚSTRIA DE PAPEL.

Tabela 9 - Resultados das medições em dB(A) indústria de papel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1		85	85		91	91	92	93	92	90	94	96	91	91	90			
2		85	86		91	91	91	94	94	91	90	92	92	90	90			
3		86	86		93	94	93	91	92	92	91	91	91	90	90	97	87	87
4		86	86		92	91	93	91	95	94	93	93	90	90	90	97	87	87
5		87	87		92	93	95	99	94	94	93	92	94	90	90	97	94	91
6		88	88		93	93	92	94	95	94	93	93	92	90	90	97	96	91
7		89	89		95	94	97	94	94	94	93	94	94	93	92	96	95	91
8		88	90		95	93	94	99	100	94	94	94	92	94	94	92	91	91
9		89	90		97	96	99	100	102	94	94	93	93	91	91	92	91	91
10		90	90		100	99	99	106	100	93	98	98		91	91	89	92	90
11		91	91		95	97	102	99	100	97	94	95		93	92	89	90	93
12		93	91		95	95	99	98	97	94	93	93		93	92	90	90	91
13		93	92	97	95	95	98	96	96	101	93	93		93	92	89	91	90
14		92	93	97	96	96	99	97	96	94	93	93		94	93	91	91	90
15		90	95	92	96	96	98	97	96	94	94	94		94	94	91	90	90
16		90	95	93	98	98	98	98	96	93	93	95		94	94	90	91	90
17	88	90	91	93	100	106	98	98	97	94	94	95		94	93	90	90	90
18	87	90	91	93	104	106	103	100	97	95	95	95		93	92	90	90	89
19	87	89	93	93	104	106	102	100	97	95	95	95		92	92	90	89	89
20	89	89	92	93	104	106	101	100	97	95	95	94		92	92	90	90	89
21	89	89	90	97	104	106	100	100	97	95	95	94		92	93	90	90	89
22	88	88	90	92	105	105	102	100	97	95	95	94		93	93	90	90	89
23	88	8	89	92	104	110	103	100	98	95	94	94		94	94	91	91	90
24	88	88	88	92	105	109	101	100	97	95	95	94		97	95	91	92	91
25	88	88	87	91	102	104	101	99	97	95	95	94		97	97	92	92	92
26	87	87	86	87	101	102	99	98	97	96	95	96		100	98	92	94	92
27	87	87	86	87	100	100	98	97	97	96	96	99		100	100	94	94	92
28	87	87	87	87	99	98	97	97	97	96	96	101		103	100	94	93	91
29		87	86	87	97	97	95	97	97	96	97	97		98	98	94	92	90
30					96	96	96	93	94	95	97	97		98	96	92	92	90
31					95	95	93	93	93	95	95	97		98	986	92	91	90
32					93	93	93	93	93	95	95	97		97	96	91	88	89
33					93	93	93	93	93	95	95	97		102	97	88	88	88
34					93	93	93	93	93	95	95	97		101	98	88	88	88
35					93	93	93	93	94	95	95	95		101	98	87	87	87
36					93	93	93	93	94	93	93	93		99	97	87	87	87
37					94	93	93	93	94	92	92	92		95	96	87	87	86
38					97	95	95	94	94	91	91	92		94	94	87	87	86
39					97	97	102	95	94	93	93	94		95	93	86	86	86
40					95	99	99	99	93	93	94	97		96	94	85	85	88
41					93	95	96	95	93	95	94	96		96	95	85	85	85
42					93	93	93	93	90	92	94	95		96	95	84	84	84
43										94	94	94	95	94	94	82	82	83
44										94	94	94	94	94

Gráfico 4 - Indústria de papel.

2.4 INDÚSTRIA METALÚRGICA.

Tabela 10 - Resultados das medições em dB(A) indústria metalúrgica.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	68	70	66	68	66	66	68	76	76	78	78	82	82	82	88	82	84	84	76
2	68	70	68	70	66	70	68	76	78	78	76	84	84	86	84	90	82	78	78
3	68	72	70	72	72	72	70	76	78	78	78	82	82	82	82	88	85	80	80
4	68	70	70	72	72	72	72	78	78	76	80	80	80	82	82	88	80	80	80
5	68	72	72	72	74	74	74	74	76	78	80	80	80	84	82	80	78	78	78
6	70	70	70	72	72	74	72	78	80	78	78	80	86	82	82	80	78	78	78
7	68	70	70	70	74	72	70	78	82	78	78	80	82	84	86	82	80	78	78
8	70	68	70	72	72	70	70	78	82	80	78	80	80	82	80	78	80	80	84
9	68	68	70	70	72	70	70	80	80	80	82	80	80	80	80	78	80	80	80

Gráfico 5 - Indústria metalúrgica.

3 Solução Técnica 6: Arquitetura de cabines para o controle do ruído industrial e dispositivos.

A partir das necessidades e problemas relacionados na parte 1, foram desenvolvidos na parte 2 os projetos que estão organizados com os dados e levantamentos específicos de alguns estudos, seguidos das plantas com as isossônicas correspondentes. Finalmente, são apresentadas fotos dos resultados arquitetônicos das soluções das cabines.

3.1 Estudos de casos resolvidos com enclausuramento.

Quando o ruído é excessivo, recomenda-se o tratamento do mesmo, melhorando o processo industrial, ou introduzindo-se o conceito de isolamento sonoro por meio do enclausuramento da fonte, conforme os exemplos apresentados a seguir (desenvolvidos pelo autor).

Entre algumas centenas de casos, este isolamento específico foi escolhido devido à complexidade das fontes sonoras envolvidas, e pela fácil visualização dos resultados obtidos.

3.2 INDÚSTRIA GRÁFICA – LEVANTAMENTOS.

O estudo de caso foi realizado para uma gráfica construída em dois blocos, um deles com um subsolo parcial.

Empregando a metodologia descrita para a construção das curvas isossônicas, os níveis de ruído foram medidos e ponderados segundo a curva (A).

As medidas foram feitas a 1,2m do piso, nos pontos nodais de uma matriz imaginária, sendo que a partir desses dados foram traçadas as curvas isossônicas.

A malha utilizada para cada uma das matrizes de levantamento foi dimensionada em função das dimensões de cada unidade:

- Unidade 1 → 2,4m x 2,8m,
- Unidade 2 → 2,0m x 2,4m,
- Unidade 2 / subsolo → 2,0m x 2,25m.

As tabelas abaixo apresentam os resultados das leituras, em dB(A), realizadas nas áreas da Gráfica denominadas:

- Unidade 1, (Tabela 12 - sem tratamento acústico; Tabela 13- com tratamento).
- Unidade 2, (Tabela 14- sem tratamento acústico; Tabela 15 - com tratamento).
- Unidade 2 Subsolo, (Tabela 16- sem tratamento acústico; Tabela 17 - com tratamento).

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 1 com o seu layout original, sem a introdução das cabines acústicas.

Planta 7 – Unidade 1 - com o layout original.

Tabela 12 - Unidade 1 levantamento do ruído sem tratamento acústico.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	87	87	77	77	78	78	78	82	84	85	85	88	88	90	90	92	92	92	92
2	87	87	78	78	78	78	78	83	84	88	89	90	91	86	86	94	94	97	93
3	87	87	78	78	78	79	79	80	82	83	88	87	89	86	87	92	92	94	93
4	87	87	78	78	78	79	80	81	83	84	86	86	87	87	89	90	93	95	93
5	87	87	78	78	78	79	80	80	83	84	85	85	87	87	89	91	90	92	97
6	88	88	78	80	79	80	80	82	85	85	85	85	85	87	88	88	90	92	94
7	88	88	78	79	79	78	80	72	86	84	83	85	85	87	87	88	92	91	90
8	88	89	80	79	80	81	83	88	88	87	85	86	85	87	87	85	86	86	88
9	92	94	80	79	82	82	84	88	88	89	86	85	87	85	86	86	86	87	88
10	94	97	87	82	82	82	83	88	94	90	86	90	94	86	85	85	85	85	86
11	90	91	81	81	82	82	83	88	91	87	85	90	92	85	84	84	84	85	85
12	90	91	85	83	83	82	82	84	84	90	88	92	92	90	87	87	88	87	85
13	90	92	83	85	83	83	84	83	84	90	90	92	95	91	86	86	87	86	85
14	91	92	83	85	84	84	85	87	87	92	89	91	92	93	87	86	87	92	87
15	90	92	84	87	85	84	88	91	87	88	89	85	97	94	88	89	89	90	97
16	90	96	87	86	85	85	90	92	91	87	90	85	93	90	89	89	89	95	95
17	90	94	85	85	85	85	92	91	90	90	96	83	93	91	88	86	84	84	83
18	90	95	95	85	85	85	91	92	89	90	96	94	93	90	88	87	84	84	83
19	96	96	95	85	85	85	86	87	88	90	92	92	89	88	87	85	84	83	82
20	97	97	96	85	85	85	86	86	89	95	98	95	96	88	87	85	84	83	82
21	98	98	96	86	85	85	85	86	87	90	99	95	86	87	85	83	84	84	82
22	93	81	97	86	85	85	85	88	90	95	93	92	87	87	85	83	84	84	82
23	97	83	97	86	85	85	85	89	92	92	99	90	87	87	84	84	84	83	82
24	94	78	80	86	86	86	85	87	92	92	90	90	87	87	85	83	84	84	84
25	93	79	85	87	87	88	85	88	95	93	95	89	88	88	85	84	84	85	85
26	93	93	99	88	88	90	94	95	92	92	93	87	91	91	85	85	85	85	85
27	99	91	98	86	88	93	94	90	91	91	92	87	90	90	86	86	86	85	86
28	97	88	97	85	87	89	90	90	93	90	95	87	88	87	88	85	85	85	85
29	98	86	86	86	87	87	89	90	93	92	92	87	88	87	93	95	95	91	88
30	95	85	85	86	87	88	88	89	93	93	93	85	88	86	90	91	91	91	85
31	85	86	83	90	97	99	91	89	91	94	95	89	89	88	88	88	89	89	89
32	85	82	84	90	94	97	91	90	92	95	92	89	89	88	87	87	86	89	89
33	92	86	86	86	87	89	88	90	91	91	92	91	93	88	87	87	86	93	95
34	84	86	82	85	89	92	90	90	89	88	89	90	92	89	87	87	86	92	92
35	83	82	82	85	88	92	90	88	88	88	89	91	92	90	88	90	88	94	92
36	82	82	83	84	88	90	92	88	88	88	89	94	94	91	90	90	88	94	92
37	82	82	83	82	87	89	90	87	88	99	90	95	95	91	90	86	86	95	96
38	82	82	82	82	87	88	87	86	88	99	90	92	93	91	90	91	86	92	94
39	84	83	82	82	87	88	86	86	89	89	90	91	91	91	90	90	86	92	90

Nesta tabela, como podemos verificar, os níveis sonoros antes do tratamento acústico, em sua grande maioria, estavam acima de 85 dB(A).

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 1 com a plotagem das isossônicas no layout original, sem a introdução das cabines acústicas.

Planta 8 – Unidade 1 -Isossônicas da área da gráfica sem tratamento acústico.

Os resultados contidos na tabela 13 demonstram a Representação numérica da medição após o tratamento acústico, com a colocação das cabines nas impressoras desta área.

Tabela 13 - Unidade 1 após o tratamento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	67	67	67	67	68	58	48	52	47	45	45	48	48	58	58	52	52	52	52
2	67	67	68	68	68	58	48	53	47	48	49	50	51	46	54	54	54	57	53
3	67	67	68	68	68	59	49	50	42	43	48	47	49	46	47	52	54	54	53
4	67	67	68	68	68	59	50	51	43	44	46	46	47	47	49	50	53	55	53
5	67	67	68	68	68	59	50	50	43	44	45	45	47	47	49	51	50	52	57
6	68	68	68	70	69	60	50	52	45	45	45	45	45	47	48	58	50	52	54
7	68	68	68	69	69	58	50	42	46	44	43	45	45	47	47	48	52	51	50
8	68	69	70	70	70	61	53	42	46	44	43	46	45	47	47	45	46	46	48
9	72	74	70	71	72	62	54	42	46	44	43	45	45	47	45	46	46	47	48
10	74	77	77	72	72	62	53	42	46	44	43	50	54	46	45	45	45	45	46
11	70	71	71	71	72	62	53	58	51	47	45	50	52	45	44	44	44	45	45
12	70	71	75	73	73	62	52	54	44	50	58	52	52	50	47	47	47	47	45
13	70	72	73	75	73	63	54	53	44	60	50	52	55	51	46	46	47	46	45
14	71	72	73	75	74	64	55	57	47	52	49	51	62	53	47	46	47	52	47
15	70	72	74	77	75	74	78	81	77	78	57	57	57	54	48	49	49	60	77
16	70	76	77	76	75	75	80	82	81	77	57	57	57	54	49	49	59	65	75
17	70	74	75	75	75	75	82	81	80	80	57	57	57	54	48	46	54	64	63
18	70	75	75	75	75	75	81	82	79	80	57	57	57	54	48	47	54	63	63
19	76	76	75	75	75	75	76	77	78	80	57	57	57	54	47	45	54	53	62
20	67	67	66	65	65	65	76	76	79	85	57	57	57	54	47	45	54	53	62
21	58	58	56	56	55	65	75	76	77	90	80	85	76	77	75	73	74	74	72
22	63	51	47	46	45	65	75	78	80	85	83	82	77	77	75	73	74	74	72
23	67	53	47	46	45	65	75	79	82	82	84	80	77	77	74	74	74	73	72
24	64	48	46	46	46	66	75	77	82	82	80	80	77	77	75	73	74	74	74
25	63	49	47	47	47	68	85	78	85	83	85	79	78	78	75	74	74	75	75
26	63	58	49	48	48	70	84	85	82	82	83	77	81	81	75	75	75	75	75
27	49	61	48	48	46	73	84	80	81	81	82	77	80	80	76	76	76	75	76
28	47	48	47	45	47	69	80	80	83	80	79	77	78	77	78	75	75	75	75
29	48	46	46	46	47	67	79	80	83	82	82	77	78	77	83	85	85	81	78
30	65	45	45	46	47	68	78	79	83	83	83	75	78	76	80	81	81	81	75
31	75	80	73	80	85	81	81	79	81	84	85	79	79	78	78	78	76	79	79
32	75	72	74	80	84	84	81	80	82	85	82	79	79	78	77	77	76	79	85
33	82	76	76	76	77	79	78	80	81	81	82	81	83	78	77	77	76	79	85
34	74	76	82	75	79	82	80	80	79	78	79	80	82	79	77	77	76	82	82
35	73	72	82	75	78	82	80	78	78	78	79	81	82	80	78	80	78	84	82
36	72	72	73	74	78	80	82	78	78	78	79	84	84	81	80	80	78	84	82
37	72	72	73	72	77	79	80	77	78	80	80	85	85	81	80	85	76	85	85
38	72	72	72	72	77	78	77	76	78	80	80	82	83	81	80	81	76	82	84
39	74	73	72	72	77	78	76	76	79	79	80	81	81	81	80	80	76	82	80

Como podemos verificar, o enclausuramento das fontes principais surtiu efeito, pois os níveis sonoros medidos se encontram abaixo de 85 dB(A), atingindo os objetivos do tratamento acústico.

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 1 com a plotagem das isossônicas no layout original, sem a introdução das cabines acústicas.

Planta 9–Unidade1- representa o levantamento das Isossônicas da área da gráfica após a colocação das cabines acústicas, indicadas em vermelho nas impressoras desta área.

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 2 com o seu layout original sem a introdução das cabines acústicas.

Planta 10 – Unidade 2 com Layout original.

Tabela 14 - Unidade 2 levantamento do ruído sem tratamento acústico.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	86	94	94	93	94	93	91	91	89	89	90	90	90	89	86
2	87	94	94	95	95	95	93	91	89	90	94	91	90	88	87
3	87	95	96	97	96	93	93	92	90	91	94	92	89	87	87
4	88	96	90	96	91	92	92	91	90	94	95	93	90	90	89
5	89	94	90	95	91	95	93	91	90	97	93	94	87	86	88
6	92	94	99	90	99	93	92	91	99	96	93	95	87	87	89
7	91	94	95	96	93	94	90	91	91	97	93	95	88	88	88
8	91	91	92	91	91	93	91	91	93	97	93	90	88	88	88
9	91	91	90	90	91	91	91	91	93	97	92	95	90	89	88
10	91	91	90	91	92	92	98	98	94	99	99	95	93	88	88
11	93	93	91	91	92	92	92	93	93	95	96	94	92	88	89
12	95	97	93	92	92	99	99	92	91	90	94	93	91	87	89
13	97	92	95	94	93	91	90	90	92	92	92	91	90	89	88
14	90	95	99	94	94	92	92	91	91	92	91	88	80	89	89
15	90	93	90	93	92	92	93	91	91	91	90	90	89	89	89
16	93	91	90	91	91	92	91	90	91	90	95	90	89	88	88
17	91	98	99	91	91	91	91	91	90	89	88	90	87	88	88
18	98	94	95	91	91	91	92	90	99	89	87	89	87	88	87
19	93	92	92	91	91	91	90	90	88	86	87	87	87	87	85
20	92	92	92	92	91	90	99	88	88	86	86	86	86	86	84
21	91	92	91	91	91	91	90	89	89	87	87	86	86	86	86
22	94	93	91	91	92	91	93	91	92	89	92	90	94	90	86
23	95	96	92	91	91	92	92	92	92	92	94	92	89	87	86
24	99	94	91	92	93	94	94	92	92	91	90	89	87	87	86
25	94	92	91	91	92	93	96	95	95	93	90	89	89	89	86
26	92	91	91	91	91	92	93	94	95	96	92	93	93	90	86
27	90	90	91	91	90	92	92	93	93	97	93	93	90	89	86
28	90	90	90	91	91	93	91	93	93	96	93	92	90	89	86
29	90	90	90	90	92	93	91	93	94	97	94	95	92	89	87
30	90	90	91	92	94	94	95	95	96	99	93	92	90	89	88
31	89	90	90	92	93	93	94	99	98	91	93	92	90	90	90
32	88	89	89	91	89	91	94	98	99	96	94	92	91	91	90
33	88	91	87	89	89	90	92	93	96	96	94	92	92	91	90
34	87	87	87	88	88	90	91	93	95	95	94	93	93	91	91
35	92	92	92	94	95	95	95	95	95	95	95	96	94	92	91
36	91	92	92	95	97	99	94	95	95	95	96	99	95	93	91
37	91	92	93	95	96	94	90	95	95	96	97	99	98	93	91
38	91	92	93	95	96	95	90	94	95	96	97	93	99	92	92
39	90	92	93	95	96	92	98	94	95	95	95	90	99	92	92
40	91	91	92	93	96	98	95	94	94	95	94	96	95	92	92
41	91	91	91	93	95	95	95	94	94	94	94	94	94	92	92

Na tabela, como podemos verificar, os níveis sonoros antes do tratamento acústico em sua grande maioria, estavam acima de 85 dB(A).

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 2 com a plotagem das isossônicas no layout original sem a introdução das cabines acústicas.

Planta 11 - Unidade 2- Isossônicas da gráfica sem tratamento acústico.

Os resultados contidos na tabela 15 estampam a representação numérica da medição após o tratamento acústico, com a colocação das cabines nas impressoras desta área.

Tabela 15 - Unidade 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	76	84	84	73	74	63	52	49	49	50	50	50	50	49	46
2	77	84	84	75	74	65	63	51	49	50	54	51	56	48	47
3	77	85	85	77	76	63	63	52	50	51	54	52	49	47	47
4	78	85	76	75	81	62	62	51	50	54	55	53	50	50	49
5	79	84	84	81	63	63	51	50	50	57	53	54	46	46	48
6	82	84	85	70	63	62	62	51	49	56	53	55	47	47	49
7	81	84	85	76	73	64	60	51	51	57	53	55	48	48	48
8	81	81	82	71	76	63	61	51	53	57	53	50	48	48	48
9	81	81	80	70	71	61	51	51	53	62	55	50	49	48	48
10	81	81	80	71	72	62	68	58	54	59	59	55	53	48	48
11	83	83	81	71	72	62	53	53	57	55	56	54	52	48	49
12	83	84	72	72	69	69	52	52	51	54	54	53	51	47	49
13	85	85	85	74	73	61	60	50	52	52	52	51	50	49	48
14	83	84	80	74	74	62	62	51	51	52	51	48	50	49	49
15	83	83	80	73	72	62	51	51	51	60	50	50	49	49	49
16	82	81	80	71	71	62	61	50	51	50	55	50	49	48	48
17	80	78	79	71	71	61	61	51	50	49	48	50	47	48	48
18	78	74	75	71	71	61	62	50	49	49	47	49	47	48	47
19	83	82	82	71	71	60	50	48	48	46	47	47	47	47	45
20	82	82	82	71	71	60	59	48	48	46	46	46	46	46	44
21	81	82	81	71	71	61	60	49	49	47	47	46	46	46	46
22	83	83	81	71	72	61	63	51	49	49	52	50	50	50	46
23	83	83	82	71	71	60	62	52	52	52	54	52	49	47	46
24	65	60	61	62	53	54	54	52	52	51	50	49	47	47	46
25	62	62	61	61	52	53	56	55	55	53	50	49	49	49	46
26	61	60	61	61	51	52	53	54	55	56	52	53	53	50	46
27	55	55	61	61	50	52	52	53	53	57	53	53	50	49	46
28	55	55	60	61	51	53	51	53	53	56	53	52	50	49	46
29	55	55	60	60	52	53	51	53	54	57	54	55	52	49	47
30	55	55	61	62	54	54	55	55	56	59	53	52	50	49	48
31	54	55	60	62	53	53	54	55	55	51	53	52	50	50	50
32	52	44	59	61	49	51	54	55	55	56	54	52	51	51	50
33	52	54	57	59	49	50	52	53	56	56	54	52	52	51	50
34	53	53	57	58	48	50	51	53	55	55	54	53	53	51	51
35	52	57	62	64	65	55	55	55	55	55	55	56	54	52	52
36	56	57	62	65	67	59	54	55	55	55	56	55	55	53	51
37	56	57	63	65	66	64	50	55	55	56	57	55	55	53	51
38	56	57	63	65	66	65	60	54	55	56	57	53	55	52	52
39	59	57	63	65	66	62	58	54	55	55	55	50	55	52	52
40	57	56	62	63	60	58	54	55	54	56	55	55	55	52	52
41	57	56	61	65	55	54	54	54	54	54	54	54	54	52	52

Como podemos verificar o enclausuramento das fontes principais surtiu efeito, pois os níveis sonoros medidos em sua maioria se encontram abaixo de 85 dB(A) atingindo os

objetivos do tratamento acústico, sendo que a região dos pontos situados nas linhas 13 a 17/ colunas A, B e C está ocupada por máquinas que não foram tratadas, por não serem de uso contínuo.

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 2 com a plotagem das isossônicas no layout original sem a introdução das cabines acústicas

Planta 12- Unidade 2 - representa o levantamento das Isossônicas após a colocação das cabines acústicas, indicadas em vermelho nas impressoras desta área.

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 2 - subsolo com o seu layout original sem a introdução das cabines acústicas.

Planta 13 – Unidade 2 subsolo Layout.

Representação numérica da medição antes do tratamento acústico

Tabela 16 - Unidade 2 subsolo. Sem tratamento acústico.

	A	B	C	D	E	F	G
1	99	98	99	99	98	98	98
2	90	99	99	99	99	98	98
3	90	90	91	91	99	98	98
4	92	91	92	94	90	99	98
5	90	92	94	94	99	99	98
6	90	91	92	92	98	98	97
7	90	90	91	90	97	97	97
8	99	99	91	99	96	95	95
9	96	97	98	98	94	94	93
10	96	97	96	95	94	93	93
11	95	95	95	95	94	93	93
12	94	94	94	94	94	93	93
13	94	94	94	93	94	93	93
14	94	94	93	93	94	94	94
15	94	94	94	94	94	96	95
16	94	95	95	96	97	98	98
17	94	97	99	97	98	98	98
18	93	95	96	96	96	96	95
19	92	93	93	93	93	94	94
20	92	93	93	93	93	94	93
21	91	92	92	92	92	92	92
22	89	92	92	92	92	92	92
23	92	92	92	92	93	93	93
24	91	93	93	94	94	94	94
25	92	93	93	96	96	96	96
26	92	92	93	94	94	94	97
27	92	92	93	93	94	97	97
28	92	93	93	93	94	95	97
29	92	92	92	92	93	94	94
30	90	92	92	91	93	94	93
31	90	91	91	96	94	92	97
32	90	92	92	92	95	95	94
33	90	92	92	93	92	94	94
34	90	90	93	93	93	93	93
35	92	96	97	95	95	95	93
36	91	97	97	96	98	99	94
37	90	90	96	96	90	91	94
38	90	90	91	94	95	96	94
39	90	91	91	94	95	94	93
40	90	90	91	93	93	93	93
41	90	90	91	92	94	98	97
42	91	91	91	92	94	98	97

Na tabela, como podemos verificar, os níveis sonoros antes do tratamento acústico estavam todos acima de 85 dB(A).

Planta 14- Unidade 2 subsolo levantamento Isossônicas subsolo sem tratamento.

Os resultados contidos na tabela 17 estampam a representação numérica da medição após o tratamento acústico, com a colocação das cabines nas impressoras desta área. Como podemos verificar, o enclausuramento das fontes principais surtiu efeito, pois os níveis sonoros medidos se encontram todos abaixo de 85 dB(A) atingindo os objetivos do tratamento acústico.

Tabela 17- Unidade 2 subsolo com tratamento acústico.

	A	B	C	D	E	F
1	49	48	48	48	48	48
2	50	49	49	49	49	49
3	50	50	51	51	49	48
4	50	51	52	54	50	49
5	50	52	54	54	49	49
6	50	51	52	52	48	48
7	50	50	51	47	47	47
8	49	49	51	49	46	45
9	46	47	48	48	44	44
10	46	47	46	45	44	43
11	45	45	45	45	44	43
12	70	70	70	44	44	47
13	74	74	74	43	52	48
14	74	74	74	74	74	74
15	73	73	74	74	74	74
16	74	75	74	74	74	74
17	74	74	74	74	74	74
18	46	46	46	46	46	46
19	74	74	74	74	74	74
20	74	74	74	74	73	44
21	74	74	74	74	74	42
22	74	74	74	74	74	42
23	74	74	74	74	74	43
24	74	74	74	74	74	44
25	74	74	74	74	72	46
26	74	74	74	74	73	44
27	74	74	74	74	44	47
28	72	73	63	53	44	45
29	72	72	62	52	43	44
30	70	72	72	61	63	64
31	70	71	72	76	74	72
32	70	72	72	72	75	75
33	70	72	72	73	72	74
34	70	70	73	73	73	73
35	70	76	77	75	75	75
36	71	77	77	76	78	79
37	70	70	76	76	80	81
38	70	70	71	74	75	76
39	70	71	71	80	83	74
40	70	70	71	73	73	73
41	70	70	71	72	74	78
42	71	70	71	72	74	78

A planta a seguir representa o galpão industrial da unidade 2 subsolo com a plotagem das isossônicas no layout original sem a introdução das cabines acústicas

3.3 Solução Técnica 7: Desenvolvimento do projeto de cabines acústicas para enclausuramento de impressoras pertencentes ao campo gráfico

Na área industrial, a abordagem do controle do ruído não teve alterações importantes. A tecnologia se atualizou, e os equipamentos e métodos de análise se modernizaram, com o advento da computação. Todavia o método de controle do ruído excessivo continua o mesmo, e a redução do ruído na fonte através do enclausuramento continua sendo a alternativa utilizada.

A cabine acústica é um enclausuramento que tem por objetivo reter parte do ruído na fonte. O custo da solução é diretamente proporcional ao incremento do isolamento sonoro.

Faz-se necessário o dimensionamento preciso do enclausuramento, para não incorrer em erros por falta ou por excesso.

É necessário o conhecimento detalhado das condições da emanção do ruído. As fontes sonoras primárias e secundárias terão que ser identificadas. Deve-se conhecer o nível sonoro produzido por elas e o respectivo espectro desse ruído.

A proteção especial em lugares mais ruidosos das máquinas pode ser considerada um enclausuramento.

A decisão pelo enclausuramento deverá ser tomada levando-se em conta as seguintes ações:

- Verificação do processo produtivo;
- Verificação da influência das ações dos operadores sobre o processo produtivo;
- Verificação da possibilidade de transferir as botoeiras (sistema operacional da máquina) da posição original para o novo local, posicionado do lado externo do enclausuramento; pois uma vez que a máquina esteja enclausurada, o operador não deverá mais entrar na cabine acústica com a máquina em funcionamento;
- Com o enclausuramento, o processo produtivo deverá ser detalhadamente verificado; sendo que, se houver a necessidade de ventilação, as aberturas não poderão permanecer sem tratamento acústico e a ventilação da cabine se dará de preferência através de um sistema forçado e silenciado;
- Uma vez a máquina enclausurada, deverá ser verificada a necessidade de iluminação da cabine por meio da colocação de luminárias;

- O enclausuramento deverá permitir a visualização do processo produtivo;
- O enclausuramento deverá ser construído de tal forma que não dificulte as manutenções preventivas, ou qualquer reparo na máquina.

Neste caso específico, o partido utilizado no tratamento acústico foi o enclausuramento das impressoras da gráfica apresentada no item 3.1. As fontes mais ruidosas estão inseridas na área em destaque no desenho 9.

Desenho 9– Enclausuramento.

Para a execução do enclausuramento, deve-se conhecer os procedimentos de manutenção preventiva, a sua periodicidade, quais partes da máquina devem ser removidas e qual é o espaço necessário para esta remoção.

O processo produtivo deve ser estudado detalhadamente, pois a produção não pode ser afetada pelo enclausuramento. Deve-se estabelecer claramente a entrada de matéria prima e a saída do produto acabado, eliminando as possíveis interferências. É fundamental que o operador tenha total visualização do processo de produção, pois o mesmo deve ficar fora do enclausuramento, a não ser no caso de eventual ajuste da máquina em funcionamento.

Devem ser estudados os locais mais apropriados para a colocação de sensores que parem a máquina quando da entrada do operador no interior do enclausuramento, pois a cabine serve também como proteção mecânica ao operador, evitando o uso de proteções auxiliares para efeito de segurança do trabalho.

No caso industrial, o enclausuramento é com certeza o método mais adequado para diminuir o nível sonoro produzido por fontes indesejáveis, pois envolve a referida fonte, reduzindo o ruído e não permitindo que ele se propague pela área, afetando negativamente os operadores.

O tratamento do ambiente industrial com revestimento de materiais absorventes acústicos nas superfícies do edifício, além de demandar um custo elevado, não traz resultados imediatos aos operadores. Apesar de diminuir o ruído reverberante, tem pouca influência no som direto que sai da fonte e chega ao operador, pois este sempre está posicionado entre a fonte sonora e as superfícies do ambiente que são revestidas. Nesta situação, quase sempre se mantém a necessidade do uso de proteção individual.

A proteção acústica pode ser parcial, recobrando só as partes mais ruidosas das máquinas, como motores, transmissões, pistões, escapes de ar comprimido etc., dependendo das características e dimensões das fontes sonoras. Esta proteção pode ser executada através de tapadeiras acústicas, que são consideradas barreiras à livre propagação do som, ou o enclausuramento total da máquina, que é o método mais eficiente.

Quando bem dimensionado, o enclausuramento propicia uma melhora significativa do ambiente industrial, podendo torná-lo salubre sob o ponto de vista acústico.

Com o enclausuramento total também é possível melhorar a salubridade do ar, pois, dependendo do processo industrial utilizado, o ar contido dentro do enclausuramento pode ser conduzido para fora do edifício ou mesmo passar por processos de descontaminação.

As primeiras cabines acústicas – fotos 15 e 16 – projetadas e executadas pelo autor, tinham aspecto pesado, pois eram confeccionadas com chapas espessas. Impediam a visualização da área industrial, embora cumprissem a finalidade específica de reduzir o ruído.

Foto 15 - Cabine acústica sem visor

Foto 16 - Cabine acústica sem visor com as portas abertas.

3.4 Solução Técnica 8: Desenvolvimento do projeto de cabines acústicas para enclausuramento de impressoras com áreas transparentes

Com o objetivo de permitir a visualização da máquina em funcionamento, a proposta foi incorporar áreas envidraçadas, partido arquitetônico que contemplou, além do desempenho acústico, também uma visualização ampla da área industrial.

Para tanto foi necessário pesquisar o desempenho do vidro laminado em diversas espessuras e dimensões, realizando cálculos numéricos, variando as áreas de vidro e de materiais absorventes para determinar a influência da área envidraçada no aumento do ruído interno ao enclausuramento.

A importância da utilização do vidro laminado na área industrial está na película plástica de seu interior, que melhora o isolamento sonoro e aumenta a segurança, diminuindo o risco de danos aos operadores em choque eventual. Esse partido libera a área do estorvo das barreiras visuais frequentes e facilita a inspeção da área, pois os operadores e os encarregados enxergam os vários postos de trabalho.

A aplicação deste novo conceito – foto 17 – resultou em uma solução onde o perímetro inferior da cabine passou a ser protegido por chapas metálicas, com altura de aproximadamente 1m a partir do piso, tornando esta área perto do solo resistente a possíveis impactos, tendo internamente um revestimento de lã de rocha protegida por bidim e tela metálica.

Foto 17 - Cabine acústica com perímetro em vidro propiciando a visualização da área industrial.

A espessura do enclausuramento e a densidade da lã de rocha devem ser projetadas para atingir o isolamento sonoro desejado.

Quando se enclausura uma fonte sonora, o ruído produzido por essa fonte fica aprisionado no interior do enclausuramento, tornando-o reverberante, o que acarreta um aumento do nível sonoro em até 9 dB (nove decibéis). Portanto há necessidade de colocar na parte interna do enclausuramento materiais absorventes acústicos para diminuir parte desse ruído reverberante. O ruído resultante deve ser acrescentado ao nível inicial para que o desempenho pretendido seja alcançado.

O desempenho desses materiais está diretamente relacionado com a variação das frequências. É fundamental conhecer o espectro do ruído para escolher adequadamente o revestimento interno e a espessura do enclausuramento.

Os materiais absorventes acústicos se caracterizam por serem porosos e possuem pouca resistência ao manuseio. Por esta razão, eles devem estar protegidos por chapas perfuradas, telas metálicas ou outro revestimento que propicie proteção mecânica, desde que estes tenham mais de 50% de área perfurada.

Esta porcentagem é estabelecida na Acústica visando o desempenho total do material absorvente protegido, pois ensaios mostram que a proteção com acima de 37% de área perfurada é “transparente” para o som.

Acima deste fechamento metálico que protege o perímetro inferior com aproximadamente 1m do piso, o ideal é ter uma área envidraçada confeccionada em vidro laminado com 1,2m de altura em todo o perímetro, para propiciar a visualização tanto do sistema produtivo (máquina) como de toda a área industrial, vista através do enclausuramento, como ilustra a foto 18 abaixo.

Foto 18 – Enclausuramento de impressora mostrando a transparência da cabine.

O remanescente da área lateral e o teto deverão ser executados com a mesma solução do fechamento metálico do perímetro inferior. Esse tipo de solução é importante porque, com o enclausuramento, o nível sonoro interno tem o já citado acréscimo devido à reverberação. O som reflete nos vidros, no piso e na própria máquina, que são áreas pouco absorventes.

Cabe à área revestida com lã de rocha reduzir a reverberação, diminuindo o nível sonoro interno para níveis próximos ao produzido pela fonte sem o enclausuramento.

Resta salientar novamente que é fundamental conhecer as frequências para definir a espessura e densidade do revestimento.

A lã de rocha é utilizada em detrimento de outros materiais absorventes pelas seguintes razões:

- A espuma de poliuretano tem um bom desempenho acústico, entretanto é suscetível a gases, solventes etc. que diminuem consideravelmente sua vida útil, pondo em risco a efetividade do enclausuramento ao longo do tempo.
- A lã de vidro tem o inconveniente de irritar a pele ao manuseio, por possuir fibras muito finas, o que não ocorre com a lã de rocha ou cerâmica.
- A lã cerâmica tem desempenho acústico superior à lã de rocha, mas um custo elevado.

3.5 Solução Técnica 9: Desenvolvimento de projeto para a ventilação das cabines acústicas

Além de resolver os problemas acústicos, o enclausuramento também é recomendado quando há necessidade de retenção de gases, poeiras, odores, calor, etc., pois o sistema de ventilação de um enclausuramento é quase sempre forçado.

O mais comum é recorrer a exaustores, criando uma pressão negativa no interior da cabine, evitando que os gases e odores internos contaminem a área industrial.

Como os exaustores são ruidosos, há necessidade de acoplar silenciadores aos mesmos, e retirar os gases do interior da cabine para fora do galpão industrial.

Uma alternativa muito utilizada é conduzir a exaustão para filtros que retiram partículas ou que recuperam os gases antes de despejá-los na atmosfera.

Um insuflador com ar tratado por silenciador torna a pressão interna à cabine neutra. As áreas de ventilação, entretanto, não podem ter grandes aberturas.

A estanqueidade ao ar garante um bom desempenho acústico, obrigando cuidados especiais para as frestas e para o projeto específico de vedos fixos e moveis.

3.6 Solução Técnica 10: Desenvolvimento de projeto para a estanqueidade das proteções

No enclausuramento, é importante que os vedos laterais possuam portas que possibilitem grandes vãos de abertura, visando facilitar as operações de manutenção. Portanto, a estrutura metálica deverá ser projetada adequadamente para permitir a existência desses vãos.

As portas de correr são as mais adequadas para o fechamento desses grandes vãos, contudo elas requerem cuidados especiais com as frestas. Na construção das portas é conveniente que as mesmas sejam penduradas (Desenho 10), pois os trilhos (guias) inferiores são retirados nas manutenções, para facilitar o acesso à máquina.

No trilho superior, as frestas são determinadas pelo tamanho da porca de fixação das roldanas. Neste ponto é necessária a construção de peça metálica especial, que veda a fresta entre a porta, as roldanas e o trilho superior (Desenho 10).

Quando em operação da máquina e fora do período de manutenção, os trilhos inferiores devem permanecer fixados ao piso (Desenho 11).

Como na operação normal há a necessidade de abertura de grandes vãos para o acesso à máquina, as portas se movimentam para ambos os lados, transpassando uma pela outra, fato este que gera frestas laterais. O movimento de transpasse impossibilita a utilização de fechamento do tipo “mão de amigo” (Desenhos 13 e 14).

As frestas maiores e aberturas devem receber tratamento acústico, pois elas permitem a ventilação do enclausuramento.

6 folhas

4 folhas

Desenho 10- Trilho Stanley superior.

Desenho 11- Vedação metálica trilho superior.

6 folhas

4 folhas

Desenho 12 - Trilho inferior em chapa dobrada.

Desenho 13 – Vedação vertical no batente.

Desenho 14 – Vedações portas.

3.7 Solução técnica 11: Desenvolvimento genérico de uma cabine acústica para a indústria gráfica.

Nos desenhos e fotos a seguir, exemplificaremos passo a passo o projeto de uma das cabines acústicas executadas para a gráfica do item 3.2.

Desenho 15- Planta de cobertura da cabine acústica com a modulação (924x 1764 mm).

Desenho 16 – Corte da cabine acústica.

Desenho 17– Detalhe das portas da cabine.

Desenho 18- Vista frontal da cabine.

A seguir, são apresentadas as cabines que foram instaladas na Gráfica conforme o projeto apresentado no item anterior: Unidade 1 - Fotos 19 a 23; Unidade 2 – Fotos 24 a 29; e Subsolo – Fotos 30 a 48, que resultou na diminuição dos níveis sonoros indicados nas Plantas 9, 12, e 15, respectivamente.

Foto 19–Cabine Unidade 1 – Os operadores ficam do lado externo do enclausuramento sem a necessidade do uso do protetor de ruído individual.

Foto 20 - Cabine Unidade 1 – Os operadores ficam do lado externo do enclausuramento sem a necessidade do uso do protetor de ruído individual.

Foto 21- Cabine Unidade 1 – Substituição do papel. Para essa operação a impressora deve estar em funcionamento e por essa razão o operador está utilizando o EPI.

Foto 22 – Cabine Unidade 1 –Quando da abertura das portas sensores instalados nas mesmas desligam a máquina.

Foto 23- Cabine Unidade 1 –A grande área envidraçada propicia a visualização do trabalho da impressora do lado externo do enclausuramento.

Foto 24- Cabine Unidade 2 –Impressora em manutenção.

Foto 25- Cabine Unidade 2 –Ajuste da máquina, nesta operação os sensores são desativados.

Foto 26 - Cabine Unidade 2 –Troca da tinta de impressão.

Foto27- Cabine Unidade 2 – Impressora em funcionamento com a bobina do papel em posição fora da cabine para ser emendada em continuação da impressão.

Foto 28- Cabine Unidade 2 – Impressora em funcionamento—Entrada do papel.

Devido ao grande vão propiciado pela abertura das portas, em caso de manutenção não há a necessidade de desmontagem da cabine.

Foto 29 - Cabine Unidade 2 – Impressora em manutenção, as portas de correr abertas propiciam grandes vãos para o acesso à máquina.

É fundamental que a manutenção não sofra atrasos devido ao enclausuramento.

Foto 30 - Cabine Unidade Subsolo – Impressora em funcionamento com a bobina no final.

Foto 31- Cabine Unidade Subsolo –Exemplo de cabine instalada na área subsolo.

3.8 Solução técnica 12: Sistema genérico de exaustão da cabine.

O exemplo a seguir representa o enclausuramento total da máquina, com ventilação executada através de um conjunto de insufladores e exaustores acoplados aos silenciadores, com atenuação compatível com o isolamento sonoro da cabine.

Os silenciadores são cilíndricos, confeccionados em chapa galvanizada de 1,5 mm, calandrada em formato de dutos, revestidos internamente por lã de rocha de 100 mm com densidade de 64 kg/m^3 , revestida internamente por bidim, protegido por chapa metálica galvanizada de 1 mm, perfurada em 50% da área.

A área de passagem do ar é de 350 mm de diâmetro e a vazão é dada pelo ataque da hélice e a rotação do motor. Quanto menor for a rotação do motor, menor será o seu ruído.

Entretanto, esta relação entre rotação e ataque da hélice deve obedecer a um ponto de convergência que está relacionado com o desempenho e o consumo de energia.

As aberturas deixadas nas áreas de entrada e saída do papel fazem parte das premissas do projeto, pois na indústria gráfica a troca do papel é constante, com a máquina em funcionamento.

Pela localização dos postos de trabalho, os operadores são pouco afetados pelo ruído que vaza por essas aberturas.

A seguir são apresentados os Desenhos 19 a 23, relativos ao projeto da cabine.

Desenho 19- Vista lateral 1.

Desenho 20 - Vista lateral 2.

Desenho 21 - Vista da entrada do papel, abertura necessária para a troca do papel com a máquina em funcionamento.

Desenho 22 - Vista da saída do papel, a área da abertura está relacionada com o “corpo” da máquina que ocupa esse espaço.

Desenho 23– Cobertura.

3.8 MONTAGEM DA CABINE ACÚSTICA DO PROJETO DOS DESENHOS 19 a 23.

As Fotos 32 a 48 mostram o passo a passo da montagem de uma cabine acústica.

Foto 32 - Cabine Unidade Subsolo – Início da montagem, locação da cabine no entorno da máquina. Instalação dos pilares metálicos.

Foto 33 - Cabine Subsolo – Instalação da treliça do primeiro módulo do enclausuramento.

Neste caso, o pilar do edifício ficará posicionado no interior da cabine. Vista da área da entrada do papel. Na foto, as bobinas de papel que são colocadas na impressora em funcionamento.

Foto 34– Cabine Unidade Subsolo –colocação da peça estrutural superior do primeiro módulo.

Foto 35 - Cabine Unidade Subsolo –Os três módulos instalados faltando às peças das duas extremidades da cabine. Vista saída do papel.

Foto 36 - Cabine Unidade Subsolo – Colocação das vigas suporte do teto.

Foto 37- Cabine Unidade Subsolo –Colocação Cabine no prumo 1, os vergalhões no teto serão retirados após a fixação da cabine no prumo.

Foto 38 - Cabine Unidade Subsolo – Colocação Cabine no prumo 2.

Foto 39 - Cabine Unidade Subsolo – Início da colocação das bandejas do teto.

Foto 40 - Cabine Unidade Subsolo – Colocação das bandejas do teto.

Foto 41- Cabine Unidade Subsolo –Estrutura montada o pilar do edifício ficou dentro do enclausuramento.

Foto 42 - Cabine Unidade Subsolo – Início da colocação dos vidros fixos, saída do papel.

Foto 43 - Cabine Unidade Subsolo –Colocação das portas de correr.

Foto 44- Cabine Unidade Subsolo – Vedação da cabine na entrada do papel – 1.

Foto 45 - Cabine Unidade Subsolo –Vedação da cabine na entrada do papel – 2.

Foto 46- Cabine Unidade Subsolo – Vedação da cabine na saída do papel – 1.

Foto 47 - Cabine Unidade Subsolo – Vedação da cabine na saída do papel – 2.

Foto 48 - Cabine Unidade Subsolo - Aberturas propiciadas pelas portas de correr.

3.10 Solução técnica 13: Cabine com atenuação de 80 dB.

O trabalho mais desafiador foi projetar e executar uma cabine acústica visando obter uma redução de 80 dB em um equipamento que produz um ruído de 160 dB.

Este projeto demandou muitas horas de pesquisa. Os ruídos dessa magnitude não são frequentes em processos industriais. Esse ruído se situa acima dos índices da audição. Um indivíduo exposto a tal ruído terá sérios traumas auditivos.

O primeiro passo foi pedir ao contratante a confirmação do nível sonoro pedido. Com as planilhas das medições e a confirmação do nível sonoro em 160 dB na frequência de 500hz fornecida, foi necessário estudar detalhadamente o programa de operação da máquina a ser enclausurada.

Na operação da máquina, além do ruído, ocorrem também explosões eventuais, provocadas pelo acúmulo de gases resultantes do trabalho de endurecimento superficial, que é executado pelo equipamento. Essas explosões são mais preocupantes que o ruído elevado, pois exigem uma estrutura robusta o suficiente para evitar a falência do enclausuramento.

A máquina é um robô que atira plasma sobre a superfície metálica da peça a ser tratada, por um processo de endurecimento superficial. A queima incompleta dos gases ocasiona tais explosões. Por este motivo, a face interna da cabine não pode receber materiais absorventes; devido à porosidade dos mesmos, podem aumentar a retenção dos gases, oriundos da combustão incompleta do processo industrial, aumentando o risco e a intensidade das explosões.

Por esse motivo, o revestimento interno do enclausuramento tem que ser em chapa de aço, o que causa um aumento da reverberação e do nível de ruído interno da cabine. Como premissa do enclausuramento, o nível sonoro externo não poderia ultrapassar 80 dB(A).

A solução encontrada para a redução de 80 dB foi executar duas cabines, uma dentro da outra, com espaço de ar de 10 cm entre elas e as faces com materiais absorventes voltadas para esse espaço.

Visando facilitar a execução e posterior montagem do enclausuramento, o mesmo foi projetado em módulos constituídos por bandejas, executadas em chapa metálica de 6 mm, medindo 950 mm de largura, 113 mm de profundidade e 2700 mm de comprimento com 25 mm de aba.

As bandejas receberam internamente um revestimento de chapa de gesso acartonado de 13 mm de espessura, acompanhado por um painel de lã de rocha de 100 mm de espessura, com densidade de 64 kg/m^3 , protegida por um tecido de manta têxtil (bidin) sustentado por tela metálica.

A estrutura do enclausuramento foi projetada e executada em perfis metálicos em chapa dobrada de 6 mm de espessura, com um painel de 100 mm de lã de rocha com densidade de 64 kg/m^3 . O espaço remanescente no interior do tubo foi preenchido por uma camada de gesso, posicionada na face voltada para o lado da cabine executada em chapa metálica.

Os Desenhos 24 a 27 e as Fotos 49 a 65 contêm o projeto com plantas e corte do enclausuramento, e o passo a passo da fabricação e montagem da cabine.

Desenho 24– Planta contendo a disposição interna e externa da cabine

Cobertura cabine
externa

Cobertura cabine
interna

Desenho 25—Desenhos contendo as plantas da cobertura com os silenciadores e bandejas do teto.

Desenho 26 – Corte longitudinal.

3.11 Solução Técnica 14: detalhe do projeto para isolamento acústico de 80 dB

Desenho 27 – Detalhe corte longitudinal.

Detalhes da fabricação da cabine

Foto 49- Perfil metálico para a estrutura da cabine em chapa dobrada de 6 mm – 2 com enchimento.

Foto 50 - Perfil que forma o canto com camada de lã de rocha e gesso.

Foto 51- Execução da cabine na fábrica pré-montagem.

Início da montagem no local da obra canto posterior da cabine acústica

Foto 52- Início da montagem cabine interna.

Foto 53 - Início da montagem simultânea. A cabine externa já com as bandejas de fechamento e a interna só estrutura.

Foto 54—Parte da cabine externa montada e a cabine interna, pronta para receber as bandejas.

Foto 55 - Montagem da cabine acústica, início da colocação das vigas da cobertura.

Foto 56 - Montagem da cabine acústica, parte da cobertura da cabine interna já instalada.

Foto 57- Montagem de painel lateral. Devido ao peso os painéis foram montados com o auxílio de empilhadeira.

Foto 58 - Transporte e vedação do painel lateral.

Foto59 - Montagem de painel lateral.

Foto 60- Montagem de painel lateral, cabine externa.

Foto 61- Montagem da cobertura da cabine.

Foto 62 - Montagem da cobertura da cabine.

Foto 63- Detalhe da montagem das dobradiças das portas.

Foto 64 - Detalhe da montagem das portas com dobradiças helicoidais.

Foto 65 - Detalhe do silenciador para ventilação.

Esta cabine por nós construída foi a terceira no mundo, e segundo o contratante é a de melhor desempenho.

3.12 Solução Técnica 15: Tratamento acústico de indústria petroquímica.

Na indústria petroquímica é necessário um controle rigoroso quanto à possibilidade de vazamento de gases. Todo o processo industrial está baseado no bombeamento e centrifugação dos produtos processados. Todos os motores elétricos, botoeiras e painéis de controle são blindados para evitar faíscas.

Não obstante, o risco de uma explosão ocasionada por vazamento sempre está presente. Uma vez ocorrendo um vazamento, se a área do enclausuramento está confinada, aumenta muito o risco de explosão. Para diminuir este risco os enclausuramentos deverão necessariamente ser ventilados naturalmente, sem o auxílio de motores e/ou ventiladores.

A adoção de barreiras acústicas nestes casos vem contemplar as necessidades da redução do ruído com a ventilação. Para tanto, no detalhamento do projeto, estão contempladas aberturas tratadas acusticamente junto ao piso e na parte superior da

barreira. Nota: Se houver uma explosão, a barreira deverá ter estrutura suficientemente robusta para absorver parte desse impacto.

A seguir são apresentadas as Plantas 16 a 22 contendo detalhes dos exemplos de enclausuramento específico para petroquímica.

Planta 16 - Enclausuramento por barreira acústica com aberturas.

Nota: LC - firma pertencente ao autor.

A barreira acústica foi projetada com uma série de painéis sobrepostos, posicionados entre os pilares do edifício, tendo portas na parte de baixo, e painéis fixos na parte de cima.

Planta 17 - Projeto com detalhe do batente da porta e o trinco de vedação.

Planta 20 - Detalhes das aberturas junto ao piso para promover a ventilação do enclausuramento tratadas acusticamente.

3.14 Solução Técnica 17: Desenvolvimento de semi-enclausuramento por barreira acústica com ventilação permanente na cobertura

Estas cabines projetadas para a área petroquímica têm como partido o não-enclausuramento total da fonte, e funcionam como tapadeiras que propiciam a ventilação natural dos equipamentos protegidos, mas servem como barreira acústica tratada internamente, visando à redução do ruído reverberante.

A cobertura funciona como uma grande coifa tratada acusticamente. O lado interno contém uma camada de lã de rocha recoberta por bidim e protegida por chapa com 50% da área perfurada.

Planta 22 - Detalhe da cobertura em forma de coifa, tratada acusticamente.

3.15 Solução Técnica 18: Silenciadores para motores elétricos.

Quando se analisa o ruído industrial, verifica-se que o ruído produzido pelos motores elétricos é normalmente o que mais sobressai.

O ruído do motor elétrico depende da potência (CV) e das rotações por minuto (RPM). A potência determina o tamanho da carcaça do motor elétrico, que aumenta significativamente a partir de 5 CV, com o aumento proporcional do ruído emitido pelo mesmo. Como o rendimento do motor é de aproximadamente de 80% da sua potência empregada em trabalho, a energia excedente é transformada em calor, que é dissipado pela carcaça. Por esse motivo, o projeto da carcaça dos motores elétricos recebe aletas para aumentar a área de dissipação do calor, facilitando o seu resfriamento.

O sistema de ventilação do motor elétrico é constituído por uma ventoinha protegida por capa metálica, que direciona o fluxo do ar produzido para as aletas da carcaça. Essa ventoinha possui aletas planas com desenho concêntrico, o que permite ao motor girar para a direita ou para a esquerda sem prejuízo da ventilação.

Entretanto, este sistema provoca um grande nível de ruído, resultado da falta de aerodinâmica das pás planas, que geram um grande turbilhonamento do ar, com o arrasto na camada de ar deslocada. Este ruído é tanto maior quanto maior for a potência e a rotação do motor.

A camada de ar deslocada é direcionada pela capa que recobre a ventoinha, passando por entre as aletas, com camada limite (distância por sobre as aletas que compõem a carcaça do motor, na qual o ar deixa de se movimentar) de aproximadamente de 50 mm. Essa medida é obtida com o uso de um anemômetro, deslocado sobre a carcaça do motor até a obtenção do ponto em que a velocidade do ar deixa de ser eficiente para a refrigeração da carcaça. Este sistema de refrigeração a ar é o responsável pelo ruído do motor elétrico.

Há algumas possibilidades para redução do ruído do motor elétrico:

- Substituir a ventoinha por uma hélice que direcione o ar sem os arrastos aerodinâmicos, diminuindo com isso o ruído. Este procedimento, no entanto, impossibilita a alternância no sentido de rotação do motor.

- Enclausurar o motor, encapsulando o mesmo por chapa metálica revestida internamente com uma camada de aproximadamente de 50 mm de lã de rocha com densidade de 64 kg/m^3 , posicionada a 50 mm da extremidade superior das aletas, ocupando todo o comprimento do motor.
- Instalar um silenciador com passagem sem perda de carga, na parte do motor em que se localiza a ventoinha. O projeto do silenciador deve ser executado levando-se em conta a potência do motor, o nível de ruído e a área necessária para a ventilação.

Normalmente este último procedimento propicia uma redução de aproximadamente 30dB no ruído do motor sem tratamento, o que pode deixar o nível sonoro emanado dentro dos limites legais estabelecidos pela NR-15.

Nas refinarias, a grande maioria das fontes sonoras é constituída por motores elétricos de variadas potências, pois o processo industrial é composto por inúmeras bombas e centrifugas. Tratar o ruído de uma refinaria é sinônimo de tratar o ruído de seus motores elétricos.

Devido ao risco de explosão, os motores das refinarias são blindados, com todos seus componentes elétricos internos à carcaça. Neste caso, a fonte sonora é a abertura da ventilação.

As Plantas 23 e 24 mostram exemplos de silenciadores para as aberturas de motores de grande porte.

Planta 23 - Enclausuramento do sistema de ventilação de motor elétrica acima de 150 cv (entrada de ar).

Planta 24 - Enclausuramento do sistema de ventilação (entrada do ar) de motor elétrico acima de 150 cv.

3.16 Solução técnica 19: Silenciador de escape de vapor de alta temperatura.

Outra fonte sonora importante em área industrial é o sistema de alívio da linha de vapor. Devido às altas temperaturas, o silenciador para esse tipo de fonte requer um tratamento especial e deve ser instalado em área que possibilite a construção de dreno de pedras para escoamento do vapor condensado.

O projeto contido na Planta 25 mostra um silenciador para o alívio de linha de vapor.

Planta 25 - Silenciador para escape de ar com alta temperatura.

Este tipo de silenciador é projetado para vapor de alta temperatura, normalmente instalado nos pontos de alívio da linha. Para obtenção do desempenho previsto ele deve ser semienterrado e circundado por camadas de brita de várias granulometrias. Estas, além de servir como dreno, servem também como absorção sonora, pois o ruído é sempre de média para as altas frequências. O ar saturado passa pela chicana do silenciador perdendo temperatura e diminuindo o nível sonoro.

3.17 Solução técnica 20: Silenciador para dutos de seção circular.

A Planta 26 detalha um silenciador sem perda de carga para dutos redondos com diâmetros superiores a 40 cm.

Planta 26 - Silenciador para dutos circulares.

A densidade é importante, pois ela determina o desempenho acústico do silenciador. Densidades superiores a 63 kg/m^3 possuem desempenho um pouco melhor, mas o custo muito superior; portanto, se compararmos custo e benefício, esta densidade é a de melhor desempenho. Os painéis deverão ser rígidos, portanto densidades menores não devem ser consideradas.

Nota: O cálculo para determinar o desempenho acústico do silenciador foi executado segundo a fórmula extraída do *Compendium Of Materials For Noise Control*, trabalho apresentado pelo Illinois Institute of Technology Research Institute (Chicago Ill).

Para calcular a redução sonora em atenuador de lamelas:

$$\diamond \text{ Atenuação em dB} = 21,6 L \cdot P/S \alpha^{1.4}$$

Onde:

L= Comprimento do duto em pés

P= Perímetro do duto em polegada

S= seção do duto (área) em polegada quadrada

α = Coeficiente de absorção por frequência do material utilizado.

Desenho 28 - Projeto do silenciador passivo. Os espaços de ar existentes entre as placas de materiais absorventes devem ter áreas equivalentes à área de passagem do duto.

A seguir é apresentado um exemplo de silenciador projetado com lamelas/baffles que pode ser utilizado na resolução de diversos problemas, tais como dutos de ar, torres de refrigeração, etc.

A moldura metálica que envolve a peça de lã de rocha é executada em chapa galvanizada de 1 mm (com a largura do painel de lã de rocha); e a aba, não superior a 20 mm, serve para estruturar o painel facilitando a montagem.

O painel de lã de rocha deverá ser protegido em ambas as faces por filme de vidro para evitar o desprendimento de partículas, que neste caso seriam carregadas pelo ar para o ambiente. Este filme não interfere no desempenho acústico do painel.

Desenho 29 - Detalhes genéricos do projeto da bandeja para a execução do duto aonde serão instalados os baffles do silenciador.

Desenho 30 – À direita: projeto da montagem do silenciador passivo com lamelas, e à esquerda: montagem de uma placa que será instalada para a constituição do silenciador.

Nota: As dimensões são sempre determinadas pelas áreas de passagem do ar levando-se em conta a perda de carga causada pela passagem do ar pelas lamelas.

Desenho 31- Detalhes do projeto para a execução dos silenciadores construídos com baffles ou lamelas.

Foto 66 – Ventilador, fonte geradora de ruído com diâmetro de 2m

Foto 67 - Silenciadores executados por baffles de lã de rocha e tela perfurada, para silenciar o ruído causado pelo sistema de ventilação mostrado na foto anterior. Neste caso, por causa da velocidade do ar, optou-se por revestir a lã de rocha com uma superfície protetora de chapa galvanizada com 50% da área perfurada

Foto 68 – Silenciador – detalhe da cunha aerodinâmica desse duto de ventilação, voltada para a incidência do fluxo do ar visando diminuir a turbulência e a perda de carga.

3.20 Solução Técnica 22: Desenvolvimento de silenciador específico para torres de refrigeração

Existem dois tipos específicos de torre: aquela em que o sistema de refrigeração se dá por queda de água, muito utilizada no passado, e a torre com radiador que troca frio com o ar e não possui cortina de água, hoje a mais utilizada.

Nas torres com cortina de água, o ruído é produzido pelo exaustor e pela água que cai dentro da torre em um reservatório. Esse ruído pode ser diminuído com a introdução de peças de plástico, como canos de PVC, formando uma rede que impede os pingos de água de caírem de grande altura no reservatório. É possível também distribuir espumas de poliuretano expandido sobre a água, amortecendo o choque dos pingos.

Essas intervenções são executadas no equipamento em si. Uma alternativa é tratar a torre externamente, instalando em seu perímetro externo uma tapadeira, revestida internamente por painéis de lã de rocha a aproximadamente 1m da carcaça da torre. Sobre a torre, na continuação do exaustor, deve ser instalado um silenciador visando reduzir o ruído provocado pelo mesmo. Tanto a tapadeira quanto o silenciador deverão ser calculados para reduzir ao máximo a perda de carga (vazão do ar), visando manter o desempenho do equipamento.

Outro caso que requer estudos específicos é a redução do ruído da torre de refrigeração que provoca a passagem de ar forçado pelo trocador de calor. As fontes geradoras do ruído são de maneira geral compostas por bombas de água, ventiladores e compressores.

O enclausuramento de tais fontes envolve detalhes de projeto e execução que são críticos e específicos, pois essas torres são projetadas para permanecerem ao ar livre; entretanto os níveis sonoros produzidos pelo sistema de ventilação e compressores não são compatíveis com os permitidos pela legislação em áreas residenciais, ou áreas específicas como hospitais, que se utilizam sempre de sistemas de ar condicionado.

No caso que serve como exemplo, as torres estão instaladas entre um edifício residencial e uma área hospitalar. Estão posicionadas no térreo da área do hospital, que fica no “vale” formado pelas duas empenas dos edifícios, amplificando o problema. A reverberação produzida pelas faces dos dois prédios aumenta o ruído original das torres, que já era incompatível com as áreas hospitalar e residencial.

A alternativa do projeto foi enclausurar a fonte, tomando o cuidado de separar a área da saída do ar quente da área de entrada do ar frio.

Para evitar que o ar quente retorne ao sistema de ventilação, inviabilizando o funcionamento da torre, foi prevista no projeto, uma separação física interna ao enclausuramento, evitando a ocorrência do “*looping*” provocado pelo ar quente retornando à entrada do ar frio.

Tanto a entrada como a saída do ar são tratadas acusticamente por silenciadores passivos, com áreas de aberturas calculadas para ter a menor perda de carga possível, com o intuito de não estrangular o fluxo de ar e não prejudicar o desempenho do sistema.

A parte inferior da proteção foi executada em bandejas de chapa galvanizada dobrada com abas iguais de 25 mm, com largura de 1000 mm, comprimento de 2100 mm e profundidade de 50 mm. A chapa utilizada tem 2 mm de espessura.

As bandejas foram preenchidas por painéis com 50 mm de lã de rocha de 64 kg/m^3 , revestidos por manta têxtil (bidim) e tela metálica como proteção mecânica.

Os silenciadores foram projetados em lã de rocha de 100 mm de espessura com densidade de 64 kg/m^3 suportada por um perfil em “u” executado em chapa metálica dobrada de 2 mm com abas iguais de 25 mm e base de 100 mm.

O painel de lã de rocha recebeu um revestimento de bidim e tela metálica para proteção mecânica. A estrutura do enclausuramento foi executada em perfil metálico quadrado de 80 mm e espessura de 3 mm.

A seguir são apresentados o projeto esquemático e a montagem do enclausuramento da torre em questão, nos Desenhos 32 a 34 e Fotos 69 a 73.

Desenho 32 – Disposição dos baffles dos silenciadores em planta. Os horizontais situam-se a uma cota de 1,2m abaixo dos verticais conforme pode ser verificado no desenho 33.

Desenho 33 – Corte longitudinal.

Desenho 34 – vista frontal e lateral do enclausuramento.

Foto 69 - Estrutura do enclausuramento montada no entorno da máquina de refrigeração.

Foto 70 - Estrutura da proteção montada no entorno da máquina de refrigeração.

Foto 71- Montagem do enclausuramento sobre a máquina de refrigeração.

Foto 72 - Enclausuramento concluído.

4. CONCLUSÕES.

Este trabalho evidenciou a integração entre arquitetura e construção em um processo de criação, com o ofício de artesão construtor. É importante a formação de arquitetos com este perfil, pouco encontrado em nossa sociedade, bem de acordo com a visão do arquiteto e educador Walter Gropius.

A existência de inúmeras fontes sonoras em plantas industriais tende a dificultar sobremaneira a obtenção de reduções significativas, pois após o tratamento das fontes “primárias” mais ruidosas, as fontes secundárias que em primeira instância estavam mascaradas pelas primeiras aparecem na composição do ruído de fundo da indústria, deixando a sensação que todo o esforço e investimentos foram em vão.

Visando melhorar o diálogo entre o especialista e os responsáveis pelo “chão de fábrica”, e introduzindo informações que posteriormente podem ser checadas, o método de medição desenvolvido durante esta pesquisa propicia maior conhecimento da propagação do ruído dentro da área industrial, sua distribuição e sua contribuição na dosagem do ruído em relação aos trabalhadores envolvidos, evitando que a “ilusão” financeira do adicional de insalubridade coloque em risco os trabalhadores envolvidos, provocando a perda da audição ocupacional.

A visualização da distribuição do ruído na planta industrial por meio das curvas isossônicas mostra as fontes sonoras e sua influência sobre a área em questão, facilitando a tomada de decisão sobre as prioridades. A grande vantagem é que esta leitura é realizada com a indústria em pleno funcionamento, não havendo diminuição da produtividade em virtude das medições.

Os resultados obtidos com o enclausuramento das fontes demonstram a eficiência na redução do ruído, tanto sob o ponto de vista específico das fontes tratadas quanto no que se refere ao galpão industrial. Diversos exemplos de cabines desenvolvidas pelo autor da pesquisa, para vários tipos e dimensões de máquinas gráficas, demonstraram a versatilidade e adequação das soluções técnicas de mitigação de ruído desenvolvidas.

Em especial, a transparência das cabines permitiu a visualização da área de fábrica evitando pontos cegos. Com um menor nível sonoro dentro dos galpões, a comunicação verbal fica facilitada, diminuindo, portanto, o risco de acidentes.

Além do enclausuramento com cabines do tipo utilizado no exemplo das máquinas gráficas e dos projetos especiais para a indústria petroquímica, foi apresentada uma série de outras soluções utilizando silenciadores especiais, aplicáveis a motores elétricos, escapes de vapor de alta temperatura, dutos de seção circular e dutos de seção quadrada.

Esta extensa pesquisa permitiu ratificar que, até o aperfeiçoamento dos novos sistemas antirruído por cancelamento a partir da inversão de fase de ondas sonoras, a melhor solução para controle de ruído industrial continuará sendo o enclausuramento das fontes mais ruidosas.

Sob o ponto de vista econômico, um tratamento acústico no edifício que envolva grandes áreas e quantidades de materiais absorventes apresenta elevado custo. Em resumo, a arquitetura de cabines para controle do ruído industrial é muito mais do que o tratamento da fonte sonora. Ela também implica na mitigação complementar de outras modalidades de poluição (tais como gases, odores e particulados).

O conjunto de soluções técnicas desenvolvidas ao longo dos vários anos em que se constituiu esta pesquisa oferece, portanto, um pequeno repertório de alternativas técnicas que podem propiciar maior humanização de projetos arquitetônicos de cabines de enclausuramento de fontes ruidosas em ambientes industriais, com a necessária centralidade do bem-estar humano que todo projeto de arquitetura requer.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Níveis de Ruído Para Conforto Acústico**: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 15: Norma Regulatória Atividades e Operações Insalubres. Anexo n. 1. Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente**: citações em documentos disponíveis em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2FA9E54BC6/nr_15_anexo1.pdf. Acesso em: 2012.

BERANEK, Leo Leroy. **Acoustical measurements: Published for the Acoustical Society of America by the American Institute of Physics**: New York, 1993.

BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT A/S. **Human Vibration - information Material BA 7054-14**. Disponível em: <<http://www.bksv.com/>>. Acesso em: 2012.

CHABA - Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics for the National Academy of Sciences (NRC). Hazardous Exposure to Intermittent and Steady-State Noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**, vol. 39, issue 3, p. 451, 1966).

FLETCHER, Harvey; MUNSON, Wilden A. **Loudness, its Definition Measurement and Calculation**. Journal of the Acoustic society of America. 1933.

GLORIG, Aram; BERANEK, Leo L. **Damage-risk and Noise and Vibration Control**, McGraw-Hill, p.537-553, 1971.

PATRICIO, Jorge Viçoso. **Acústica nos Edifícios**. Editora I. Virtual Impressão Digital Lda. Pág. 18 e 19. 2. Edição 2004.

SATALOFF; VASSALLO e MENDULSE. **Hearing Loss from Exposure to Interrupted noise**. Publicado no Vol 18, pp.972-981 da AMA Arch. Environ. Health, 1969.

SURFER3D. **Surface Mapping Software**. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com/products/surfer/surfer.shtml>>. Acesso em: 2012.

6. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1ª edição Editora Edgard Blucher Ltda. Brasil 2006.

F. Alton EVEREST; Ken POHLMANN: **Master Handbook of Acoustics** - 5TH Edition- | ISBN-10: 0071603328 | ISBN-13: 978-0071603324 | Library of congress Cataloging in publication data – 2009.

Gerhard MÜLLER, Michael MÖSER: **Handbook of Engineering Acoustics** - ISBN 978-3-540-24052-5- Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2013.

Josse ROBERT; Gerard BLACHERE. **Notions d' acoustique: à l'usage des architectes, ingénieurs et urbanistes**. Paris: Eyrolles, 1977.

KINSLER, L. E. ; FREY A. R. ; COPPENS A. B.; SANDERS, J. V. **Fundamentals of acoustics**, 4 ed., New York, 2000.

L. H. ROYSTER, J. E. STEPHENSON: **Characteristics of several industrial noise environments Original Research Article Journal of Sound and Vibration**, Volume 47, Issue 3, Pages 313-322, 8 August 1976.

Marshall LONG: **Architectural Acoustics** – Elsevier Academic Press - ISBN: 9780124555518 – 2005.

M. H. F. DE SALISA, D. J. OLDHAMA, S. SHARPLESB: **Noise control strategies for naturally ventilated buildings and environment** 2001.

Nelson HEEREMA; Murray HODSON: **Empirical models for predicting noise levels, reverberation times and fitting densities industrial workrooms Original Research Article. Applied Acoustics**, Volume 57, Issue 1, May 1999, Pages 51-60.

NEPOMUCENO, Lauro X. **Acústica Técnica**; São Paulo: Etegil, 1968.

Nicholas P. CHEREMISINOFF: **Industrial B noise control: an overview Noise Control in Industry**, 1996, Pages 17-34.

Nicholas P. CHEREMISINOFF: **Noise Control regulations. Noise Control in Industry**, Pages 35-68, 1996

P. SUTTON; FADER, Bruce; WILEY & SONS, John. **Industrial noise control. Journal of Sound and Vibration**, Volume 81, Issue 4, Pages 610-611, 22 April 1982.

Peter SUTTON. **Process plant noise: Evaluation and control**. Original Research Article, **Applied Acoustics**, Volume 9, Issue 1, Pages 17-33, January 1976.

PETERSOM, A.P.G; GROSS, E. E. **Handbook of noise measurements**, 8.ed. General Radio, Concord, Massachusetts, EUA, 1978.