

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DIRCT / DIRGRAD / DECEN

CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA

DISCIPLINA PROJETO FINAL II

Hermes Francisco Ferreira

Philippe Déa Cirino

**ANÁLISE DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES EM
REGIME ESTACIONÁRIO E EM MOVIMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2011

Hermes Francisco Ferreira

Philippe Déa Cirino

ANÁLISE DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES EM REGIME ESTACIONÁRIO E EM MOVIMENTO

Monografia apresentada à disciplina Projeto Final II, do Curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial para aprovação.

Orientador: Prof. Samuel Soares Ansay

CURITIBA

2011

TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho, por meio deste termo, encaminhar para defesa a monografia parcial de Projeto Final II intitulada “ANÁLISE DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES EM REGIME ESTACIONÁRIO E EM MOVIMENTO”, realizada pelos alunos Hermes Francisco Ferreira e Philippe Déa Cirino, como requisito parcial para aprovação na disciplina Projeto Final II.

Orientador: Samuel Soares Ansay
DAMEC, UTFPR

Cutitiba, 14 de dezembro de 2011

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia parcial ou monografia de Projeto Final I intitulada “ANÁLISE DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES EM REGIME ESTACIONÁRIO E EM MOVIMENTO”, realizada pelos alunos Hermes Francisco Ferreira e Philippe Déa Cirino, como requisito parcial para aprovação na disciplina Projeto Final I.

Prof. Samuel Soares Ansay
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Nilson Barbieri, Dr.
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Marco Antônio Luersen, Dr.
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 14 de dezembro de 2011

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todas as pessoas que nos deram o suporte necessário para a conclusão do mesmo. Às pessoas que nos criaram ou nos ofereceram carinho e conforto nos momentos de tensão. Aos pais, irmãos, amigos, e às nossas carinhosas namoradas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Priscila Kawanami e Livia F. Lamana, por terem suportado todas as irritações e aparentes desesperos gerados ao longo deste trabalho. Agradecemos também ao nosso caro amigo Klaas Bastiaan Bronkhorst, e família, por nos auxiliar tanto na retomada do projeto, e nos tratar tão bem durante o tempo em que estivemos fazendo os ensaios em sua propriedade. Por fim agradecemos à nossos pais, Carlos Henrique Lemos Cirino, Maria Elizabeth Déa Cirino, Hermes Machado Ferreira Filho e Ana Maria Diamante Machado, e irmãos, Raphael Henrique Déa Cirino.

RESUMO

FERREIRA, H.F.; CIRINO, P.D. Análise de Ruído Emitido por Tratores em Regime Estacionário e em Movimento. 2011. 62 f. Monografia (Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

O presente trabalho versa sobre a emissão de ruído em tratores. Considerando a grande influência da agricultura na economia brasileira, e o aspecto de que o trabalho no campo mantém uma grande quantidade de trabalhadores empregados, a análise dos efeitos de ruído sobre o trabalhador agrícola é um fator importante a ser investigado. Obter a medição dos níveis de ruído e das frequências características faz parte do escopo do trabalho, tal qual apresentar os efeitos que os elementos de ruído têm sobre os ouvidos do tratorista. A apresentação de uma base de dados sobre ruído e sua medição define a porção teórica do trabalho. A porção prática do trabalho consiste nos ensaios de acordo com a normatização internacional e nacional.

Palavras-chave: Ruído; Trator; Espectro de Frequência; Trabalhador agrícola

ABSTRACT

FERREIRA, H.F.; CIRINO, P.D. Analysis of noise emitted by tractors in stationary and motion regimes. 2011. 62 f. Monography (Industrial Mechanical Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

This work deals with the issue of noise in tractors. Considering the great influence of agriculture in brazilian economy, and the knowledge that a great deal of the workforce is employed in this sector, the analysis of the effects of noise on the farm worker is an important aspect to be investigated. To obtain the measurement of noise levels and frequency characteristics is inside the scope of work, as is the presentation of the effects of noise that reaches the ears of the tractor operator. The presentation of a database of noise and its measurement defines the theoretical portion of this work. The practical portion of this work consists in a series of tests in accordance to national and international normative standards.

Keywords: Noise; Tractor; Frequency Spectrum; Farm worker.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Potência gerada por ruídos cotidianos (adaptado de BRÜEL, 1986)	17
Figura 2 – Influência de movimentação de ar na propagação do ruído (adaptado de BRÜEL, 1986)	19
Figura 3 – Influência do gradiente de temperatura na propagação do som (adaptado de BRÜEL, 1986)	20
Figura 4 – Analisador de ruído tipo 2 SVAN 953.	21
Figura 5 – CAL 150 Acoplado ao Svan 953	27
Figura 6 – Compensação de ruído para os métodos A, B, C e D de compensação em função da frequência (GERGES, 2000)	30
Figura 7 – Trator Massey Ferguson modelo 7140	35
Figura 8 – Trator Massey Ferguson modelo 4283	36
Figura 9 – Trator Massey Ferguson modelo 283	36
Figura 10 – Trator Massey Ferguson modelo 283 Turbinado	37
Figura 11 – Local de realização dos ensaios	38
Figura 12 – Fixação do equipamento de análise nos tratores	38
Figura 13 – Arado utilizado no processo de medição em movimento com carga	39
Figura 14 – Níveis de ruídos totais de cada trator para diferentes regimes de trabalho	41
Figura 15 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 7140	42
Figura 16 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 4283	43
Figura 17 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 283	44
Figura 18 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 283 turbinado	45
Figura 19 – Comparação de modelos de tratores diferentes para o regime estacionário	46
Figura 20 – Comparação de diferentes modelos de tratores para o movimento sem carga	47
Figura 21 - Comparação de modelos de tratores diferentes para o movimento com carga	48
Figura 23 – Trator cabinado Massey Ferguson	50
Figura 24 – Protetores de ouvido tipo concha e intra auricular	51
Figura 25 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 7140	57
Figura 26 – níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 7140	57
Figura 27 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 7140	58
Figura 28 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 4283	58
Figura 29 – Níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 4283	59
Figura 30 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 4283	59
Figura 31 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 283	60
Figura 32 – Níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 283	60
Figura 33 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 283	61
Figura 34 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 283 turbinado	61
Figura 35 – Níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 283 turbinado	62
Figura 36 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 283 turbinado	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atenuação da percepção auditiva das compensações A, B e C (FERREIRA,2010)	31
Tabela 2 – Tempo de exposição máxima diária em função da amplitude (NR-15, 1978)	33
Tabela 3 – Cronograma proposto do projeto	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Tema	12
1.2	Problema	13
1.3	Objetivos	14
1.4	Justificativa	14
1.5	Conteúdo do trabalho	15
1.6	Produtos do projeto	15
1.7	Etapas do projeto	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Ruído	17
2.2	Tipos de Ruído	18
2.3	Transmissão de Ruído	18
2.4	Medição Acústica	20
2.4.1	Medidores de nível sonoro	20
2.4.2	Microfones	21
2.4.3	Pré-Amplificadores	23
2.4.4	Conversor Analógico Digital	23
2.4.5	CPU	24
2.4.6	Interface de visualização	24
2.4.7	Medidores Integrados	25
2.4.8	Filtros de frequência	25
2.4.9	Calibração dos medidores de nível sonoro	26
2.4.10	Elementos danosos à medição acústica	27
2.5	O ouvido humano	28
2.5.1	Divisão e funções	28
2.5.2	Mecanismos da Audição	28
2.5.3	Ajuste da medição	29
2.5.4	Perdas auditivas	31
2.6	Norma regulamentadora NR-15	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	Materiais	35
3.2	Método	37
3.3	Justificativa da metodologia	40
4	RESULTADOS	41
4.1	Nível de ruído total	41
4.2	Espectros de ruídos	42
4.3	Comparação com a norma NR-15	48
5	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A – CRONOGRAMA	56
	APÊNDICE b – Gráficos das medições no domínio do tempo	57
	Modelo 7140	57

1 INTRODUÇÃO

A economia brasileira tem uma forte característica agrícola. O grande crescimento da agroindústria no país tem feito com que muitos produtores de menor escala tenham buscado a mecanização de seus processos, afim da manutenção de uma concorrência possível com as grandes produtoras.

A mecanização das fazendas já alcança altas marcas no Brasil. No estado de São Paulo, alguns processos das fazendas de cana de açúcar já são 100% mecanizados, como o plantio e o transporte. Enquanto a colheita alcança a marca de 35%. Ainda assim, o campo brasileiro ainda é considerado muito pouco mecanizado. A mecanização é uma das formas mais eficazes e viáveis para o aumento da produtividade no campo, de fato, para alguns casos, como o da colheita da cana crua, a única forma economicamente viável é a colheita mecanizada (MORAES, 2007), por utilizar-se de tecnologia disponível no mercado há anos, que agiliza os processos e minimiza perdas. Aliando o fato de que ela exige maior instrução por parte dos trabalhadores agrícolas.

Levando em consideração essa tendência e a mecanização dos processos agrícolas, a condição de trabalho do operador do maquinário passa a ser uma preocupação importante do empregador. O ruído gerado por uma máquina agrícola é bastante considerável, 76 dB a 90 dB, entre máquinas agrícolas cabinadas e sem cabine (SÜMER et al, 2006).

Tratores agrícolas são máquinas de grande porte e bastante reforçadas, devido à severidade de trabalho. Como consequência, são necessários grandes motores para que o equipamento suporte o regime de trabalho com viabilidade técnica.

1.1 Tema

A análise acústica em equipamentos agrícolas é uma área ainda pouco explorada e com muito potencial de crescimento e oportunidades de emprego. Considerando a crescente agroindústria, há muito pouco estudo e dados para o embasamento do projeto. Espera-se, do trabalho no tema, o desenvolvimento nessa área e a geração de literatura a respeito.

O tema proposto tem sido estudado recentemente no Brasil, como é o exemplo do estudo da universidade de Viçosa (SILVEIRA et al, 2007). As análises obtidas nesses estudos são de caráter qualitativo e abrangem muito do maquinário agrícola.

Segundo Knobloch e Boste (1998), em 34 colégios rurais de Wisconsin, nos Estados Unidos, foi constatado que os alunos que estão ligados diretamente no trabalho agrícola possuem considerável perda de audição ao longo dos anos de formação. Esse dado motivou um estudo sobre um programa de conservação auditiva direcionada a alunos que possuem atividades agrícolas ligadas com maquinários geradores de ruído de alta magnitude a fim de diminuir ou eliminar o quadro em questão.

Esse estudo levou em consideração os maquinários que poderiam trazer consequências danosas para a saúde do aluno e levantou os seguintes equipamentos como principais geradores de ruídos: tratores, colheitadeiras, sopradores, descarregadores de silo, elevadores de fardos e grãos, e equipamento de ordenha. Entre esses o trator é o equipamento mais usado portanto o alvo de numerosos estudos para melhoria de qualidade de trabalho.

Esse programa teve como base dois grupos onde um foi mantido nas técnicas tradicionais enquanto o outro foi submetido a propostas determinadas para o programa. Ao final de 4 anos após a implantação do programa evidenciou-se que pequenas ações como palestras informativas, simulações de perda de audição e distribuição de equipamentos de proteção individuais (EPIs) foram suficiente para uma considerável diminuição da perda auditiva do grupo estudado em relação a amostra de controle.

1.2 Problema

Com o aumento da mecanização, há a interação maior de pessoas com o ruído gerado por um número maior de equipamentos. Quanto maior o número de equipamentos, maior o ruído gerado e, conseqüentemente, menor o tempo de exposição aceitável pelas normas brasileiras. Em ambiente considerado insalubre, devido à poluição sonora, isso leva à necessidade de contratação de mais funcionários e, por conseguinte, aumento dos custos de produção.

Dentro da questão de ruído, há o aspecto de que há muito pouco que se tenha dito, em qualquer literatura, sobre o ruído no ambiente agrícola. A normatização do controle de ruído segue o princípio da normatização industrial, com base na NR15, que toma por base um ruído já elevado de um ambiente urbano e industrial. Aliado a isso, há o aspecto de que o isolamento proporcionado por elementos atenuadores, como cabines de trator, são considerados, pelos empregadores, como apenas uma forma de conforto, sem levar em consideração o aspecto de aumento de produtividade ou a melhoria das condições de trabalho, sendo capaz de evitar, até mesmo, ações trabalhistas, bastante onerosas ao fazendeiro.

1.3 Objetivos

Tem-se como objetivo analisar o ruído dos tratores na posição do tratorista. A análise do ruído contempla a aquisição do nível de ruído gerado pelo trator na posição de interesse. A análise se dá em regime estacionário e em regime de movimento sem carga e regime de movimento com carga. Tal valor será utilizado para definir o objeto de estudo como uma fonte ruidosa.

A caracterização do ruído gerado pelo objeto de estudo em bandas de oitavas, através da análise dos espectros obtidos por meio dos ensaios

A comparação dos dados obtidos com a norma brasileira NR-15, de saúde ocupacional, com a intenção de definir a exposição do operador ao ruído, com base na legislação nacional.

1.4 Justificativa

Vê-se uma tendência de franca expansão no setor de mecanização agrícola brasileiro e esse tipo de estudo é de grande valia para fabricantes de maquinários desse tipo. Novas tecnologias devem ser geradas com o objetivo de atenuar de ruídos gerados, melhorado as condições de trabalho do operador do equipamento com fim de aumentar a produtividade do meio agrícola.

O estudo na área de acústica é de interesse dos integrantes do projeto devido a possibilidade de desenvolvimento profissional em uma área que possui grande

espaço para expansão visto que profissionais capacitados e renomados são escassos. Os equipamentos necessários para aquisição e tratamento de dados são de posse de um dos membros da equipe. O objeto de análise é de posse de colaboradores desse projeto.

1.5 Conteúdo do trabalho

No capítulo 2 encontra-se a fundamentação teórica do assunto abordado. Explica os tipos de ruído existentes bem como a sua propagação. Os equipamentos necessários para aquisição e análise, também a análise de suas características. A fisiologia do ouvido humano e as consequências da exposição a ruídos nocivos a saúde.

No capítulo 3 são apresentados os equipamentos e ferramentas utilizadas, explicitando sua condição quando do início dos testes. A metodologia, construída com base em normas internacionais, também é apresentada nesse capítulo.

No capítulo 4 são apresentados os dados e gráficos obtidos durante as medições, e a sua comparação com elementos normatizados gerará os resultados do projeto.

No capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho, na qual constará a descrição da relevância dos dados com relação aos objetivos do projeto.

1.6 Produtos do projeto

Tem-se como objetivos com esse estudo definir de forma confiável um ruído característico emitido pelo equipamento para servir de objeto de estudo. Proporcionando melhorias da atenuação acústica do maquinário, ou dimensionamento de EPIs para os tratoristas.

A comparação dos resultados de diferentes regimes para um mesmo trator e a comparação de diferentes tratores para um mesmo regime.

Apresentar melhorias na metodologia utilizada, caso sejam constatadas, após a aquisição de experiência com a realização desse projeto, a fim de diminuir a discrepância de sua repetibilidade. Para que seja mais utilizada e prevista no projeto desse tipo de equipamento.

Esse projeto também contempla a produção de um artigo que visa publicação em veículos da área de acústica.

1.7 Etapas do projeto

O projeto apresenta as seguintes etapas:

1. Definição do ponto onde pode-se tomar o ruído do trator como de controle
Pesquisa do ponto de medição em normas ou possíveis ensaios objetivando um ponto de boa referência.
2. Aquisição de dados no ponto definido
Realização dos ensaios conforme metodologia definida
3. Tratamento dos dados
Manipulação e filtragem dos dados e geração de gráficos para melhor visualização
4. Comparação e conclusão
Comparação dos dados obtidos entre mesmo trator para diferentes regimes e tratores diferentes para um mesmo regime

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ruído

Pode-se definir o som como uma pequena variação de pressão propagada em um meio compressível. Essa onda de pressão será perceptível ao ouvido humano desde que dentro de alguns limitantes, tais como, estar entre uma frequência de 20Hz a 20kHz e entre o nível mínimo para percepção (limiar da audição) e um nível máximo que gera risco de danos ao aparelho auditivo (limiar da dor).

Na atual conjuntura de avanços tecnológicos foram desenvolvidos muitos equipamentos para tornar nossa vida mais cômoda e prazerosa, entretanto, essa evolução gerou novos tipos de poluição. Aquela que mais se encaixa no escopo deste trabalho é a poluição sonora. Sons desagradáveis e indesejados são classificados como ruído. Nessa classificação, são incluídos sons como: o barulho dos carros; motos; o tocar de telefones; entre outros. Cada um desses sons traz em si uma potência, medida em dB. Para fins de curiosidade, a figura 1 mostra a potência gerada por fontes sonoras entre o limiar da audição e o limiar da dor (BRÜEL, 1986).

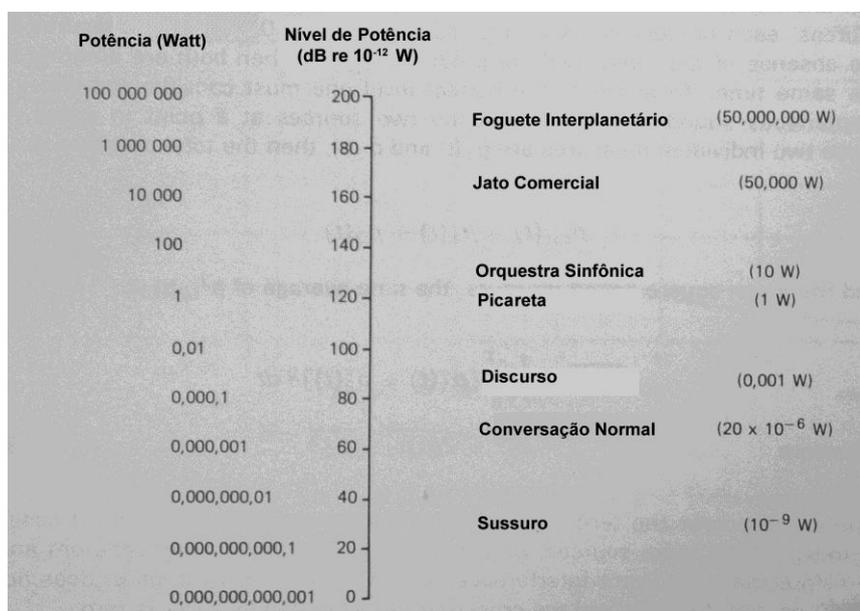


Figura 1 – Potência gerada por ruídos cotidianos (adaptado de BRÜEL, 1986)

2.2 Tipos de Ruído

De modo geral os ruídos existentes são discriminados para que seu entendimento, manipulação e medição sejam feitos de modo satisfatório. Três classificações são comumente usadas: contínuos, flutuantes e impulsivos ou de impacto (FERNANDES, 2009).

Ruídos contínuos são aqueles cuja variação de nível de intensidade sonora é muito pequena em função do tempo. São característicos de bombas hidráulicas, motores, ventiladores, chuva, etc.

Ruídos flutuantes são aqueles que apresentam grande variação em um determinado espaço de tempo. Um exemplo para este caso é o ruído de trânsito (VASEHI, 2000).

Ruído de impulso é definido como um som de curta duração caracterizado por uma onda de choque de pressão, ou seja, crescimento quase instantâneo de pressão. Sua duração pode variar de microssegundos até 50 ms.

Ruídos de impacto são gerados por impactos não explosivos, como acoplamentos metálicos, impacto metal com metal, como em prensas ou queda de elementos metálicos (BIES e HANSEN, 1996).

Visto que, em ambas as situações, parado e em movimento, nas quais serão feitas as medições, o trator estará em regime permanente e grandes flutuações da amplitude não são esperadas. Portanto, o ruído contínuo será o mais provável.

2.3 Transmissão de Ruído

A propagação de ruído em áreas abertas é dependente de vários fatores como vento, temperatura e umidade. Esses possuem uma complexa influência nas medições e também entre si.

A rotação da terra, aliada com a grande espessura da massa de ar ao entorno, provoca grandes movimentações desse que podem afetar a maioria das medições de fontes sonoras. Como a transmissão do som é dada através de ondas de pressão, oriundas da concentração de massa em uma determinada posição, quaisquer movimentações de massa durante a propagação dessa onda nessa dada

posição é desviada no sentido do deslocamento da massa de ar. Esse efeito se torna mais expressivo quando a velocidade de deslocamento dessa massa é maior ou existe uma grande distância entre a fonte e a captação, ou seja, em locais abertos e sem objetos que se oponham a esse deslocamento ou em grandes alturas.

O efeito desse fenômeno é um aparente curvamento das linhas de propagação provenientes da fonte sonora. Esse efeito é melhor visualizado graficamente, como mostrado na Figura 2.

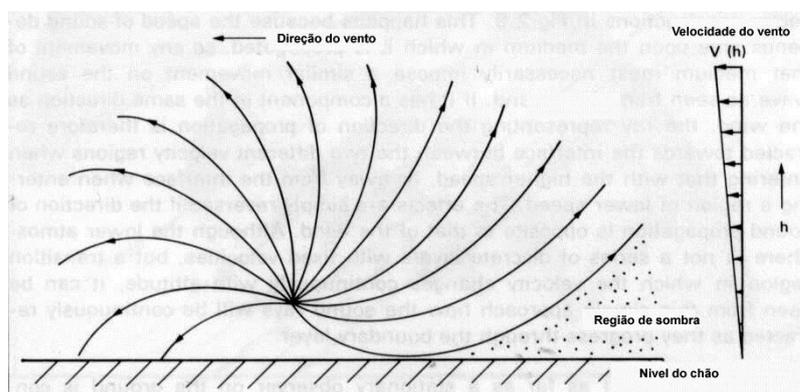


Figura 2 – Influência de movimentação de ar na propagação do ruído (adaptado de BRÜEL, 1986)

No caso do trator esse efeito não terá grande contribuição, pois apesar das medições serem em campo aberto elas serão feitas relativamente próximas ao chão e à fonte de ruído.

Outro fenômeno que possui uma consequência parecida é o gradiente de temperatura, o qual afeta a velocidade de propagação do som no ar. Ele é explicado pela variação de densidade do ar que, conforme a distância do chão, aumenta. Isso faz com que a refração do ar se altere conforme o aumento da altura, gerando então esse fenômeno. Em um ambiente aberto é como se, a cada posição, o ar mudasse de refração desviando a linha de propagação cada vez mais com o aumento da distância da fonte.

Esse gradiente varia de um ambiente para o outro, em um ambiente aberto como o que será utilizado nesse trabalho é o mais comum onde a temperatura

decrece com a altura. Na Figura 3 pode-se encontrar uma melhor visualização de como esse fenômeno se comporta.

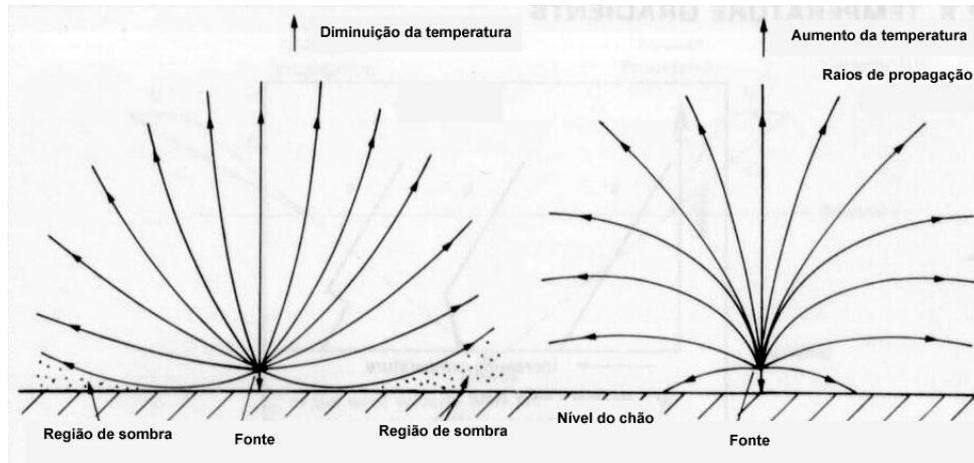


Figura 3 – Influência do gradiente de temperatura na propagação do som (adaptado de BRÜEL, 1986)

A umidade e a temperatura possuem uma relação muito complicada, a rigor o senso comum diz que a absorção do som diminui com o aumento da umidade. Entretanto esse efeito só deve ser levado em consideração para medição de fontes sonoras extremamente distantes (BRÜEL, 1986).

Outros fenômenos como absorção e reflexão do som podem ser desconsiderados nesse projeto devido ao campo de medição avaliado não apresentar quaisquer características que possam vir a gerar essa possibilidade. Como sinuosidades, depressões e morros.

Entretanto, não faz parte do escopo do presente trabalho entender e quantificar esses fatores, pois os sinais medidos nos equipamentos são exatamente os mesmos que os trabalhadores estarão submetidos.

2.4 Medição Acústica

2.4.1 Medidores de nível sonoro

De acordo com as normas americanas IEC 651-1979, IEC 804-1985 e as normas internacionais ANSI S1.4-1983 e AS1259-1982, os instrumentos de medida são divididos em 4 categorias em ordem decrescente de precisão:

Tipo 0: Equipamento de referência laboratorial, utilizado para calibração de outros medidores de nível sonoro

Tipo 1: Equipamento de medição sonora de precisão, para uso em laboratório ou em campo, quando há a necessidade de medidas precisas

Tipo 2: Equipamento de medição para uso geral, projetado para uso em campo, utilizado para gravar dados de nível de ruído para análise posterior (Figura 4)

Tipo 3: Equipamento de monitoramento no nível sonoro, utilizado com a intenção de definir o estado de ruído num ambiente qualitativamente (BIES, 1996).



Figura 4 – Analisador de ruído tipo 2 SVAN 953.

2.4.2 Microfones

Uma característica determinante no processo de seleção do microfone é o conhecimento do tipo de medição a ser realizada. Microfones variam em relação ao sistema de captação, podem variar no que concerne à orientação do microfone em relação à fonte sonora e também em relação ao tamanho e faixa de frequências e temperaturas nas quais podem trabalhar.

Microfones de campo livre: são microfones projetados para medir a pressão sonora ambiente, enquanto compensando o efeito da presença do microfone no mesmo, ou seja, o microfone capta a pressão sonora como se não houvesse

microfone no campo acústico. Esse tipo de microfone deve ser orientado na direção da fonte sonora, a um ângulo de incidência de 0° .

Microfones de pressão: são projetados para medir a pressão sonora existente em frente ao microfone, incluindo a influência do mesmo no ambiente. Esse tipo de microfone é, normalmente, utilizado em conjunto com acopladores ou para medição de pressão sonora em paredes.

Microfones de incidência aleatória: são projetados para medição em campos sonoros difusos, e mede essencialmente pressão sonora.

Microfones de sonda: são microfones projetados para medições em locais de difícil acesso ou de difícil medição, com fluxo de ar a alta temperatura. A sonda transmite o sinal para o microfone, que, por meio de compensação interna, equaliza a pressão estática na ponta da sonda com a pressão interna do microfone.

Microfones de intensidade: são microfones projetados para determinar a direção da onda sonora, de acordo com a recepção que um jogo de microfones faz, por exemplo, um microfone A recebe a onda sonora antes de um microfone B, isso implica que a onda está viajando na direção desses dois microfones, se receberem ao mesmo tempo, significa que a onda viaja perpendicularmente aos microfones.

Uma considerável variedade de dispositivos foram testados e demonstrados ao longo dos anos para a conversão de flutuações de pressão sonora em sinais elétricos confiáveis. Desses dispositivos, apenas dois são largamente utilizados para medições de precisão.

O microfone condensador é o mais utilizado para medições de precisão e pode vir em duas formas, polarizados externamente e polarizados internamente, sendo o primeiro mais sensível à poeira e umidade, porém, pode ser utilizado a temperaturas mais altas do que o segundo.

O microfone piezelétrico é bastante menos sensível à poeira e umidade, e é a outra variante de dispositivos largamente utilizados em medição acústica, porém, é muito sensível a vibração e temperaturas elevadas, dificultando a medição sob condições mais adversas (BIES e HANSEN, 1996).

2.4.3 Pré-Amplificadores

São pequenos elementos de amplificação de precisão para utilização com microfones condensadores, podem ser pouco sensíveis a vibração e microfonia por conta da estrutura do equipamento, também podem trabalhar a temperaturas altas, acima de 100°C, porém, isso pode ocasionar um aumento no ruído interno do equipamento, diminuindo a capacidade de medir níveis de pressão sonoros baixos.

Os sinais provenientes de sensores, como microfones, são muito fracos em sua maioria. Pré-amplificadores são utilizados, adjuntos a microfones, para amplificar esses sinais, de modo a facilitar sua manipulação.

Existem basicamente dois tipos de pré-amplificadores, o de carga e o de voltagem, cada um com um benefício. A Grande vantagem do pré-amplificador de carga é sua imunidade a capacitância do cabo entre o sensor e o pré-amplificador isso permite a utilização de sensores a grandes distâncias do pré-amplificador. A vantagem do pré-amplificador de carga é sua capacidade de trabalhar com o limite inferior de frequências muito baixas, em torno de 0.1Hz (GERGES, 2000).

2.4.4 Conversor Analógico Digital

O sinal analógico é algum tipo de variação física, como tensão e corrente elétricas, captadas por um equipamento, tal qual um microfone, que capta variações da pressão sonora e converte-as em variações de tensão, ou corrente elétricas. O sinal digital, por sua vez, é um código binário que pode ser compreendido por uma unidade de processamento (CPU)(BIES, 1996).

O conversor analógico digital é um equipamento que trata o sinal analógico gerado pela onda sonora e o converte em sinal digital, a conversão é dada em função de amostras da frequência tomadas com base em uma taxa, e a aproximação do sinal discreto resultante, gerando um sinal digital aproximado ao sinal analógico captado.

Taxa de amostragem: é a taxa com que o conversor toma as amostras do sinal analógico, a fim de gerar o sinal digital. Os dados gerados conversor analógico digital são valores discretos de deslocamento do elemento vibratório do microfone, de natureza pontual, e são obtidos em função da taxa de amostragem. O

processamento desses dados, seqüencialmente, gera a curva do sinal, em termos de tempo e amplitude. Como a captação de dados é discreta, existe a possibilidade de discrepância no sinal caso as freqüências não sejam compatíveis. Por exemplo, um sinal de 8 kHz com uma taxa de amostragem de 8 kHz geraria uma linha reta no processamento, pois os pontos tomados na amostra seriam todos no mesmo ponto de deslocamento. Para resolver esse problema, existe um teorema. O teorema de Nyquist, que indica que a taxa de amostragem deve ser ao menos duas vezes maior do que a freqüência a ser analisada para que o sinal original possa ser recuperado. (VASEGHI, 2000).

2.4.5 CPU

Os dados provenientes do conversor analógico digital devem ser processados para que sua compreensão seja possível. O CPU é o equipamento utilizado para fazer o processamento de dados, podendo ser uma unidade integrada ao equipamento de medição, como em unidades compactas ou um elemento externo, como um computador pessoal. Essa unidade de processamento faz com que esses dados sejam adequadamente relacionados gerando, em sua grande maioria, gráficos. Dependendo do filtro utilizado e do objetivo da medição, diferentes gráficos podem ser gerados como: gráficos de amplitude x tempo, histogramas, amplitude x freqüência, etc.

Esse componente pode estar embutido em um equipamento, que possui todos os componentes necessários para uma medição e manipulação dos dados, ou ser um computador pessoal comum associado a uma interface adequada. Existem fabricantes que desenvolvem esses programas ou o próprio fabricante do equipamento integrado (VASEGHI, 2000).

2.4.6 Interface de visualização

A interface tem como função a visualização e manipulação dos dados previamente processada na CPU, a Interface pode ser integrada ao equipamento de medição ou externa, através de um programa de computador pessoal. Em equipamentos não integrados eles são necessários para a visualização dos dados.

Em equipamentos integrados esses dados podem ser acessados diretamente na interface do equipamento. Entretanto interfaces externas promovem uma manipulação mais eficiente e também mais ferramentas para tratamento dos dados adquiridos. Foi-se utilizado de ambas as formas, integrada e externa para visualização de dados. A interface integrada foi utilizada no campo de testes, durante os testes e a interface externa foi utilizada posteriormente para a exportação de dados.

Nesse trabalho utilizou-se o software Svan PC+ que fez a função de interface gráfica. O Svan PC+ foi adquirido juntamente com o equipamento que foi utilizado nesse trabalho, Svan 953. Desenvolvido pelo mesmo fabricante ele permite que os dados sejam melhor visualizados e, também, exportados para um programa de planilha eletrônica, como, por exemplo, Microsoft Excel (SvanPC+ USER MANUAL, 2007).

2.4.7 Medidores Integrados

Medidores integrados reúnem todos os componentes anteriormente mencionados em um único equipamento, como Svan 953 que será (Figura 4) utilizado nesse projeto. Seu funcionamento e resultado é o mesmo de um equipamento modulado mas com a vantagem da portabilidade.

Esse tipo de equipamento permite que análises sejam feitas *in loco* visto que não dependem de fonte de energia externa. Também tem a vantagem de visualizar os resultados em tempo real por ter a capacidade de processar os dados e exibí-los instantaneamente. São mais resistentes as condições climáticas. Permitem armazenar os resultados da medição para sua posterior visualização e manipulação com uma interface mais adequada e eficiente (Svan953 USER MANUAL, 2007).

2.4.8 Filtros de frequência

Os filtros são utilizados para determinar qual é a contribuição de cada frequência na amplitude do ruído em questão. A caracterização mais simplória é a banda de oitavas ou 1/1 oitavas que é composta pelas frequências de: 31,5Hz, 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 8000Hz e 16000Hz. As

frequências adjacentes a essa são incluídas em suas respectivas frequências centrais.

Existe a possibilidade de tornar esse espectro mais específico com filtros mais finos que seria as bandas de: 1/3 de oitava, 1/6 de oitava e 1/12 de oitava. Esses filtros consistem em dividir o intervalo de uma oitava em intervalos menores, dependendo do filtro em 1/3, 1/6 e 1/12. Esses gerarão 3 vezes mais, 6 vezes mais e 12 vezes mais frequências centrais tornando o espectro mais preciso.

Nesse projeto foi utilizado o filtro de oitavas, pois considera se que seja o suficiente para atingir o objetivo. Equipamentos com filtros de oitavas mais discretizados demandam um investimento financeiro considerável e se tornariam inviáveis para os fins desse (FERREIRA, 2010).

2.4.9 Calibração dos medidores de nível sonoro

A calibração pode ser feita de duas formas:

A calibração elétrica consiste em enviar ao medidor um sinal elétrico de amplitude e frequência conhecidas e avaliar a recepção do aparelho. Sofre do revés de não testar a recepção do microfone;

A calibração acústica é realizada ao enviar um sinal acústico de pressão sonora conhecida ao microfone do medidor e comparar o valor medido ao nível de referência, resulta em uma precisão de até 0,2 dB. É um método restrito a algumas frequências apenas (BIES e HANSEN, 1996).

Nesse trabalho, será utilizado um calibrador acústico CAL 150 da fabricante Larson Davis. O processo de calibração acústica consiste em encaixar o calibrador no microfone, e esse emite um pulso de 94dB a 1000Hz. De acordo com a leitura do equipamento ele é calibrado (CAL 150 USER MANUAL, 2006).



Figura 5 – CAL 150 Acoplado ao Svan 953

2.4.10 Elementos danosos à medição acústica

Erros de medição são os elementos mais danosos à medição acústica, os erros podem ser caracterizados por posicionamento inadequado ou mal uso do equipamento, como utilizá-lo sob condições de umidade ou temperatura superiores às especificadas.

O posicionamento inadequado do microfone é um elemento bastante danoso para a medição. Se o microfone é posicionado em uma superfície sofrendo vibração a medição trará elementos dessa vibração na leitura como sinais de pressão sonora.

Exposição a ruídos de extrema intensidade ou impacto no equipamento pode afetar severamente a calibração do equipamento, tornando-o inútil para medições.

Ruído de fundo é um dos fatores mais comuns a danificar uma medição acústica, pois se o ruído a ser medido não possuir uma diferença de intensidade superior a 3 dB à do ruído de fundo, a medição não é confiável e deve ser descartada (BIES, 1996).

2.5 O ouvido humano

2.5.1 Divisão e funções

O ouvido humano é dividido em três porções, ouvido externo, médio e interno. O ouvido externo tem a função auxiliar o cérebro a gerar um senso de localização do ruído, utilizando-se das distorções causadas nas frequências maiores do que cinco mil Hertz, pelas curvas existentes nessa região do corpo.

O ouvido médio é composto pelo canal intermediário de passagem do som, que é, de uma forma geral, retilíneo, com tamanho variando de vinte e três a trinta milímetros de comprimento, e tem, ao seu final, a membrana timpânica, ou tímpano, que é o receptor das variações de pressão. Ainda nessa porção do ouvido há o conjunto de ossos caracterizado como o elemento transmissor, composto por três pequenos ossos, dessas variações de pressão para o ouvido interno.

O ouvido interno é composto por canais cheios de líquidos, perilinfa, rica em sódio e endolinfa, rica em potássio. Para fins desse trabalho, ambos podem ser aproximados por modelos de água salgada, ou seja, incompressível quando excitado na faixa de frequência audível. Sendo assim, a transmissão da pressão nessa porção do ouvido se dá através dos líquidos. As regiões responsáveis pela recepção das diversas frequências estão contidas nessa porção inundada, conhecida por zona coclear (BIES, 1996).

2.5.2 Mecanismos da Audição

A audição é um conjunto de mecanismos de atenuação, amplificação, transmissão e transformação de sinais acústicos em sinais eletromagnéticos. Sinais esses, que regem o funcionamento do cérebro humano. A complexidade dos mecanismos inicia-se no ouvido externo, ou orelha externa, em se tratando de um conjunto de curvas e reentrâncias capazes de atenuar determinadas frequências enquanto amplifica outras. As frequências amplificadas por esse mecanismo giram no entorno dos 3000 Hz, que corresponde à frequência normal da fala.

As vibrações tratadas pelo ouvido externo chegam até a membrana timpânica, através do ouvido médio. A transição entre essa membrana e a janela oval, do ouvido interno, forma o mecanismo de transmissão das ondas, através de ossos

conectados por pequenas cartilagens, conhecidos como martelo, estribo e bigorna. A transmissão de vibração é física e depende da elasticidade do elemento de ligação ósseo. Ainda nessa região, há um mecanismo de defesa contra sinais de grande intensidade, que consiste no endurecimento dos músculos que permitem o movimento da membrana timpânica. Esses são os causadores da surdez temporária.

O ouvido interno é repleto com líquido ionizado, e esse líquido fica em contato com pequenos “cílios” que reagem às variações de pressão do líquido com movimento e liberação do líquido ionizado que existe dentro deles. A interação entre os líquidos gera os sinais elétricos captados pelos nervos, que, por conta das variações de pressão, transmitem um sinal de mesma frequência ao cérebro, completando, assim, o mecanismo de transmissão sonora, do ouvido ao cérebro (LENT, 2004).

2.5.3 Ajuste da medição

A audição humana não possui a mesma sensibilidade para todas as frequências. Possui mais sensibilidade nas frequências médias, na faixa de 2kHz a 5kHz, entretanto, nas regiões mais extremas da faixa de som audível, sua percepção é bem deficiente. Por exemplo, para que um tom de 100Hz tenha uma mesma audibilidade subjetiva de um tom de 1000Hz deve-se adicionar 5dB em sua amplitude, quando ambas as frequências são avaliadas à amplitude de 80 dB.

A compensação dessa perda de audibilidade foi feita através da criação de filtros, para que as medições dos equipamentos possuam uma leitura mais coerente com o que, de fato, o ouvido humano é capaz de captar. Essas escalas são normalmente embutidas nos equipamentos para que se obtenha a medida que é interessante. As escalas são denominadas A, B, C e D, sendo a primeira é a que mais se aproxima da audição humana e por isso é largamente utilizada, a B e C são utilizadas em testes subjetivos e não fornecem uma boa correlação por isso estão caindo em desuso, a escala D é uma escala muito específica que é utilizada para medir ruídos em aeroportos. Para melhor visualização da audibilidade em diferentes

escalas, a Figura 6 evidencia as escalas citadas acima sobrepostas em todo espectro audível com suas respectivas atenuações (GERGES, 2000).

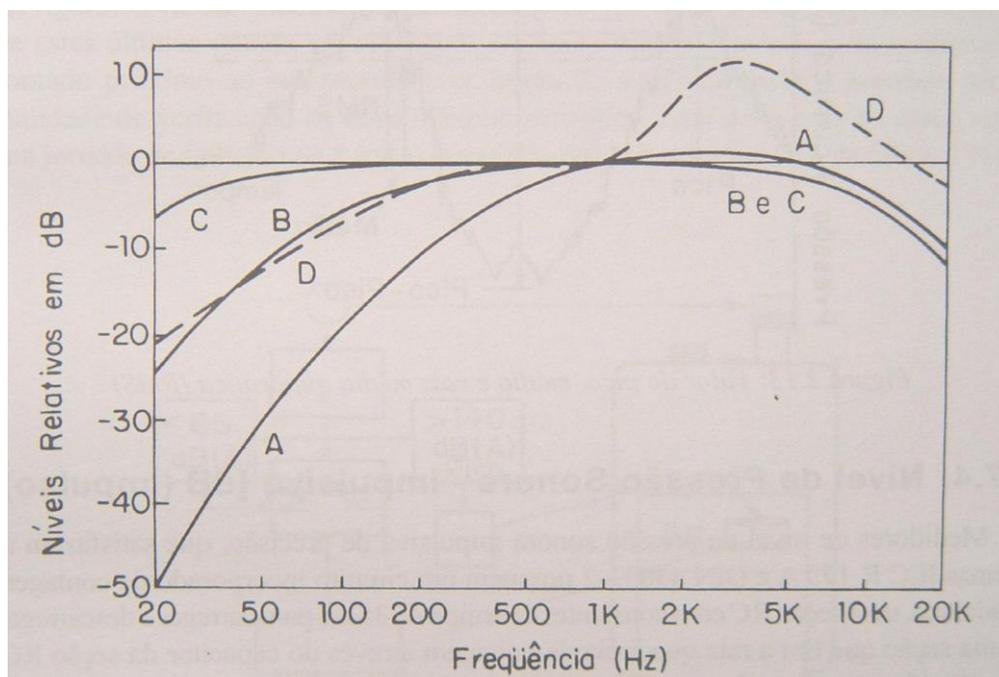


Figura 6 – Compensação de ruído para os métodos A, B, C e D de compensação em função da frequência (GERGES, 2000)

A Tabela 1 quantifica a diferença entre as curvas apresentadas e o ruído sem atenuação.

Tabela 1 – Atenuação da percepção auditiva das compensações A, B e C (FERREIRA,2010)

Frequência	Curva A	Curva B	Curva C
10	-70,4	-38,2	-14,3
12,5	-63,4	-33,2	-25,6
16	-56,7	-28,5	-8,5
20	-50,5	-24,2	-6,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3
40	-34,6	-14,2	-2
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,3	-3	-0,01
200	-10,9	-2	0
250	-8,6	-1,3	0
315	-6,6	-0,8	0
400	-4,8	-0,05	0
500	-3,2	-0,3	0
630	-1,9	-0,1	0
800	-0,8	0	0
1000	0	0	0
1250	0,6	0	0
1600	1	0	-0,1
2000	1,2	-0,1	-0,2
2500	1,3	-0,2	-0,3
3150	1,2	-0,4	-0,5
4000	1	-0,7	-0,8
5000	0,5	-1,2	-1,3
6300	-0,1	-1,9	-2
8000	-1,1	-2,9	-3
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,4	-8,5
20000	-9,3	-11,1	-11,2

2.5.4 Perdas auditivas

As perdas auditivas têm dois mecanismos principais, ambos têm base no sistema de transmissão acústica do ouvido humano, o primeiro deles, que pode ser relacionado tanto à idade avançada quanto à exposição excessiva ao ruído é o

endurecimento da cartilagem que existe entre os três ossículos do ouvido interno, o martelo, o estribo e a bigorna. O enrijecimento desse elemento de transmissão reduz a capacidade auditiva como um todo, pois gera perda de carga do sinal vibratório. O segundo mecanismo diz respeito ao enrijecimento muscular causado pelo uso constante, esse mecanismo diz respeito tanto ao enrijecimento do músculo que mantém a membrana livre para movimentar-se, como do movimento dos pequenos cílios do interior da zona coclear. Como todos os mecanismos naturalmente amplificam a faixa correspondente à fala humana, esse mecanismo tende a afetar primeiro essa faixa, por volta de 3000 Hz, pois essa amplificação faz com que os cílios que trabalham nessa frequência tenham uma amplitude maior de movimento, e, portanto, um enrijecimento mais precoce (LENT, 2004).

A Tabela 2 representa os níveis de exposição ao ruído permitido por normas brasileiras e dizem respeito à manutenção da qualidade auditiva do trabalhador, exposição excedente ao valor dessa tabela é considerada como exposição a ruído severa.

As perdas auditivas relacionadas à exposição a ruídos severos podem ser consideradas temporárias ou permanentes. A redução temporária da capacidade auditiva é um forte indicativo de risco auditivo e consiste em um zumbido que continua depois do ruído ter cessado. A recuperação costuma ser total se o ouvinte for afastado do ruído por tempo suficiente. Caso contrário, o dano pode ser permanente. Nesse caso, a perda auditiva começa ocorrendo na faixa de quatro mil hertz a seis mil hertz, a faixa mais sensível da audição humana, então se expande para as frequências mais altas e mais baixas.

Perdas auditivas também ocorrem com o avanço da idade, através do enrijecimento dos elementos de transmissão do ouvido humano. Esse é um aspecto levado em consideração quando se trata da avaliação da perda auditiva de um trabalhador (BIES, 1996).

Tabela 2 – Tempo de exposição máxima diária em função da amplitude (NR-15, 1978)

NPS Db(A)	Máxima exposição diária Permissível (HH:MM)
85	08:00
86	07:00
87	06:00
88	05:00
89	04:30
90	04:00
91	03:30
92	03:00
93	02:30
94	02:15
95	02:00
96	01:45
98	01:15
100	01:00
102	00:45
104	00:35
105	00:30
106	00:25
108	00:20
110	00:15
112	00:10
114	00:08
115	00:07

2.6 Norma regulamentadora NR-15

No Brasil, a exposição ao ruído é regida por uma norma regulamentadora, a NR-15, que diz respeito ao que é considerado trabalho insalubre. A Tabela 2, acima representada, advém dessa norma. Quaisquer permanências acima dos limites estabelecidos por ela constituem trabalho insalubre.

De acordo com a NR-15, a medição de ruído deve ser feita com um instrumento de medição de pressão sonora, o resultado apresentado em dB e corrigido de acordo com a escala A, sendo as amostras tomadas em circuito de resposta lenta (SLOW) e próximas à posição na qual o ouvido do operador normalmente fica, durante a operação.

Caso o nível de ruído encontrado não seja precisamente um dos níveis apresentados na tabela, deve ser tomado o nível imediatamente mais elevado como referência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para esse estudo foi utilizado um equipamento de medição, um equipamento para calibração, um programa de análise, conforme descritos abaixo:

- Svan 953 Svantek, Analisador de espectro de ruído em tempo real tipo 2, S/N: 15969, com filtro de bandas de oitavas e nível de pressão sonora equivalente. Calibrado em 26 de maio de 2010;
- CAL 150 Larson Davis, Calibrador tipo 2, S/N: 2939, com pulsos de 94 e 114dB a 1000Hz, calibrado em 19 de junho de 2010;
- SvanPc+ Svantek, Software de análise V. 1.0.14^a de 05 de junho de 2009 equivalente ao analisador de espectro.

Como objeto de estudo foram utilizados 4 tratores disponibilizados pelo colaborador do projeto. Tratores da marca Massey Ferguson detalhados abaixo:

- 7140 com motor NWM de 6 cilindros, de 2011, com 190 horas de trabalho



Figura 7 – Trator Massey Ferguson modelo 7140

- 4283 com motor NWM de 4 cilindros, de 2011, com 190 horas de trabalho



Figura 8 – Trator Massey Ferguson modelo 4283

- 283 com motor Perkins de 4 cilindros, de 2006, com 3170 horas de trabalho



Figura 9 – Trator Massey Ferguson modelo 283

- 283 com motor Perkins de 4 cilindros e turbina Massey Ferguson, de 2005, com 3360 horas de trabalho



Figura 10 – Trator Massey Ferguson modelo 283 Turbinado

3.2 Método

O método consiste em fazer a aquisição de dados no ponto de interesse dos modelos de tratores apresentados. As medições foram feitas em local aberto e plano, conforme mostra a Figura 11, para que corpos estranhos não gerem anomalias nas aquisições e para que as medições em movimento tenham um regime permanente o mais estável possível.

A aquisição de dados foi feita durante dois minutos com uma taxa de amostragem de 0,1 segundo. O equipamento será configurado com resposta lenta e curva de compensação A. De acordo com a norma Code 5.

O ponto de interesse é a região onde a cabeça do tratorista permanece durante a operação do maquinário, conforme aconselha a norma Code 5. O equipamento foi fixado por meio de um tripé e regulado para que o microfone fique na região de interesse, conforme na Figura 12



Figura 11 – Local de realização dos ensaios



Figura 12 – Fixação do equipamento de análise nos tratores

Com os dados adquiridos *in loco* será feito o tratamento.

Foram obtidos dados no ponto de interesse em NPS e Leq (nível de pressão sonora equivalente), de modo a ser confrontado com a norma NR-15. Posteriormente será realizada a caracterização dos pontos em bandas de oitava para análise comparativa.

Calibrações periódicas foram feitas no equipamento para que os dados obtidos pudessem ser tidos como confiáveis

A diretiva acima foi repetida com o trator em regime estacionário, movimento sem carga e movimento com carga. Os resultados obtidos em diferentes regimes de trabalho para um mesmo trator serão comparados. Haverá, também, comparação entre regimes de trabalho idênticos para os diferentes modelos de tratores.

A carga aplicada foi definida como sendo um processo de rotina, indicado pelo colaborador. O trator foi conectado a um arado, mostrado na Figura 13, e, por sua vez, deslocado, revolvendo a terra. O procedimento foi repetido de forma idêntica para cada trator.



Figura 13 – Arado utilizado no processo de medição em movimento com carga

3.3 Justificativa da metodologia

O trabalho foi realizado de modo a possibilitar comparações entre estudos análogos, portanto deve-se seguir um padrão normatizado para que haja essa possibilidade. Com a repetibilidade e o padrão adotados a base de dados gerada pelo presente projeto pode ser confrontada com outros resultados oriundos de estudos análogos, validando esse com a base internacional ou nacional.

A metodologia utilizada é baseada na norma CODE 5 desenvolvida pela OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), por ser de fácil acesso e ser baseada nas normas ISO 5131:1982 e ISO 7216:1992, medição de ruído em tratores em regime estacionário e em movimento, respectivamente, e, portanto, a metodologia se baseia na normatização ISO para análise acústica em tratores. Essa norma é largamente utilizada em estudos de medições acústicas em tratores tanto em regime estacionário bem como em movimento.

4 RESULTADOS

4.1 Nível de ruído total

A Figura 14 apresenta os níveis de ruído segundo normas nacionais, para saúde ocupacional. O trator de modelo 7140, de maior potência, apresenta os menores níveis de ruído. Os outros tratores, de potências semelhantes, apresentam níveis de ruído semelhantes, muito embora haja diferença de idade entre o trator 4283 e os demais, e diferença na presença da turbina, entre 283 e 283T, sem e com turbina, respectivamente.

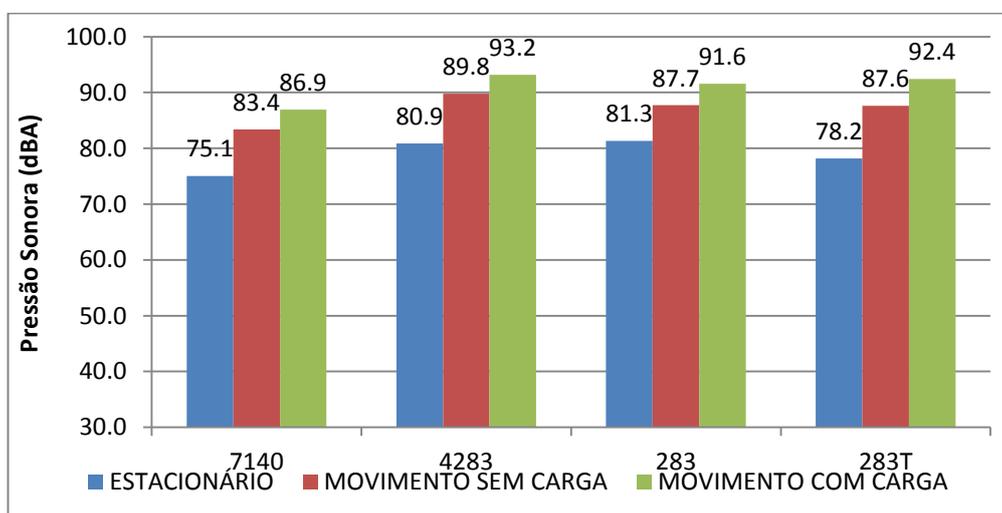


Figura 14 – Níveis de ruídos totais de cada trator para diferentes regimes de trabalho

Como os modelos 4283 e 283 não são exatamente iguais, não se pode precisar a relação da idade através da comparação direta dos gráficos, muito embora a diferença fique bastante clara com a medição no domínio do tempo, apresentada no Apêndice B, na estabilidade do ruído gerado.

A turbina gerou algum aumento no ruído em regime de trabalho, em relação ao trator 283 sem turbina, provavelmente proveniente do aumento de potência, enquanto, para o regime estacionário houve diminuição, possivelmente relacionado à redução de energia nos gases de escape.

4.2 Espectros de ruídos

- Modelo 7140

Gráfico da média das amostras em relação a frequências de bandas de oitavas para os 3 regimes:

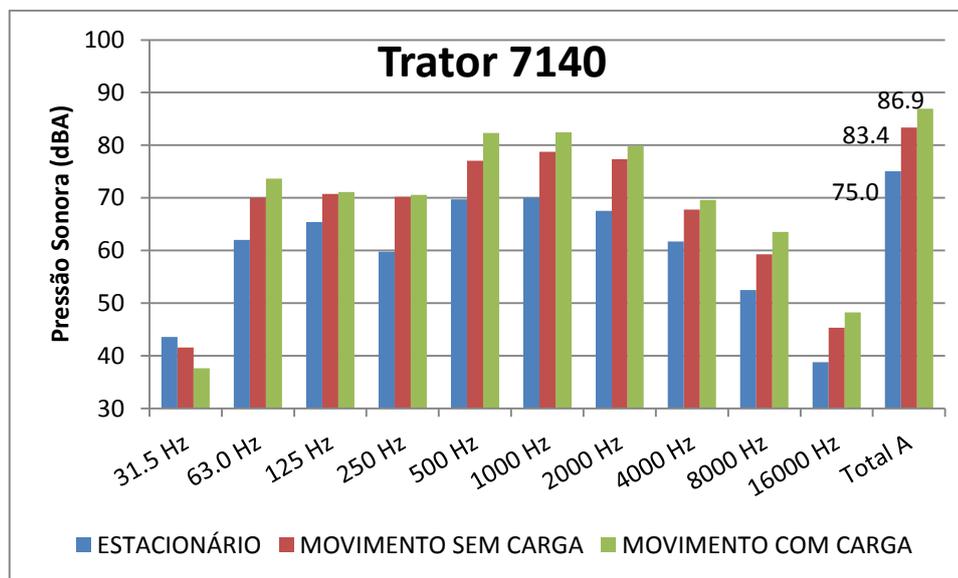


Figura 15 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 7140

Sobrepondo o gráfico da Figura 15 com o da Figura 6 – Compensação de ruído para os métodos A, B, C e D de compensação em função da frequência (GERGES, 2000), vê-se uma contribuição das frequências de 63Hz e 125Hz diferenciada, o que caracteriza esse ruído como possuidor de tons mais graves, característicos de um trator.

Pode-se observar, claramente, que, conforme aumenta a solicitação de trabalho, o espectro tende a ficar mais agudo. Isso é evidenciado pela diminuição da amplitude na frequência de 31,5Hz, juntamente com o aumento bem definido das frequências acima de 500Hz, provavelmente devido ao aumento da rotação do motor.

- Modelo 4283

Gráfico da média das amostras em relação a frequências de bandas de oitavas para os 3 regimes:

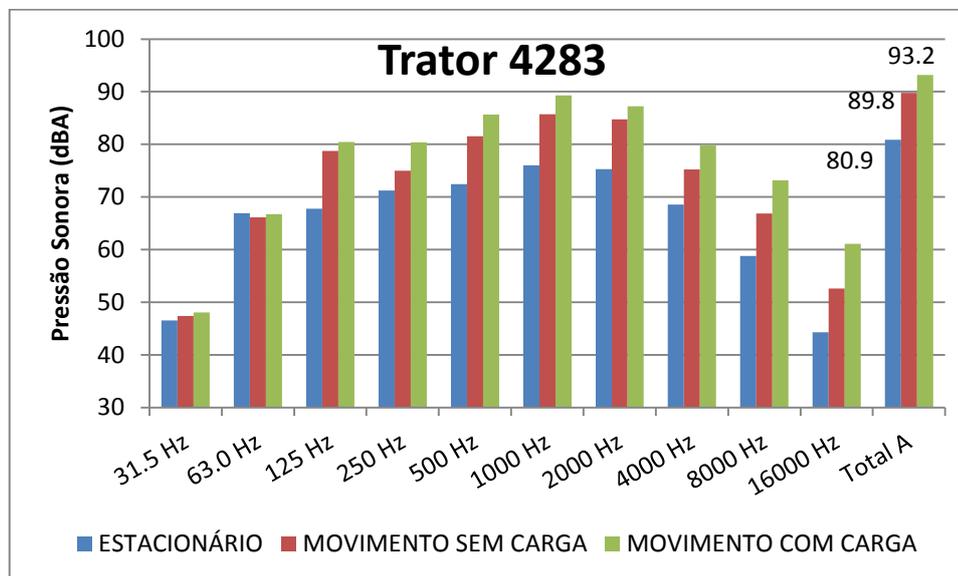


Figura 16 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 4283

Assim como no modelo anterior, vemos uma contribuição diferenciada das frequências baixas caracterizando o ruído como sendo predominantemente grave. A tendência de o ruído se tornar mais agudo conforme o aumento da solicitação devido ao regime de funcionamento também é vista nas frequências acima de 500Hz.

Pode-se notar que as amplitudes desse modelo são ligeiramente maiores por se tratar de um trator menos potente, os regimes em movimento geram uma solicitação maior para a realização da mesma função.

- Modelo 283

Gráfico da média das amostras em relação a frequências de bandas de oitavas para os 3 regimes:

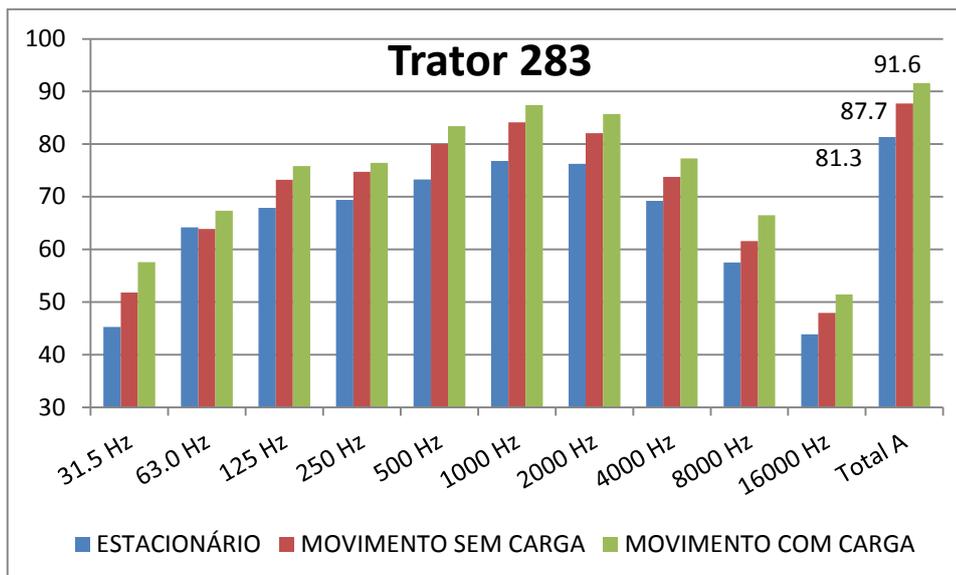


Figura 17 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 283

As tendências evidenciadas nos modelos de tratores anteriores são encontradas nesse também, mas mais semelhante ao modelo anterior que possui mesmo porte.

Entretanto nos gráficos de amplitude por tempo, apresentadas nas Figura 30, Figura 31 e Figura 32, presentes no anexo B, possuem uma dispersão maior, possivelmente provocada pelo tempo de uso, muito maior que os modelos 7140 e 4283.

- Modelo 283 turbinado

Gráfico da média das amostras em relação a frequências de bandas de oitavas para os 3 regimes:

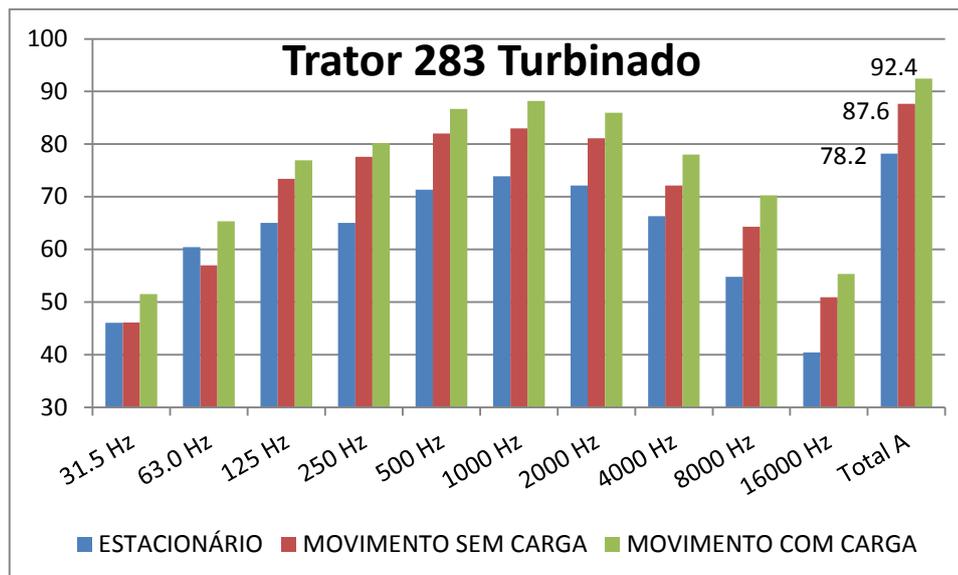


Figura 18 – Comparação dos três regimes para o trator modelo 283 turbinado

Semelhante aos modelos anteriores o aumento das frequências acima de 500Hz também acontece, porém sensivelmente maior. Esse aumento expressivo, acontece devido a presença do turbo compressor que trabalha em altíssimas rotações se comparado com o motor do trator. Ao comparar o gráfico da Figura 18 com a Figura 6 percebemos que as proporções são bastante parecidas, corroborando a análise anterior.

No gráfico de amplitude por tempo em movimento com carga apresentado na Figura 35, presente no anexo B, observa-se dois pontos específicos onde vemos uma abrupta mudança na amplitude de valores em todas as frequências. Esse fenômeno foi causado por duas intervenções do operador, pois o trator teve dificuldades em realizar o trabalho.

Apesar da intervenção do tratorista o espectro gerado possui resultados bastante coerentes com os modelos 4283 e 283 de porte similar.

- Comparação dos tratores diferentes sob o mesmo regime

No gráfico, da Figura 19, pode-se perceber que, quando não solicitado, todos os modelos possuem espectro bastante parecido. Com exceção do modelo 7140, possivelmente por causa de seu porte.

Regime estacionário:

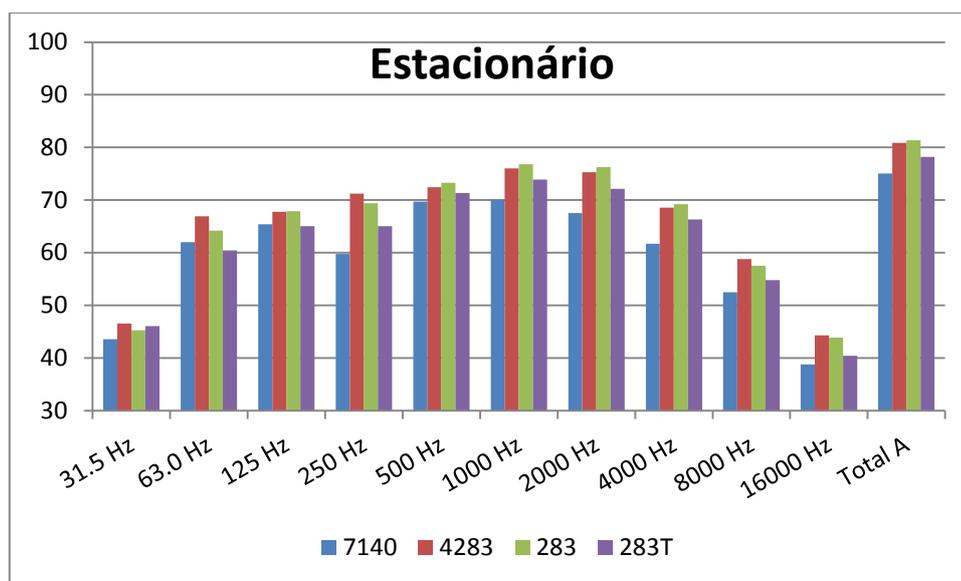


Figura 19 – Comparação de modelos de tratores diferentes para o regime estacionário

Movimento sem carga:

Pode-se ver, na figura 20, um aumento da contribuição das frequências agudas nesse espectro, causada pelo aumento da rotação dos motores para entrar em movimento.

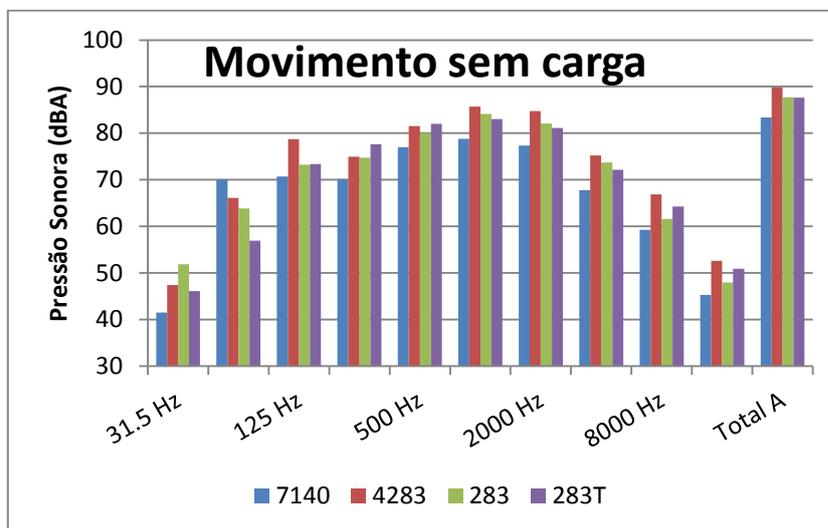


Figura 20 – Comparação de diferentes modelos de tratores para o movimento sem carga
Movimento com carga:

Na figura 21, comparativo do movimento com carga, pode-se observar uma grande diferença entre os modelos com motor de 4 cilindros e o de 6 cilindros. O motor de 6 cilindros possui uma contribuição mais expressiva de frequências mais baixas ao contrário dos modelos menores, uma característica bem específica do modelo 7140.

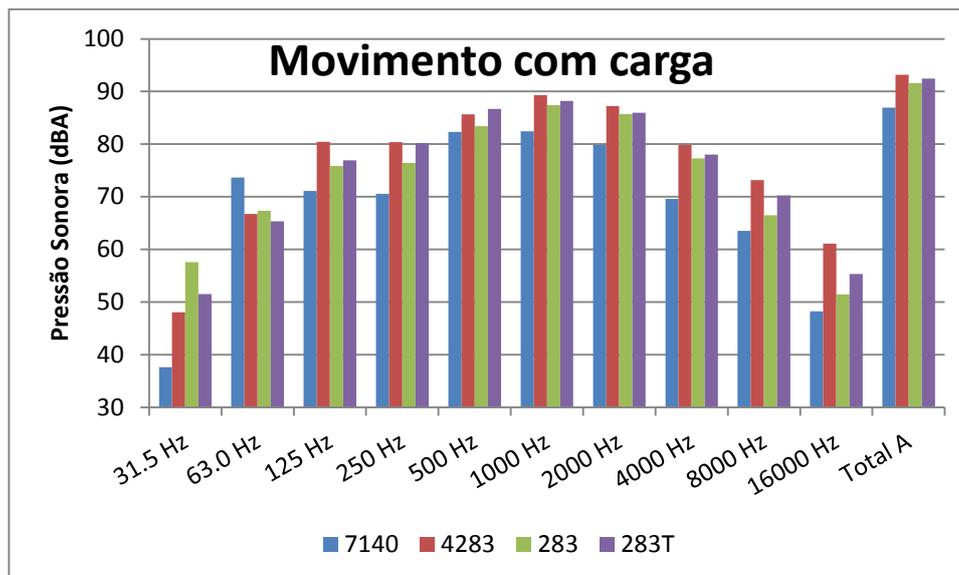


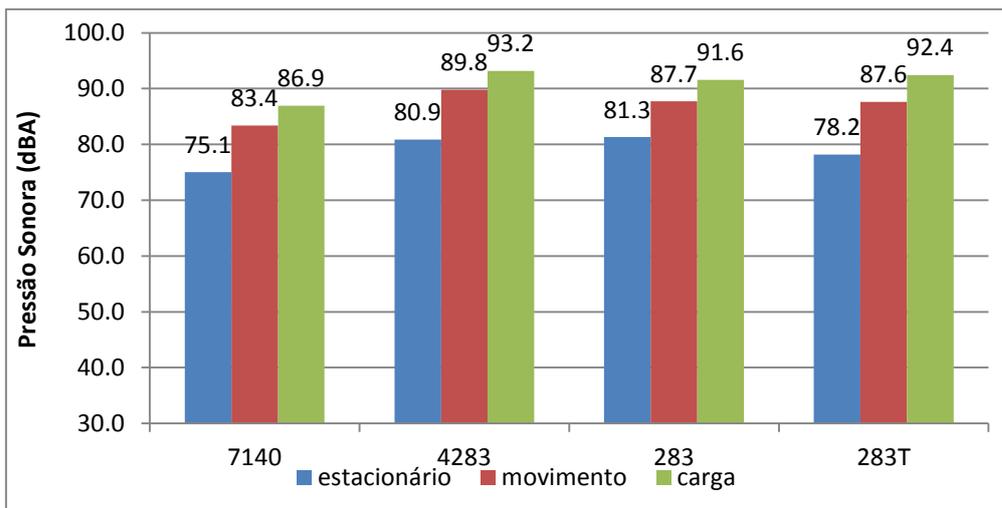
Figura 21 - Comparação de modelos de tratores diferentes para o movimento com carga

Comparando somente os modelos 283 e 283 turbinado fica clara a influência do turbo nas frequências maiores causada pela alta rotação do tubo compressor.

4.3 Comparação com a norma NR-15

De acordo com a norma NR-15, qualquer ruído acima de 85dB(A) possui restrição de tempo de exposição diária.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra que, para os tratores estudados, com exceção do modelo 7140, os valores estão acima desse limite, para os regimes em movimento. Isso os caracteriza como fontes ruidosas e, possivelmente, danosas ao ouvido humano.



Erro! Fonte

de referência não encontrada.

- Modelo 7140

Comparando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com a Tabela 2 – Tempo de exposição máxima diária em função da amplitude (NR-15, 1978), constata-se que o trator em regime estacionário e em movimento sem carga não é restringido pela NR-15, o que não acontece com o trator em movimento com carga, restrito a um uso máximo de 6 horas diárias.

- Modelo 4283

Comparando os níveis obtidos da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** com a Tabela 2, vê-se que diferentemente do modelo anterior somente o regime estacionário não possui restrições para exposição. Em movimento sem carga seria limitado a 4 horas e, quando em regime carregado, a somente 2:15 horas de exposição.

Esse resultado pode ser reflexo da utilização de um motor menor se comparado ao trator de modelo 7140, o maior dos tratores avaliado, desse modo o equipamento é mais exigido e torna-se mais ruidoso e conseqüentemente mais danoso ao tratorista.

- Modelo 283

De acordo com a Tabela 2, assim como no modelo anterior somente o regime estacionário não é restringido pela norma NR-15. Em movimento sem carga esse modelo permite o uso diário por operador de 5 horas, reduzido para 3 horas quando em movimento com carga.

- Modelo 283 turbinado

Visto a Tabela 2, sob as condições de ensaio apresentadas, o trator em regime estacionário não possui restrições com relação a tempo de exposição, diferentemente de movimento sem carga com exposição máxima de 5 horas e 2:30 horas para movimento com carga.

Tendo em vista os valores de tempo exposição acima mostrados, uma jornada de trabalho completa não é possível. Entretanto com a utilização de um elemento atenuante, como uma cabine, mostrada na Figura 22 ou um EPI mostrado na Figura 23, esse tempo pode ser estendido mediante avaliação.

Caso as exigências de tempo ou de utilização de elementos atenuadores não seja atendidas e o tratorista tenha comprovado algum dano a sua saúde, esse pode pleitear uma indenização.



Figura 22 – Trator cabinado Massey Ferguson

Fonte: <http://www.massey.com.br/portugues/espProdutos.asp?idproduto=547&serie=5>



Figura 23 – Protetores de ouvido tipo concha e intra auricular

Fonte: <http://www.epibrasil.com.br/epibrasil/protecao-auditiva>

5 CONCLUSÕES

O trabalho aqui apresentado sofreu algumas alterações desde a proposta inicial. A maior dessas alterações foi devida a uma substituição de colaborador, uma vez que um entrave burocrático, fez com que um fabricante de tratores removesse o apoio ao projeto. A situação foi contornada por conta de um segundo colaborador, amigo dos idealizadores do projeto, que disponibilizou os tratores, campo e horas-máquina.

Os experimentos realizados nesse trabalho demonstram que os tratores são, de fato, fontes ruidosas. Durante o regime de trabalho, o ruído gerado atinge seu maior valor, caracterizando o trator como um elemento potencialmente prejudicial à saúde do operador.

Os espectros de ruído obtidos demonstram que as frequências predominantes do ruído são as intermediárias, justamente as mais danosas ao ouvido humano. Esse resultado caracteriza o ruído gerado pelo trator como um ruído passível de gerar perdas auditivas nas frequências correspondentes ao espectro de fala humano.

A norma brasileira NR-15, de saúde ocupacional prevê que o tratorista deva ficar exposto ao ruído do trator por um tempo limitado, ou então, utilizar-se de algum equipamento de proteção individual, ou o uso de uma cabine. Caso uma dessas exigências não seja atendida, a lei define que o regime de trabalho além do limite normatizado, sem o uso de EPI, gera um passivo trabalhista, permitindo ao funcionário pleitear uma indenização junto às varas trabalhistas, caso algum dano auditivo seja constatado.

O projeto abre a possibilidade da geração de um estudo sobre a eficiência dos EPIs sobre o tratorista, podendo-se usar o presente trabalho como base de dados. Há, também, a possibilidade de realizar-se um trabalho comparando tratores sem cabine com aqueles com cabine, em termos de atenuação de ruído.

No que tange a realização de trabalhos futuros, os dois maiores entraves são a obtenção dos objetos de teste e equipamentos de medição. A busca por referências

internacionais é necessária, uma vez que há muito pouco sobre a área de acústica em publicações nacionais.

REFERÊNCIAS

BIES, D.A.; HANSEN, C.H. **Engineering Noise Control** Londres: University of Adelaide, 1996, 615p

BRÜEL; KJAER, **Noise Control. Principles and Practise**. Dinamarca, editor Brüel e Kjaer, 4ª edição, 1986, 279

CELEN, I.H.; ARIN S. **Noise Levels of Agricultural Tractors**, Tekirdag, Turkey, 2003, 6p

EVEREST, A.F. **The Master Handbook of Acoustics**, United States, McGraw Hill, 2001, 641p

FERNANDES, JOÃO C. **Acústica e Ruídos**, Apostila, Unesp – Campus de Bauru SP, 2009, p95

FERREIRA ,PAOLA D. **Análise de desempenhos acústico de vidros de diferentes tipos e combinações, em ambiente controlado, em banda de 1/1 oitava de frequência**, PUCPR – Curitiba, 2010 85p Dissertação de Mestrado

GERGES, S.N.Y. **Ruído Fundamentos e Controle**, Universidade Federal de Santa Catarina, NR Editora, 2ª edição 2000, 676p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Genève. **ISO 5131 Acoustics – Tractors and machinery for agriculture and forestry – Measurement of noise at the operator´s position – Survey Method**, 1982, 8p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Genève. **ISO 7216 Acoustics – Agricultural and forestry wheeled tractors and self propelled machines – Measurement of noise emitted when in motion**, 1992, 8p

KNOBLOCH, M. J.; BROSTE, S. K. Winsconsin Estados Unidos, **A Hearing Conservation Program for Winsconsin Youth Working in Agriculture**; Journal of School Health, V. 68, ed 8, 1998, p313 – 319

LARSON DAVIS; **CAL 150 User manual**, Larson Davis Utah, Larson Davis, 2006, 14p

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociências**, São Paulo: Editora Atheneu, 2004, 698p

MORAES M.A.F.D., **Indicadores do Mercado de Trabalho do Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar do Brasil no Período 1992-2005**, Est. econ., São Paulo, v. 37, n. 4, p. 875-902, outubro-dezembro, USP 2007

Ministério do Trabalho, **NR-15 Limite de tolerância. Portaria 3214**, Brasília, 08 de junho de 1978

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) **OECD Standard Code for the Official Measurement of Noise at the Driving Position on Agricultural and Forestry Tractors: CODE 5**. Paris França, fevereiro de 2011

VASEHI S. V. **Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction**, Brunel University UK, 2nd ed., 2000, 473p

SILVEIRA, J.C.M.; FERNANDES, H.C.; RINALDI, P.C.N.; MODOLO, A.J., **Níveis de ruído em função do raio de afastamento emitido por diferentes equipamentos em uma oficina agrícola**, Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.15, n.1, p 66-74, Jan./Mar., 2007

SÜMER S.K.; SAY S.M.; EGE F.; SABANCI A. **Noise exposed of the operators of combine harvesters with and without a cab**, Applied Ergonomics 37, 2006, 749-756p

SVANTEK **Svan 953 User manual**, Svantek Warsaw, Svantek, 2007, 258p

SVANTEK **Svan PC+ User manual**, Svantek Warsaw, Svantek, 2007, 67p

APÊNDICE A – CRONOGRAMA

Tabela 3 – Cronograma proposto do projeto

Atividades	Quinzena																											
	J1	J2	F 1	F 2	M 1	M 2	A 1	A 2	M 1	M 2	J1	J2	J1	J2	A 1	A 2	S 1	S 2	O 1	O 2	N 1	N 2	D 1	D 2				
Definição do tema e orientador				X																								
Reuniões com o orientador			X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Revisão e conhecimento de obras sobre acústica			X	X	X																							
Revisão de normas técnicas para realização de experimentos						X	X																					
Revisão e conhecimento de artigos científicos sobre análise de ruído em tratores						X	X	X																				
Reuniões com o colaborador do projeto					X					X																		
Estruturação da proposta					X																							
Entrega da proposta ao orientador para correções						X																						
Entrega da Proposta						X																						
Apresentação da Proposta							X																					
Correção da Proposta								X																				
Entrega da Proposta Corrigida									X																			
Entrega da monografia parcial										X																		
Defesa											X																	
Entrega da versão final da monografia parcial e cronograma atualizado															X													
Reunião com colaboradores															X													
Aquisição de dados dos tratores															X	X	X											
Tratamento e análise dos resultados																	X	X	X									
Entrega da monografia ao orientador para revisão																					X							
Entrega da monografia																					X							
Defesa																						X						
Correções e ajustes finais																							X	X				
Entrega da versão final da monografia																									X			

APÊNDICE B – GRÁFICOS DAS MEDIÇÕES NO DOMÍNIO DO TEMPO

Modelo 7140

Gráficos das amostras em relação ao tempo para os 3 regimes.

Estacionário:

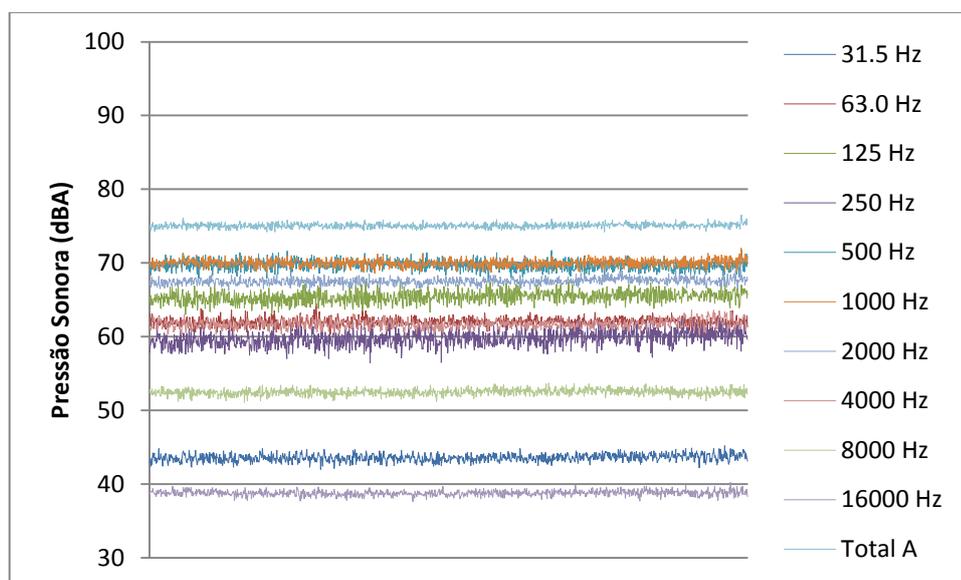


Figura 24 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 7140
Movimento sem carga:

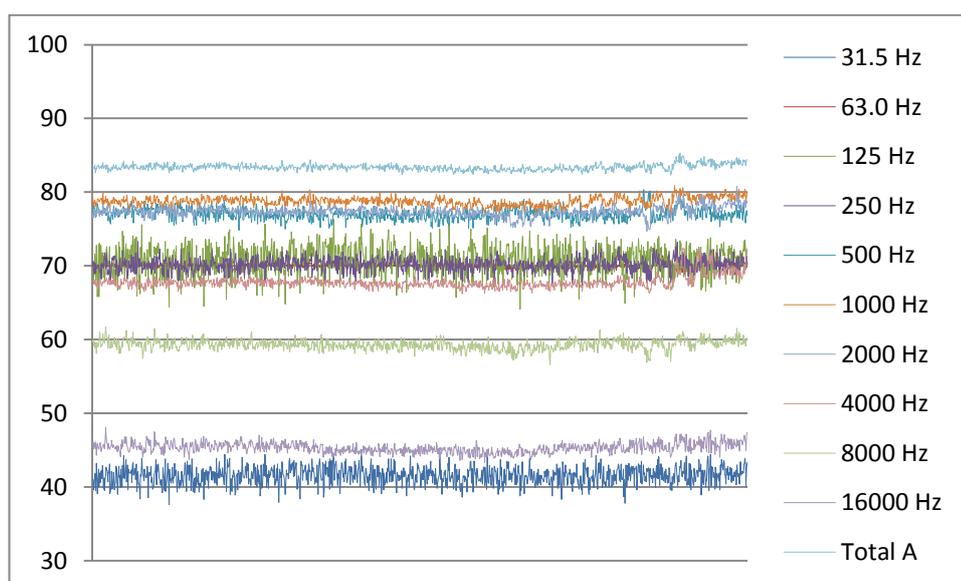


Figura 25 – níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 7140

Movimento com carga:

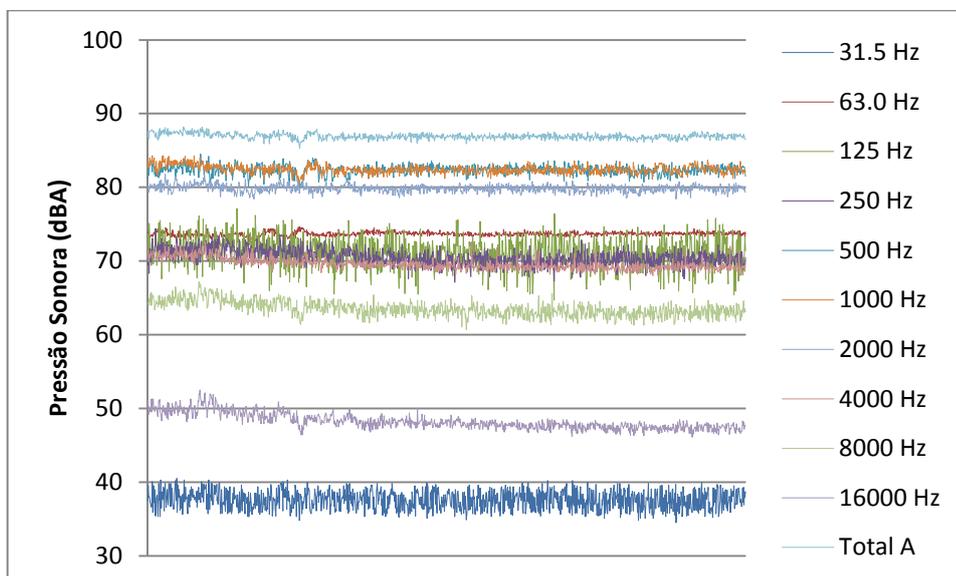


Figura 26 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 7140

- Modelo 4283

Gráficos das amostras em relação ao tempo para os 3 regimes.

Estacionário:

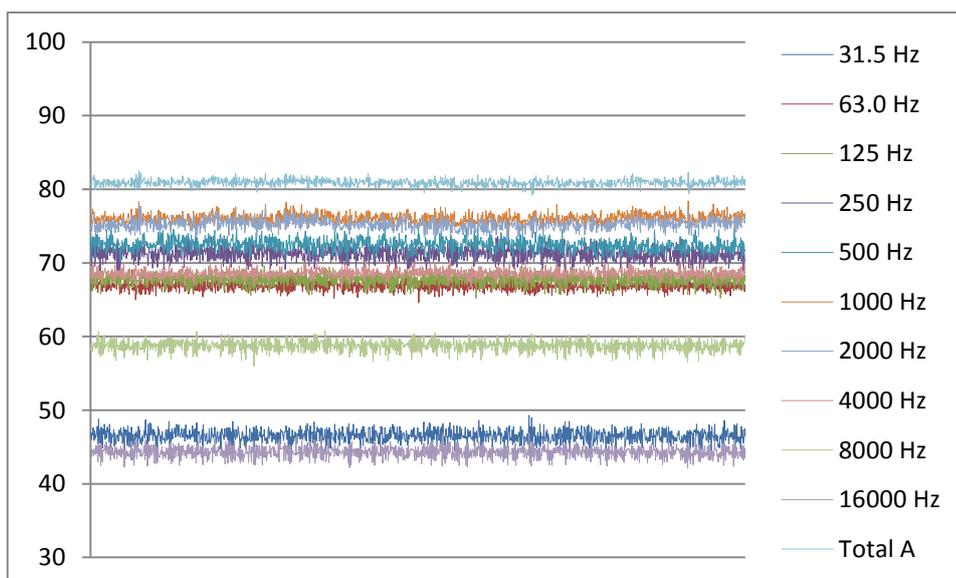


Figura 27 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 4283

Movimento sem carga:

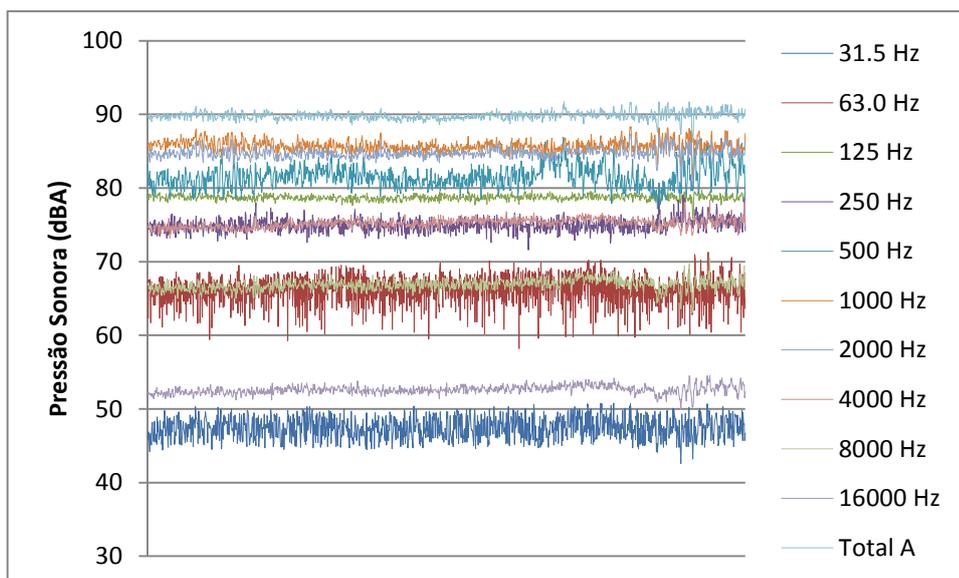


Figura 28 – Níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 4283

Movimento com carga:

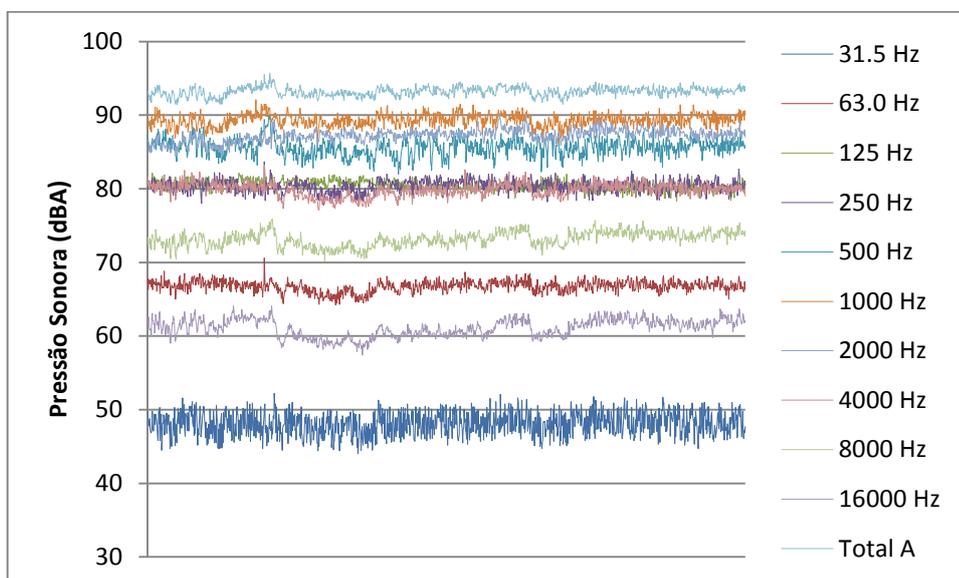


Figura 29 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 4283

- Modelo 283

Gráficos das amostras em relação ao tempo para os 3 regimes.

Estacionário:

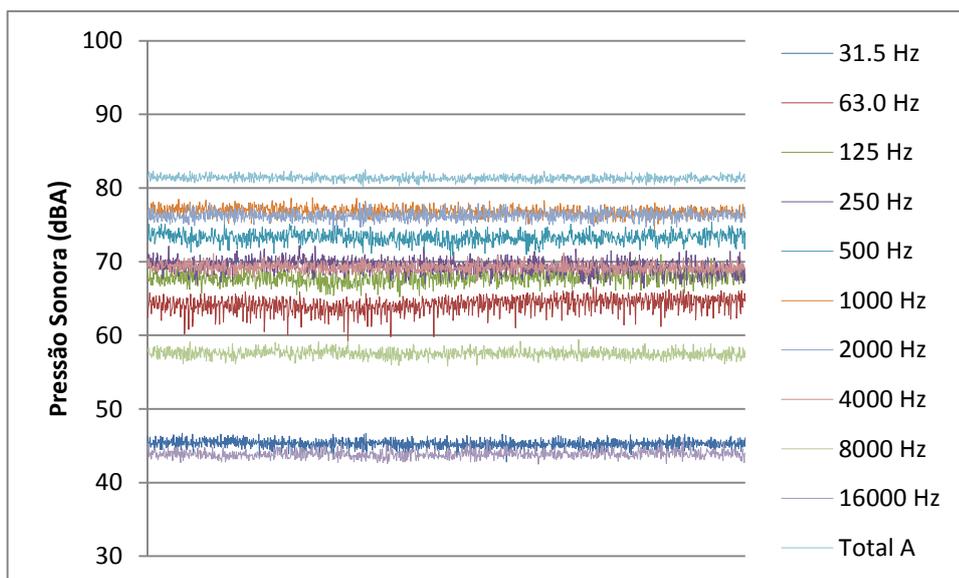


Figura 30 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 283

Movimento sem carga:

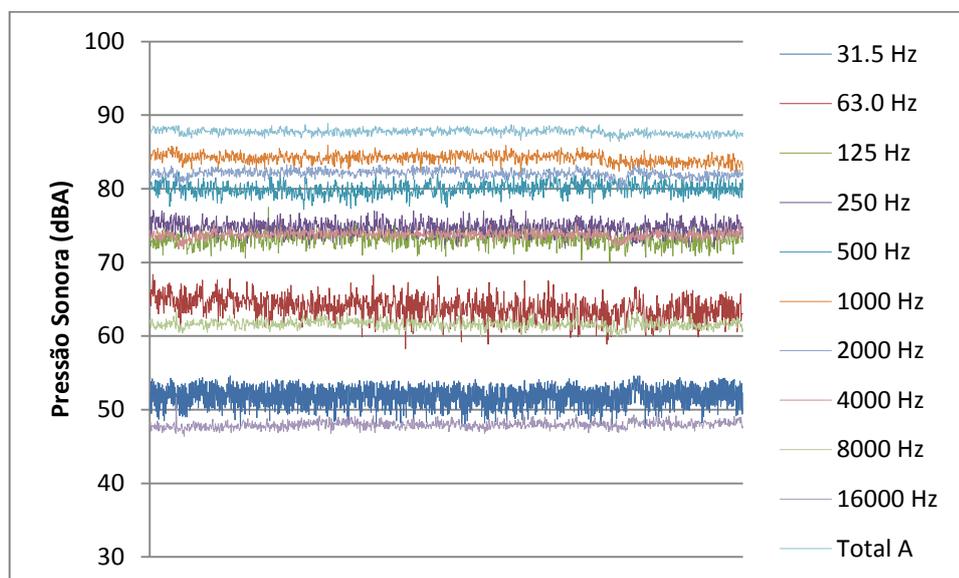


Figura 31 – Níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 283

Movimento com carga:

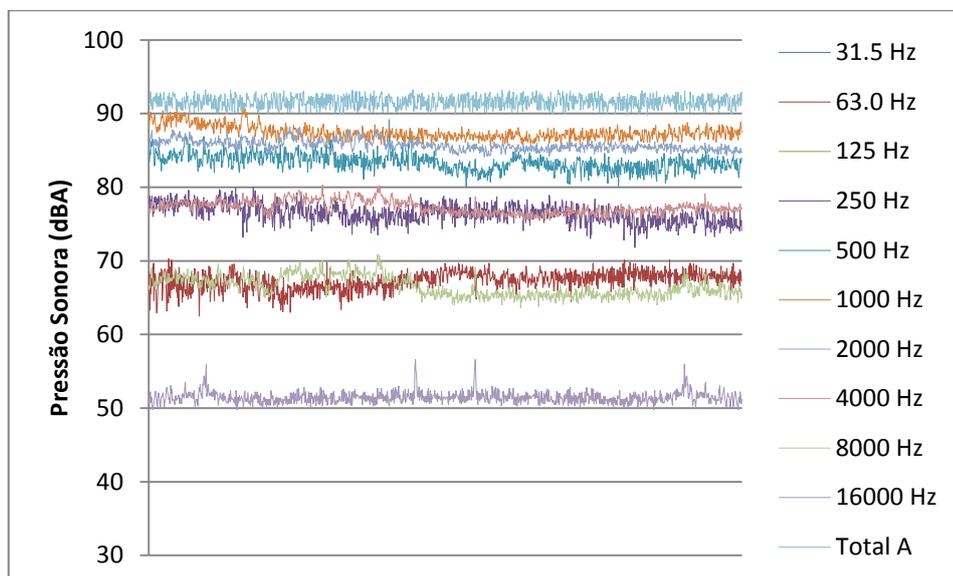


Figura 32 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 283

- Modelo 283 turbinado

Gráficos das amostras em relação ao tempo para os 3 regimes.

Estacionário:

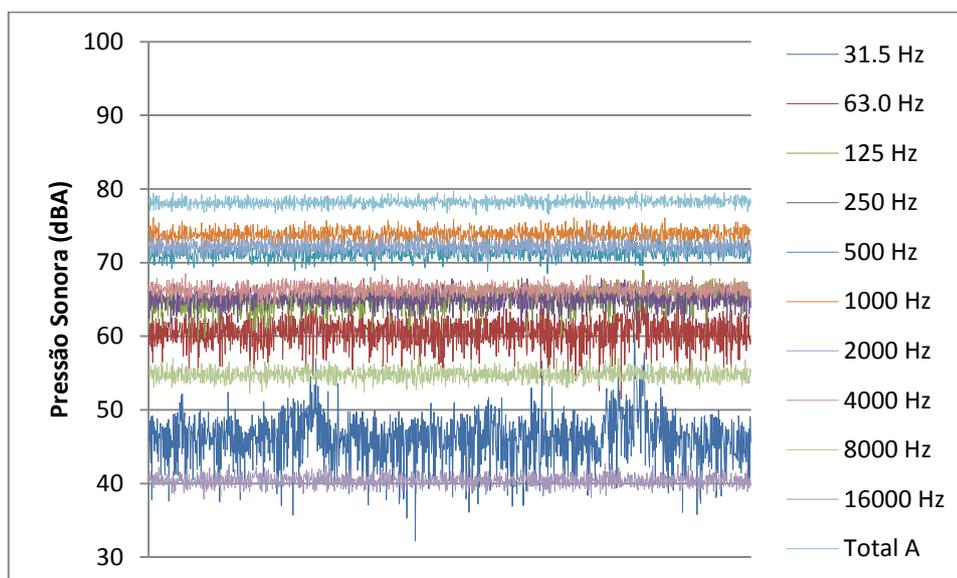


Figura 33 – Níveis de ruído em regime estacionário do trator modelo 283 turbinado

Movimento sem carga:

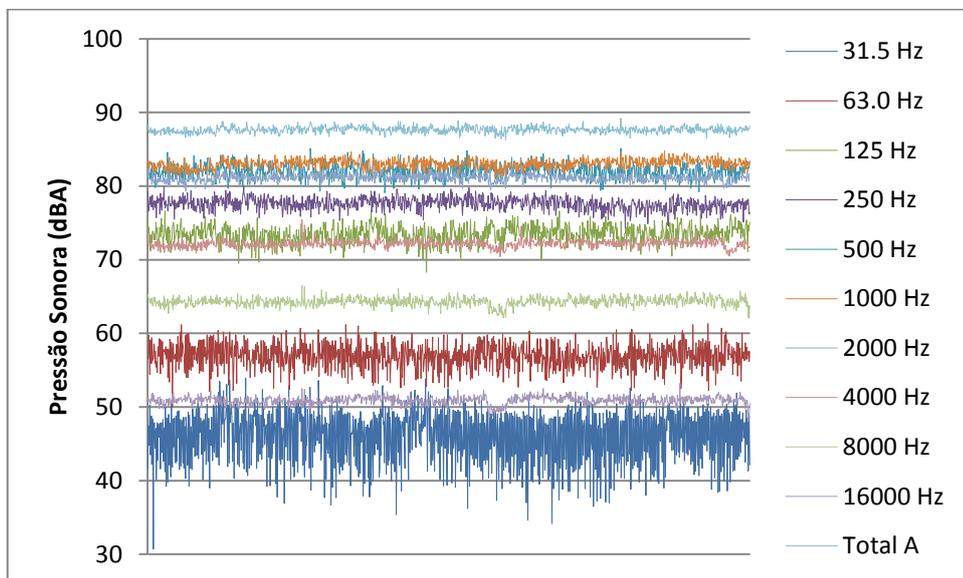


Figura 34 – Níveis de ruído em regime de movimento sem carga do trator modelo 283 turbinado

Movimento com carga:

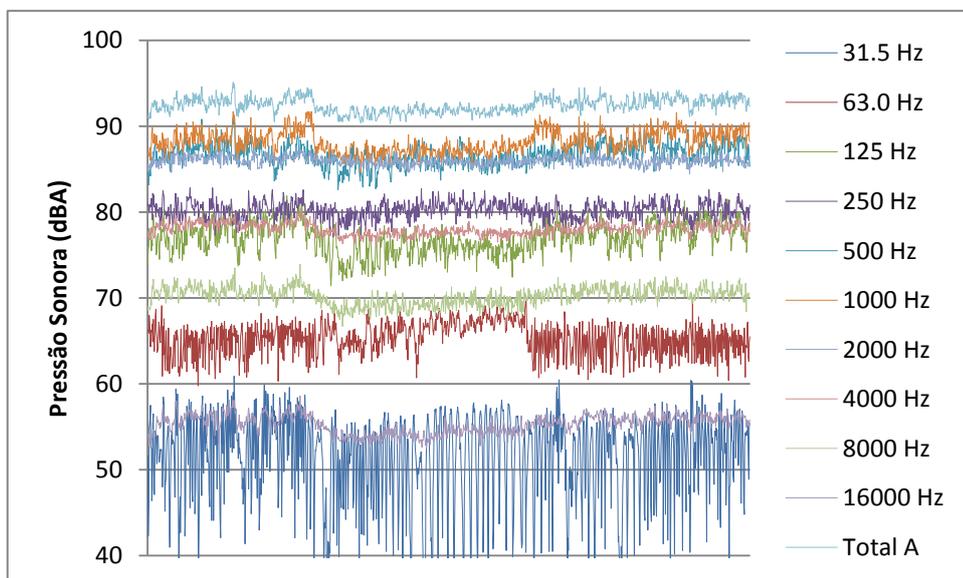


Figura 35 – Níveis de ruído em regime de movimento com carga do trator modelo 283 turbinado