

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

EDIPO HENRIQUE DA SILVA

**ANÁLISE DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO E
MÃOS E BRAÇOS EM EMPILHadeira INDUSTRIAL PARA
CRITÉRIOS DE JULGAMENTO PROFISSIONAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

LONDRINA/PR

2018

EDIPO HENRIQUE DA SILVA

**ANÁLISE DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO E
MÃOS E BRAÇOS EM EMPILHADEIRA INDUSTRIAL PARA
CRITÉRIOS DE JULGAMENTO PROFISSIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina.

Orientador: Prof. Esp. Nilton Camargo Costa

LONDRINA/PR

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO E MÃOS E BRAÇOS EM EMPILHadeira INDUSTRIAL PARA CRITÉRIOS DE JULGAMENTO PROFISSIONAL

por

EDIPO HENRIQUE DA SILVA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização foi apresentado em 05 de Setembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Esp. Nilton Camargo Costa
Prof. Orientador

Prof. Me. José Luis Dalto
Membro titular

Prof. Dr. Marco Antônio Ferreira
Membro titular

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais que sempre me motivaram e apoiaram a continuar.

A minha esposa, Jessica Marques, que esteve sempre ao meu lado em todos os momentos.

Aos amigos que esse percurso proporcionou.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida e desse da conclusão desse ciclo que se iniciou há 10 anos na época do curso técnico em segurança do trabalho. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Nilton Costa Camargo pelo tempo dispendido na orientação desse trabalho e com seus conhecimentos na área de vibração ocupacional que foram sem dúvida, de grande aporte para a finalização desse trabalho.

Ao meu irmão Wilson Silva, que está sempre ao meu lado, orientando e me motivando a estudar cada vez mais a área de Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacional.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

A ASST Engenharia e Desenvolvimento por ter como parte de sua missão produzir conteúdo que agregue conhecimento e com o objetivo de multiplicar informações em sua área de atuação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

EPÍGRAFE

“O ouvido humano pode captar apenas o som de 16 mil a 20 mil vibrações por segundo. Quando a média das vibrações vai além do que chamamos “som”, começam essas vibrações a manifestar-se na forma de calor. O calor começa com cerca de 1.500.000 vibrações por segundo. Quando se eleva ainda mais, a escala de vibrações começa a registrar-se sob a forma de luz. Três milhões de vibrações por segundo criam uma luz violeta. Acima deste número, as vibrações produzem os raios ultravioletas (que são invisíveis a olho nu) e outras radiações invisíveis. E, ainda mais alto, na escala – num grau que não se conhece ainda, segundo parece – as vibrações criam a força que produz o pensamento humano”. (HILL, Napoleon, 1928)

RESUMO

SILVA, Edipo Henrique. **Análise de Vibração Ocupacional de Corpo Inteiro e Mãos e Braços em Empilhadeira Industrial Para Critérios de Julgamento Profissional**. 2018. 34. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

Os trabalhadores de indústrias estão constantemente expostos a riscos ocupacionais, que podem ser apresentados a eles em forma de agentes químicos com concentração acima do limite de tolerância, na forma de agentes biológicos que são ligados diretamente ao tempo de exposição e na forma de agentes físicos, que é avaliado de acordo com a sua intensidade. Todos os riscos, quando em exposição majorada, causam danos irreversíveis a saúde humana. A vibração ocupacional de corpo inteiro (VCI) e de mãos e braços (VMB) são riscos físicos que afetam o ser humano quando em contato com veículos na condução do mesmo, tal atividade é fonte geradora de vibração ocupacional complexa por pelo menos quatro pontos do corpo humano. Essas avaliações são realizadas de acordo com os parâmetros da ISO2631-1 e ISO5349 que são indicadas no Brasil pela NR-15 e pelas Normas de Higiene Ocupacional (NHO). O estudo envolveu dezesseis veículos do tipo empilhadeira de modelos diversos em piso industrial nivelado de concreto, sendo que as medições seguiram as metodologias da NHO-09 e NHO-10, sendo dessa maneira possível levantar quantitativamente os índices de vibração VMB e VCI e tabular dados, sendo que os parâmetros de índices coletados vêm a corroborar com o critério de julgamento profissional para medidor de vibração de único canal.

Palavras-chave: Vibração de corpo inteiro. Vibração de mãos e braços. Vibração ocupacional. Empilhadeira. Insalubridade. Vibração.

ABSTRACT

SILVA, Edipo Henrique. **Analysis of Occupational Vibration of Whole Body and Hands and Arms in Industrial Fork-lift for Professional Judgement Criteria.** 2018. 34. Monography (Specialization in Work Safety Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Londrina, 2018.

The workers of industries are constantly exposed to occupational risks, that they can be presented to them in chemical agents' form with concentration above the limit of tolerance, in the biological agents' form that are linked directly at the time of exhibition and in the physical agents' form, that is evaluated in agreement with his/her intensity. All of the risks, when in exhibition increased, they cause irreversible damages the human health. The occupational vibration of whole (VCI) body and of hands and arms (VMB) are physical risks that affect the human being when in contact with vehicles in the transport of the same, such activity is generating source of complex occupational vibration for at least four points of the human body. Those evaluations are accomplished in agreement with the parameters of ISO2631-1 and ISO5349 that are suitable in Brazil for NR-15 and for the Norms of Occupational (NHO) Hygiene. The study involved sixteen vehicles of the type forklift of several models in even industrial floor of concrete, and the measurements followed the methodologies of NHO-09 and NHO-10, being of that sorts out possible to lift the vibration indexes quantitatively VMB and VCI and to tabulate data, and the parameters of collected indexes come to corroborate with the criterion of professional judgement for meter of vibration of only channel.

Keywords: Vibration of whole body. Vibration of hands and arms. Occupational vibration. Forklift. Vibration.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de normas Técnicas
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
AREN	Aceleração Resultante de Exposição Normalizada
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LIP	Laudo de Insalubridade e Periculosidade
LT	Limite de Tolerância
LTCAT	Laudo Técnico de Condições do Ambiente de Trabalho
SST	Saúde e Segurança do Trabalho
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PCMSO	Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional
NHO	Normas de Higiene Ocupacional
NR	Norma Regulamentadora
NA	Nível de Ação
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VDVR	Valor da Dose de Vibração Resultante
VMB	Vibração de Mãos e Braços

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE HIGIENE OCUPACIONAL E INSALUBRIDADE .	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVO GERAL	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 FENÔMENO DA RESSONANCIA	17
2.2 NORMAS ISO 2631-1 (1997) – VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI)	20
2.2.1 Efeito da VCI Sobre o Corpo Humano	21
2.3 NORMAS ISO 5349 (2001) – VIBRAÇÃO DE MÃOS E BRAÇOS (VMB)	22
2.3.1 Efeito da VMB Sobre o Corpo Humano	22
2.4 CRITÉRIOS DE JULGAMENTO E TOMADA DE DECISÃO DE ACORDO COM AS NORMAS DE HIGIENE OCUPACIONAL	23
2.4.1 Critério de Julgamento de Tomada de Decisão da NHO 09	24
2.4.2 Critério de Julgamento de Tomada de Decisão da NHO 10	24
3 DESENVOLVIMENTO	25
3.1 METODOLOGIA	25
3.1.1 Caracterização do Equipamento Avaliado	26
3.1.2 Caracterização do Pavimento de Rolagem	27
3.2 ACELERÔMETROS DE VIBRAÇÃO	28
3.2.1 Acelerômetro Aplicado Nesse Trabalho	28
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	29
4 CONCLUSÃO	34
4.1 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O conceito de risco, apesar de parecer simples, é quase sempre distorcido e entendido apenas como perigo imediato, rápido e próximo. Esse tipo de entendimento faz com que riscos mais complexos e não visíveis sejam por vezes ignorados e não avaliados com o devido cuidado. Para os profissionais de segurança do trabalho, esse conceito tem um sentido mais amplo, pois a gama variada de riscos que envolvem os métodos laborais atualmente adotados são alvos de estudos constantes em suas disciplinas, cruzando as informações técnicas com as legislações específicas.

A vibração ocupacional pode ser considerada como agente de risco complexo e que passa despercebido em muitos documentos que deveriam identificar e prever esse agente, como por exemplo, o PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais), LCI (Laudo de Caracterização de Insalubridade) e o LTCAT (Laudo Técnico de Condições do Ambiente de trabalho). Muitos fatores contribuem para que esse agente não seja quantificado de maneira adequada, como a falta de profissionais com conhecimento técnico para realização da medição, alto custo da aparelhagem de análise de vibração e a cultura de aquisição de documentação com qualidade inferior ao nível de complexidade exigido.

1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE HIGIENE OCUPACIONAL E INSALUBRIDADE

Durante todo o nosso ciclo de vida, entre trabalho, lazer, obrigações e demais atividades do cotidiano, ficamos expostos a riscos dos mais diversos tipos, sendo eles visíveis ou não aos sentidos humanos. Embora todo ser humano possua instinto natural de auto preservação, ele nem sempre é capaz proteger-se daquilo que não se vê, sente, percebe ou tem conhecimento. Os riscos são mais acentuados dentro de nossas indústrias, independente do ramo de atuação, onde os processos fabris geram fatores de riscos sobre todos os envolvidos em sua cadeia produtiva.

De maneira mais simplória, podemos dizer que a Higiene Ocupacional (HO) é a ciência dedicada a identificar esses fatores, sendo capaz de se antecipar ao mesmo, reconhecendo, avaliando e controlando os riscos físicos, químicos e biológicos. A eliminação do risco quase nunca é possível. A esses riscos, dentro da HO, dá-se o nome de agentes ambientais.

Especificamente no Brasil, possuímos uma legislação que vai de frente a praticada pelo resto do mundo, pois assumimos que nossa indústria não será capaz de controlar os riscos em plena condição, sendo então fornecido aos trabalhadores expostos aos agentes ambientais um subsídio financeiro em troca do dano efetivo a sua saúde física. A essa monetização da saúde damos o nome de insalubridade.

De acordo com Tuffi Messias Saliba (2010), a palavra insalubre vem do latim e significa tudo aquilo que origina doença.

Em teoria, todo indivíduo exposto a agentes insalubres ficará doente, sendo o efeito de sua doença lenta, progressiva e irreversível. De acordo com a Norma Regulamentadora nº15 (NR-15) a insalubridade por vibração é enquadrada como sendo de grau médio, o que gera adicional de 20% sobre o salário base vigente.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido ao baixo índice de produção teórica nacional sobre o assunto, ocorre por vezes uma dificuldade de interpretação dos dados e também em relação à metodologia aplicada à prática da medição, a FUNDACENTRO, através de suas Normas de Higiene Ocupacional (NHO-09 e NHO-10) nos dita a metodologia de avaliação de vibração, sendo que a primeira no diz sobre vibração ocupacional de corpo inteiro e a segunda sobre vibração ocupacional de mãos e braços, não existe um manual unificado de prática de medição quando o avaliado possui mais de um ponto de vibração em contato com o seu corpo, esse tipo de avaliação, podemos caracterizar como complexa.

A função de motorista em veículos automotores com direção na posição sentada pode ser considerada como avaliação complexa, pois para esse tipo de função, o corpo humano recebe entradas de vibração por contato em pelo menos 3 pontos significativos conforme abaixo:

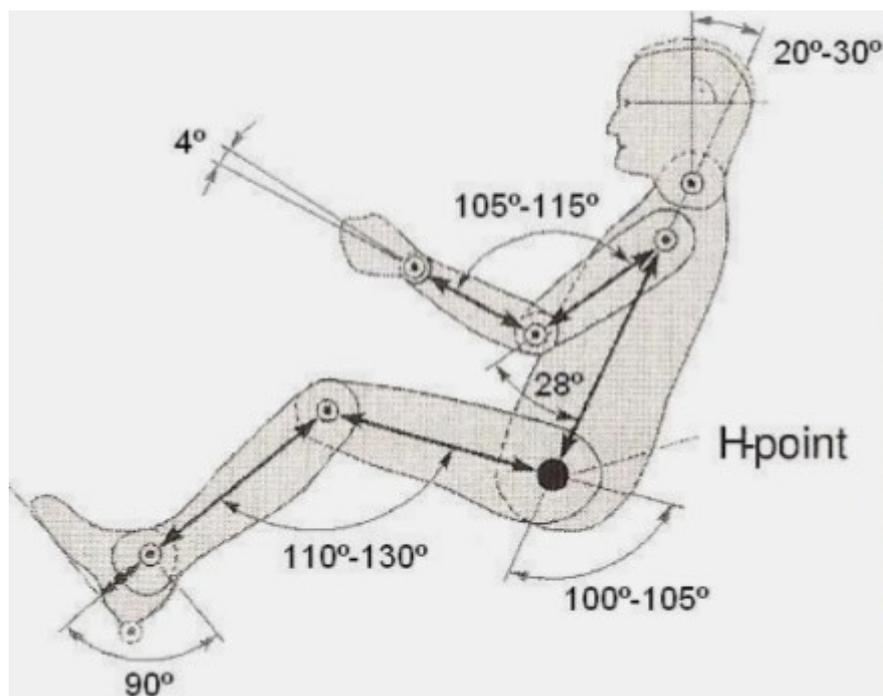


Figura 1 – Ergonomia de Direção
Fonte: IKA (1996)

As entradas de vibração no corpo humano na posição de motorista dão-se pelo excesso de contato que a posição com o veículo exige, sendo que os mais atingidos são a posição de VCI na localização das nádegas (no assento do veículo), na posição VCI na localização tronco (no encosto do assento do veículo) e também no VMB na localização das mãos e braços (no contato com o volante de direção do veículo). Há ainda poucos estudos referente vibração localizada nos membros inferior em contato com os pedais de movimentação e comando do veículo que, mesmo em repouso, gera vibração pelo assoalho do veículo ligado.

Por falta de metodologia tratando do assunto no sentido de comportamento de medição nas funções de vibração complexa, é senso comum entre os profissionais avaliarem, de maneira instintiva apenas a vibração de corpo inteiro, ignorando por vezes os demais locais de contato representativo com vibração como mãos e braços, acreditando que esses outros pontos possuam magnitude ocupacional insignificante.

Tal comportamento é potencializado pelo fato de muitos instrumentos em atividade possuírem apenas canal único de entrada de sensores, sendo que para avaliar uma função com dois pontos de entrada de vibração, seria necessário avaliar duas vezes em ciclos idênticos ou semelhantes.

1.3 OBJETIVO GERAL

Analisar os dados de medição de vibração ocupacional produzido pelo equipamento empilhadeira industrial movido a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) para realizar ponderações e parecer sobre os resultados.

Este trabalho pretende contribuir nos seguintes aspectos:

- I. Medição e avaliação dos níveis de vibração a que estão sujeitos trabalhadores na função de operador de empilhadeira;
- II. Gerar documentação técnica referente avaliação de vibração simultânea de corpo inteiro e mãos e braços em operadores de empilhadeira;
- III. Auxiliar no julgamento técnico de profissionais para tomada de decisão em avaliações quantitativas de vibração ocupacional quando há vibração tanto em mãos e braços quanto em corpo inteiro na mesma atividade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De todos os agentes ambientais, a vibração ocupacional é o assunto menos estudado e difundido entre os profissionais de saúde e segurança no trabalho. Tal situação pode ser encarada de maneira negativa, tendo em vista que por falta de subsídio técnico para consulta, há uma tendência de se coletar e tratar os dados com obtidos em medição com certo equívoco ou com interpretações distintas sobre um mesmo resultado.

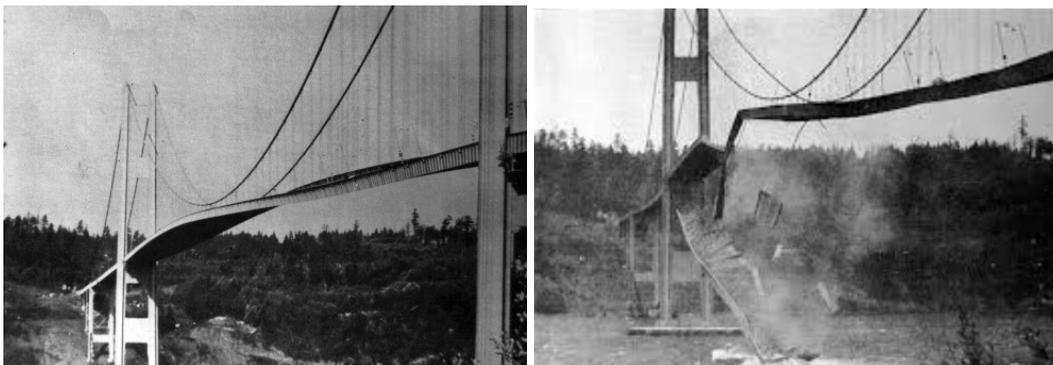
A vibração pode ser definida basicamente como um movimento oscilatório de um corpo em relação a um ponto fixo de referência, ou seja, podemos caracterizar como situação passível de ocorrer vibração tudo aquilo que possui acoplamento entre uma superfície e outra, como por exemplo, uma mão segurando fixamente um martetele pneumático.

A vibração ocupacional é tratada de maneira sucinta nas normas regulamentadoras de segurança, sendo que o Anexo 08 da NR-15 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) trás apenas os limites de exposição para mão e braços (VMB) e para corpo inteiro (VCI). Como a norma não dá os parâmetros de análise em seu anexo, ela faz referência direta às normas internacionais ISO 2631-1 e ISO 5349.

2.1 FENÔMENO DA RESSONANCIA

É sabido que em diversas áreas da engenharia, a ressonância deve ser evitada para que não ocorra colapso. De acordo com Soeiro (2008), sempre que a frequência natural de vibração de uma máquina ou estrutura coincide com a frequência da força externa atuante, ocorre esse fenômeno que leva a grandes deformações e falhas mecânicas.

Um exemplo clássico é a ponte de Tacoma Narrows, que em novembro de 1940, apenas quatro meses após sua inauguração entrou em colapso pelo efeito de ressonância causado por ventos.



Fotografia 1 – Tacoma Narrows | Ressonância e Colapso (1940)

Estudos apontam que em pontes sustentadas por cabos, em determinada velocidade de vento, ocorre a oscilação da mesa da mesma junto aos cabos de sustentação, tal comportamento iguala a frequência do conjunto com a frequência natural da ponte fazendo com que o colapso seja inevitável.

Todo material possui frequência própria, o corpo possui faixas variadas de frequência em cada membro e para cada situação (rígido ou dobrado), sendo que da mesma maneira como os outros materiais, ao entrar em contato com sistemas que emitem vibração em frequência semelhante ao da parte do corpo, gera um efeito desconfortável, com consequências patológicas progressivas e irreversíveis.

É sabido que cada corpo possui a sua própria frequência de resposta quando submetido a uma excitação qualquer. Esta frequência própria é denominada no meio científico como frequência natural do corpo ou do sistema em estudo. Quando um corpo ou sistema é excitado a uma frequência, a qual seja a sua frequência natural, diz-se então que este está em ressonância. A ressonância no meio mecânico leva qualquer estrutura, dependendo de sua magnitude de excitação, ao colapso. O corpo humano também é considerado um sistema mecânico, porém um sistema heterogêneo, ou seja, formado por vários segmentos com faixas de frequência naturais distintas. [...] Por ser um sistema complexo, o corpo humano varia algumas das faixas de frequência natural de seus segmentos dependendo da sua posição, ora sentado, em pé ou deitado. (ANFLOR, 2003).

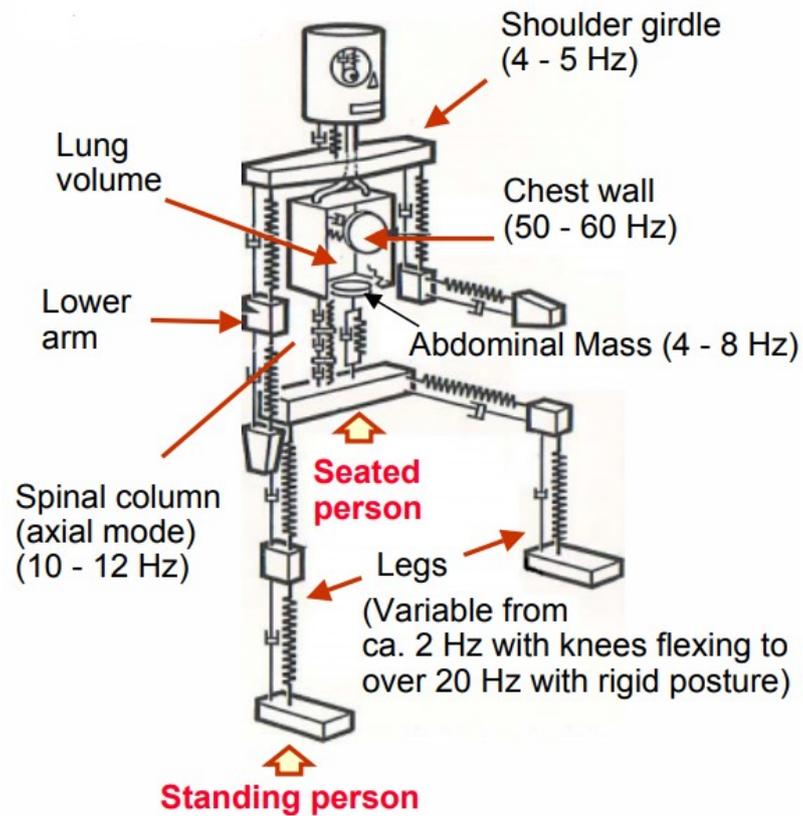


Figura 2 – Faixas de Ressonância no Corpo Humano | *Whole Body*
 Fonte: Bruel & Kjaer (1988).

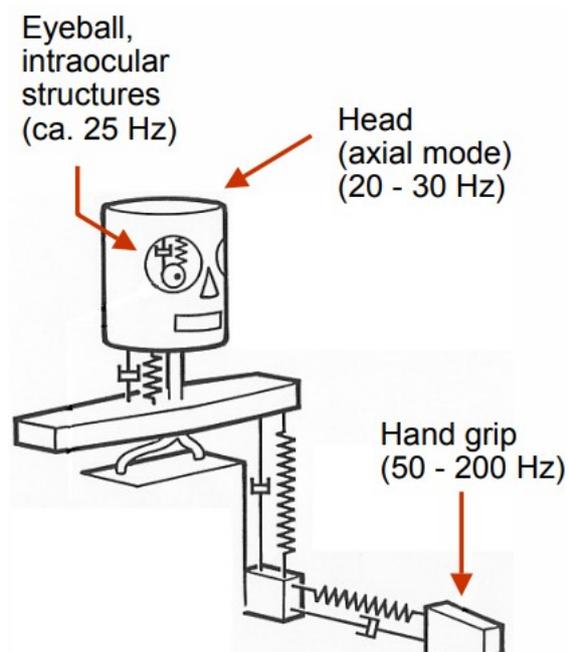


Figura 3 – Faixas de Ressonância no Corpo Humano | *Hand-arm*
 Fonte: Bruel & Kjaer (1988).

Através de análise de frequência, é possível trabalhar medidas corretivas e preventivas para evitar a ressonância do sistema com o corpo.

Parte do Corpo	Frequência Natural
Globo ocular	20-80 Hz
Ombro	4-5 Hz
Parede torácica	60 Hz
Mão e punho	50-200 Hz
Braço	16-30 Hz
Perna em pé	20 Hz
Cabeça axial	25 Hz
Antebraço	16-30 Hz
Mão e Braço	5-50 Hz
Massa abdominal	4-8 Hz
Coluna Vertebral	10-12 Hz
Perna dobrada	2 Hz

Quadro 1 – Relação Entre Parte do Corpo e Frequência Natural
Fonte: Adaptado de B & K (1988).

2.2 NORMAS ISO 2631-1 (1997) – VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI)

Segundo Ximenes (2006) as vibrações que afetam o de corpo inteiro (VCI) são de baixa frequência e alta amplitude, situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente 1 a 20 Hz. localizam-se predominantemente nas máquinas de grande porte e nos mais diversos modais de veículos (colhedora de cana, empilhadeira, ferroviário, aviação, etc...), a norma de referência para o assunto é a ISO 2631-1 (1997) – *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements* que estabelece a ponderação de frequências em função da sensibilidade do corpo a vibração, não estabelecendo limites de tolerância.

A ISO 2631 de 1985 estabelecia limites de tolerância distintos para os eixos Z e XY, utilizando-se de método detalhado de análise de frequência de acordo com os padrões da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*.

2.2.1 Efeito da VCI Sobre o Corpo Humano

As vibrações induzidas sobre o corpo inteiro causam diversas reações ao organismo humano, sendo que em exposição prolongada, além de desconforto e redução da capacidade produtiva do indivíduo, pode também causar patologias irreversíveis.

A exposição à vibração de corpo inteiro pode causar danos físicos permanentes ou distúrbios no sistema nervoso. A exposição diária à vibração de corpo inteiro poderá resultar em danos na região espinhal, podendo também afetar o sistema circulatório e/ou urológico, além do sistema nervoso central. Sintomas de distúrbio frequentemente aparecem durante ou logo após a exposição sob a forma de fadiga, insônia, dor de cabeça e tremor. No entanto, esses sintomas geralmente desaparecem após um período de descanso. Os efeitos observados em grupos expostos a condições severas de vibração foram: problemas na região dorsal e lombar, gastrointestinais, sistema reprodutivo, desordens no sistema visual, problemas nos discos intervertebrais, degeneração na coluna vertebral. (SALIBA, 2010, p. 208).

Quando ocorre a semelhança de frequência entre o equipamento emissor e a região do corpo exposta, o dano é potencializado através do fenômeno da ressonância e pode causar os seguintes sintomas:

Sintomas	Frequência (Hz)
Sensação geral de desconforto	4-9
Sintomas na cabeça	13-20
Maxilar	6-8
Influência na linguagem	13-20
Garganta	12-19
Dor no peito	5-7
Dor abdominal	4-10
Desejo de urinar	10-18
Aumento do tônus muscular	13-20
Influência nos movimentos respiratórios	4-8
Contrações musculares	4-9

Quadro 2 – Sintomas da Vibração no Corpo Humano por Tipos de Frequência
 Fonte: Vendrame (2012).

2.3 NORMAS ISO 5349 (2001) – VIBRAÇÃO DE MÃOS E BRAÇOS (VMB)

As vibrações ocupacionais de mãos e braços são comumente originadas em trabalhos manuais com a utilização de ferramentas elétricas ou pneumáticas (serra manual, martetele pneumático, motosserra) ou também em veículos de transporte, através do volante de direção. As vibrações que afetam os mãos e braços situam na faixa entre 6,3 Hz a 1500 Hz, sendo que a faixa mais crítica para causa de dano físico se situa entre 50 Hz a 150 Hz.

A ISO 5349 não estabelece Limites de Tolerância (LT) para vibração ocupacional localizada, limitando-se aos aspectos gerais da VMB, metodologia de medição e interpretações de resultados.

2.3.1 Efeito da VMB Sobre o Corpo Humano

Em 1862, o médico francês Maurice Raynaud foi o primeiro a descrever os efeitos patológicos da vibração localizada nas mãos e braços em seu estudo intitulado *Local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities*, onde o mesmo observava os distúrbios vasculares e musculoesqueléticos que ocorriam em pessoas expostas à vibração. Raynaud percebeu que através da constrição intermitente de vasos sanguíneos periféricos (vaso espasmos), ocorre uma alteração da cor nas extremidades dos dedos, sendo à essa doença nomeada de atualmente como síndrome dos dedos brancos ou síndrome de Raynaud.

A exposição às vibrações, particularmente da mão, pode desencadear vasoespasmos, que reduzem o diâmetro das artérias até a completa obstrução. Naturalmente, isto impede o fluxo sanguíneo para as áreas supridas por estes vasos, o que se torna visível pelo branqueamento destas regiões, fenômeno conhecido como dedos brancos. As exposições ocupacionais de vibração às mãos estão associadas com vários distúrbios vasculares, neurológicos, articulares e musculosqueléticos. (VENDRAME, 2012, p. 186).

2.4 CRITÉRIOS DE JULGAMENTO E TOMADA DE DECISÃO DE ACORDO COM AS NORMAS DE HIGIENE OCUPACIONAL

Os níveis de vibração possuem distinções de limites de tolerância para exposição ocupacional entre as vibrações localizadas e as de corpo inteiro. Para corpo inteiro possuímos dois parâmetros de avaliação, sendo eles a Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (AREN) e o Valor de Dose de Vibração Resultante (VDVR). Para vibrações localizadas, que é o caso da exposição de mãos e braços, temos apenas o critério AREN como limite de tolerância.

O AREN é a aceleração resultante de exposição normalizada, que seria a aceleração resultante do tempo de medição realizado convertida para uma jornada diária de 8 horas. A expressão que nos dá a AREN é determinada pela seguinte fórmula:

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [m / s^2]$$

Sendo:

are = aceleração resultante de exposição;

T = tempo de duração da jornada diária de trabalho em horas ou minutos;

T₀ = 8 horas ou 480 minutos.

Já a VDVR é o valor resultante de vibração representativo da exposição ocupacional do profissional sendo considerada a resultante dos três eixos de medição, tal índice pode se expresso conforme abaixo:

$$VDVR = \left[\sum_j (VDV \exp_j)^4 \right]^{1/4} \quad [m / s^{1,75}]$$

Sendo:

VDVexp_j = valor de dose de vibração da exposição, representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z”.

2.4.1 Critério de Julgamento de Tomada de Decisão da NHO 09

A NHO 09 apresenta critérios e considerações técnicas a serem tomadas de acordo com os resultados obtidos nas avaliações tanto para o AREN quanto para o VDVR conforme quadro abaixo:

AREN (m/s²)	VDVR (m/s^{1,75})	Consideração Técnica	Atuação Recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável	No mínimo, manutenção da condição existente
>0,5 a <0,9	>9,1 a <16,4	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária
Acima de 1,1	Acima de 21	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Quadro 3 – Critério de Julgamento e tomada de decisão
Fonte: NHO09 (2013).

2.4.2 Critério de Julgamento de Tomada de Decisão da NHO 10

Assim como a NHO 09, a NHO 10 apresenta as considerações técnicas para os índices encontrados nas medições VMB em relação a aceleração resultante de exposição normalizada.

AREN (m/s²)	Consideração Técnica	Atuação Recomendada
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo, manutenção da condição existente
>2,5 a <3,5	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária
Acima de 5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Quadro 4 – Critério de Julgamento e tomada de decisão
Fonte: NHO10 (2013).

3 DESENVOLVIMENTO

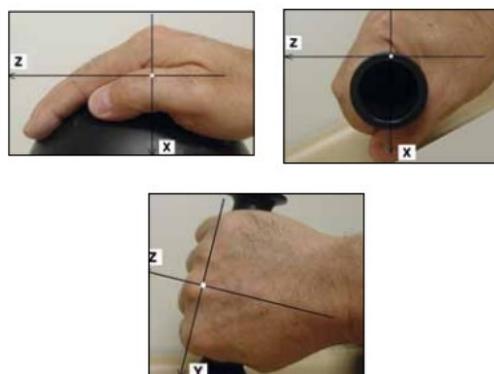
No presente trabalho, busca-se analisar os dados de medição de vibração ocupacional produzido pelo equipamento empilhadeira industrial movido à Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), em piso de cimento nivelado com atividade rotineira de carga, descarga e transporte de pallets de materiais industriais. Os dados de medições utilizados no presente trabalho pertencem à ASST Assessoria em Sistema de Segurança do Trabalho, empresa de consultoria especializada em segurança do trabalho e higiene ocupacional que possibilitou o desenvolvimento desse trabalho.

3.1 METODOLOGIA

As avaliações seguiram as condições metodológicas de acordo com as NHO's. As avaliações foram realizadas de maneira simultâneas para VCI (assento corpo inteiro) e VMB (mãos e braços) para melhor representatividade em um grupo semelhante de 16 equipamentos dentro da mesma indústria. Os posicionamentos dos sensores se deram conforme abaixo:



Fotografia 2 – Posicionamento do sensor VCI
Fonte: NHO-09 FUNDACENTRO



Fotografia 3 – Eixos de coordenadas para VMB
Fonte: NHO-10 FUNDACENTRO

Os dados utilizados nesse trabalho foram retirados diretamente do *software* CPKns, v.18.0507 do próprio equipamento, sendo que seus resultados são projetados de acordo com o tempo de exposição ao que os usuários dos equipamentos relataram em anamnese anterior a medição do período total de utilização dentro da jornada, a esse período de exposição efetiva dentro da jornada damos o nome de dose líquida.

As análises de resultados estarão seguindo o rigor técnico das normas aplicáveis em comparação com os limites de tolerância legais previstos na legislação brasileira, não entrando na seara de análises de frequência que é também assunto relevante para o tipo de exposição.

Para análise de vibração com frequência, o equipamento requer um filtro de banda de oitavas, onde é possível segmentar as faixas de frequência que a vibração está gerando e observar a frequência preponderante, verificando a possibilidade de ressonância com a parte do corpo humano em relação a as frequência natural.

3.1.1 Caracterização do Equipamento Avaliado

As empilhadeiras avaliadas são do tipo de alimentação por gás liquefeito de petróleo, no qual sua alimentação é realizada através de cilindros localizados na traseira do equipamento.

No estudo em questão, foram utilizadas empilhadeira da marca HELI do tipo CPCD35 e de acordo com o catálogo do fabricante, tem capacidade de carga em serviço de 4.935 kg.

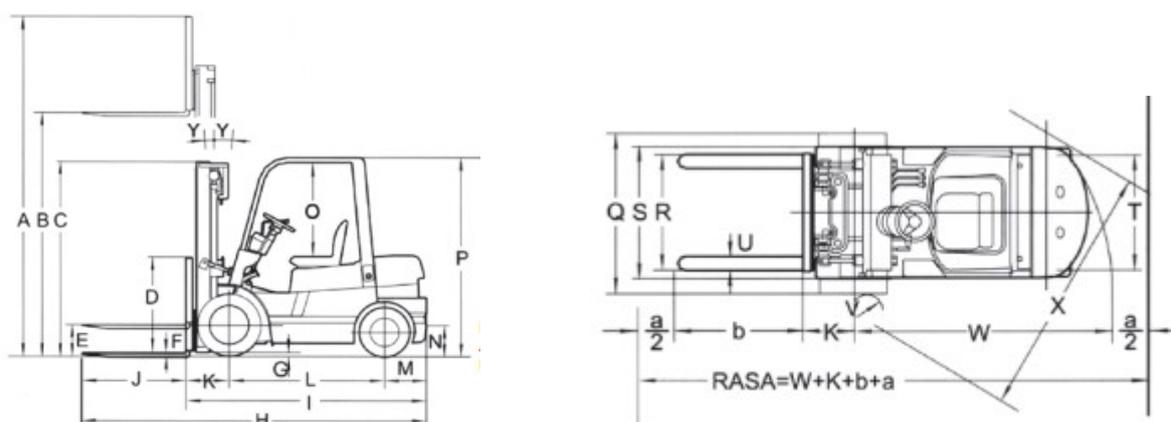


Figura 4 – Escopo de Empilhadeira
Fonte: Catálogo Silmáquinas (2017)

As atividades avaliadas foram majoritariamente decorrentes de içamento, movimentação e transporte de carga sobre pallets pela indústria.



Fotografia 4 – Medição em Empilhadeira Heli 35
Fonte: ASST Engenharia e Desenvolvimento

3.1.2 Caracterização do Pavimento de Rolagem

As avaliações foram realizadas em pavimento de concreto armado, popularmente conhecido como piso industrial ou piso de alto desempenho, que pode ter acabamento comum e polido. O piso de concreto armado e polido é executado em indústrias que necessitam de alta resistência para cargas.



Fotografia 5 – Pavimento de Rolagem Predominante
Fonte: ASST Engenharia e Desenvolvimento

3.2 ACELERÔMETROS DE VIBRAÇÃO

O acelerômetro de vibração é um aparelho composto de alguns componentes que convertem deformações mecânicas em ondas elétricas, o esquema genérico pode ser definido conforme figura abaixo:

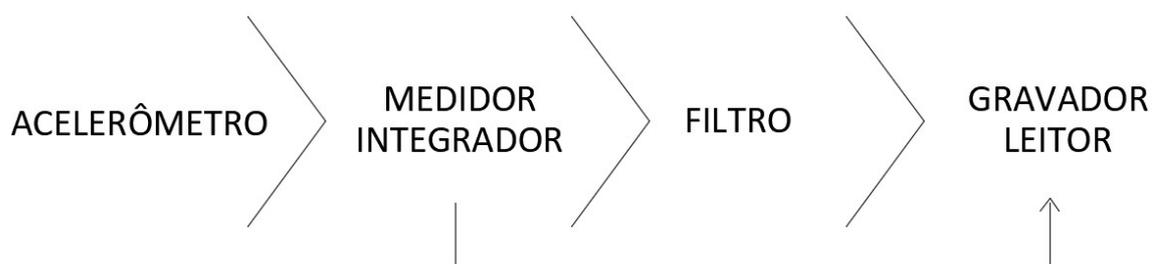


Figura 5 – Esquema de coleta e leitura de vibração
Fonte: Adaptado de Pereira (2005).

Alguns acelerômetros podem não possuir o filtro, sendo que a informação é passada diretamente do medidor/integrador para o gravador/leitor. O filtro é responsável pela ponderação de frequência, que são importantes para verificação dos níveis medidos em relação às normas.

3.2.1 Acelerômetro Aplicado Nesse Trabalho

Todas as avaliações quantitativas de vibração desse presente trabalho foram executadas com acelerômetro de vibração com duplo canal, sendo possível realizar medição de dois pontos simultaneamente.

A composição dos acelerômetros de duplo canal são, via de regra, um medidor / leitor de vibração, acelerômetro triaxial de assento disposto entre o sujeito e a superfície de contato e acelerômetro triaxial de medição pontual, localizado nesse estudo entre a mão do avaliado e a superfície de contato que gera vibração pontual, nesse caso, o volante do equipamento.

- Acelerômetro de Vibração SmartVib da Marca Chrompack duplo canal com reconhecimento automático dos acelerômetros. Sensibilidades 57mV/g e

6,5mV/m/g com taxa de integração dos histogramas com intervalo programável de 5 segundos à 04 minutos com exatidão $\leq 3\%$.



Fotografia 6 – Acelerômetro SmartVib
Fonte: Chrompack (2017)

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Trata-se de estudo observacional de resultados de avaliações quantitativas realizada pela empresa ASST, todos os dados das avaliações foram gerados pelo sistema da fabricante Chrompack, denominado CPKns, v.18.0507, os resultados e histogramas de medição aplicados nesse trabalho foram gerados com taxa de integração do sistema medidor com período não superior à 60 segundos já programado anterior a medição.

O equipamento utilizado possui certificado de calibração de fabrica, com data inferior à 1 ano na data das avaliações, sendo tal fato uma boa prática para as medições realizadas.

Tabela 1 – Dados de Avaliações Quantitativas em VCI e VMB em empilhadeiras

	Tipo	Critério	Resultado	Consideração Técnica
Avaliação 01	VCI	AREN	0,65	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	12,20	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,62	Região de Incerteza
Avaliação 02	VCI	AREN	0,63	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	11,60	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	2,85	Acima do Nível de Ação
Avaliação 03	VCI	AREN	0,38	Aceitável
	VCI	VDVR	7,10	Aceitável
	VMB	AREN	1,75	Aceitável
Avaliação 04	VCI	AREN	0,63	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	10,10	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	2,95	Acima do Nível de Ação
Avaliação 05	VCI	AREN	0,22	Aceitável
	VCI	VDVR	6,30	Aceitável
	VMB	AREN	1,70	Aceitável
Avaliação 06	VCI	AREN	0,87	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	15,00	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	2,57	Acima do Nível de Ação
Avaliação 07	VCI	AREN	0,39	Aceitável
	VCI	VDVR	7,10	Aceitável
	VMB	AREN	3,45	Acima do Nível de Ação
Avaliação 08	VCI	AREN	0,53	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	9,20	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,40	Acima do Nível de Ação
Avaliação 09	VCI	AREN	0,63	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	10,70	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,66	Região de Incerteza
Avaliação 10	VCI	AREN	0,98	Região de Incerteza
	VCI	VDVR	15,90	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,11	Acima do Nível de Ação
Avaliação 11	VCI	AREN	0,67	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	13,20	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,63	Região de Incerteza
Avaliação 12	VCI	AREN	0,80	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	14,90	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,13	Acima do Nível de Ação

Tabela 1 - Dados de Avaliações Quantitativas em VCI e VMB em empilhadeiras**(Conclusão)**

	Tipo	Critério	Resultado	Consideração Técnica
Avaliação 13	VCI	AREN	0,78	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	12,40	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	3,27	Acima do Nível de Ação
Avaliação 14	VCI	AREN	1,21	Acima do LT
	VCI	VDVR	24,40	Acima do LT
	VMB	AREN	4,88	Região de Incerteza
Avaliação 15	VCI	AREN	0,54	Acima do Nível de Ação
	VCI	VDVR	9,80	Acima do Nível de Ação
	VMB	AREN	4,83	Região de Incerteza
Avaliação 16	VCI	AREN	0,34	Aceitável
	VCI	VDVR	6,40	Aceitável
	VMB	AREN	2,99	Acima do Nível de Ação

Fontes: Dados de Medição ASST 2018 / Próprio Autor

Para VMB, conforme verificado na tabela 1, podemos constatar que nas avaliações VMB, em 88% das medições, o nível de ação, que representa resultados superiores a metade do limite de tolerância foram ultrapassados, seguido de 63% pelo AREN e 56% pelo VDVR do VCI.

Esses resultados indicam que o VMB nesse grupo analisado possui um resultado com maior significância de cuidados e adoção de medidas corretivas em relação ao VCI, porém, os resultados gerados pela medição VCI também são expressivos.

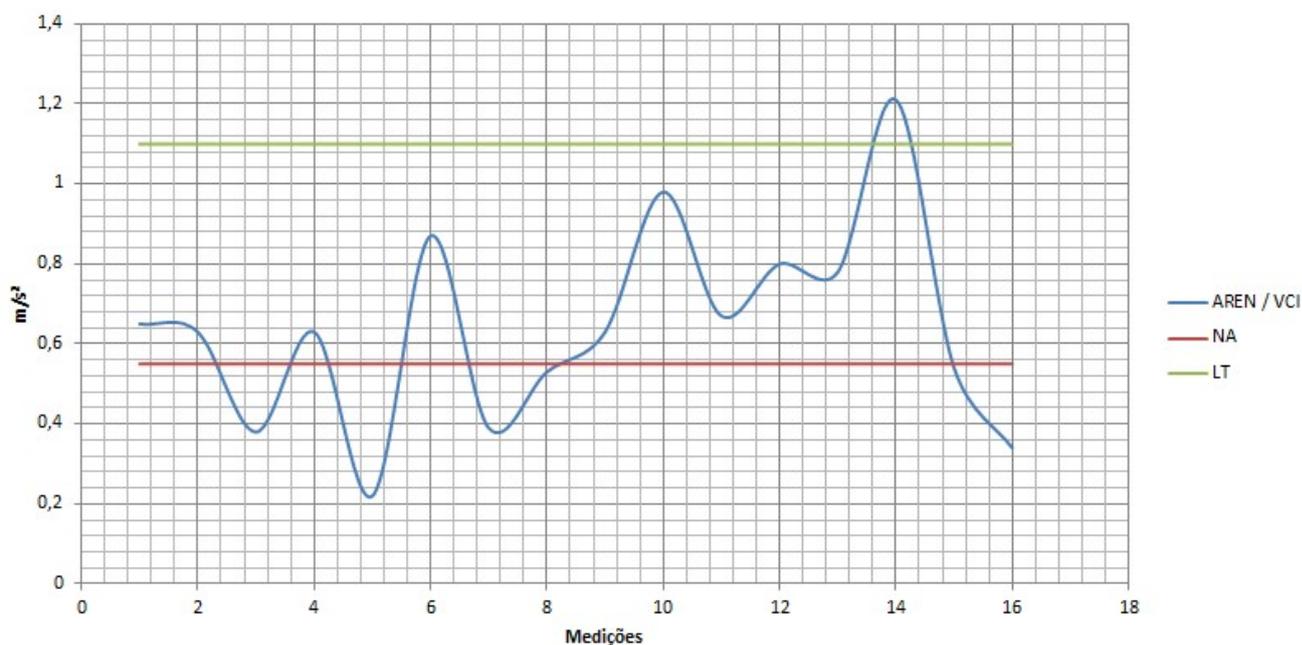


Gráfico 1 – Comportamento do AREN/VCI em relação ao NA e LT
 Fonte: Próprio autor (2018)

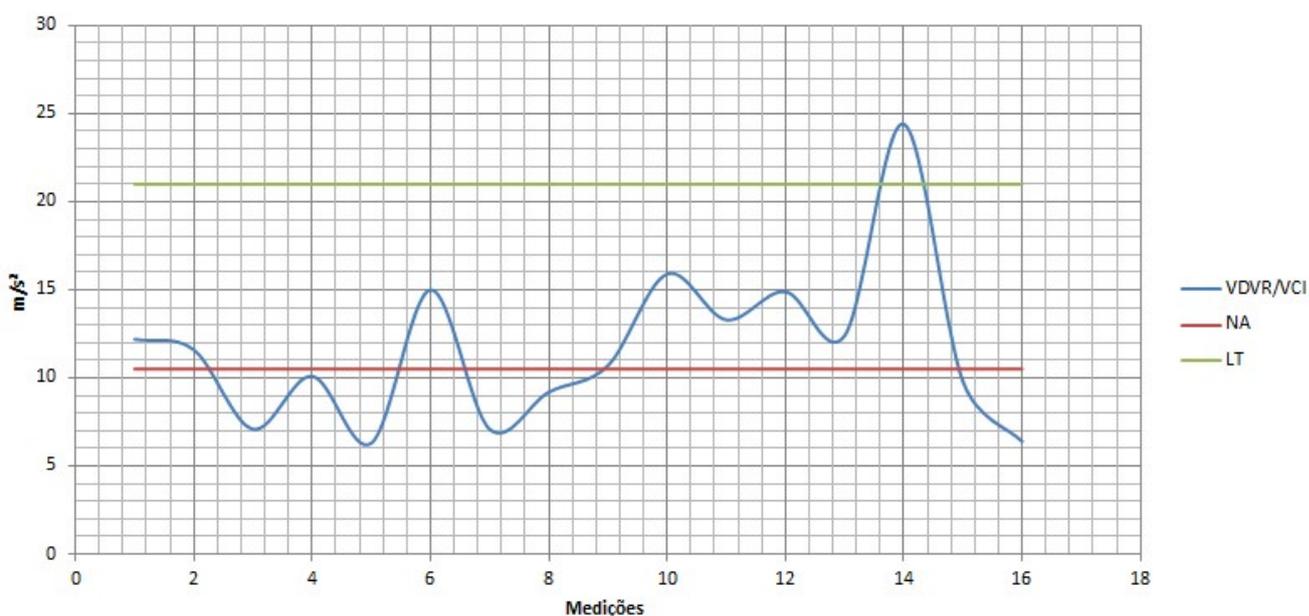


Gráfico 2 – Comportamento do VDVR/VCI em relação ao NA e LT
 Fonte: Próprio autor (2018)

É possível observar nos gráficos 1 e 2 uma semelhança de comportamento entre os parâmetro VDVR e AREN do VCI, onde normalmente os índices acompanham os resultados sem grandes distorções, sendo que no mesmo ponto de medições em que deram acima do LT, seria insalubre por ambos resultados.

Criando-se uma área imaginária entre o Nível de Ação e o Limite de Tolerância, excluindo-se os dados que deram abaixo do NA e acima do LT, temos

que as medições tomaram espaço de 50% para o VDVR e 56% para o AREN nas medições de VCI.

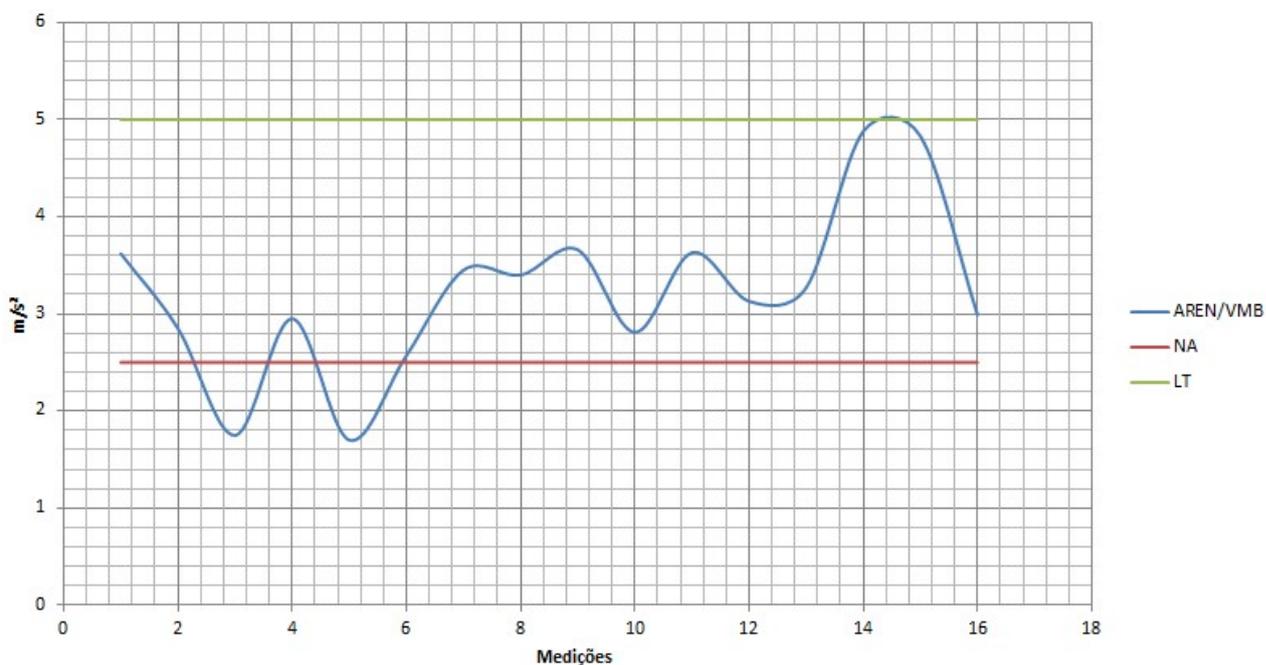


Gráfico 3 – Comportamento do AREN/VMB em relação ao NA e LT
Fonte: Próprio autor (2018)

Em relação ao gráfico 3, é possível verificar uma maior tendência da medições VMB estarem entre o NA e o LT do que nas medições VCI. Traçando-se a mesma linha imaginária anterior e excluindo-se os dados abaixo do NA, podemos constatar que as avaliações tomaram área de 88%, índice superior ao VCI.

Do ponto de vista técnico, não haveria motivos para descartar as medições em VMB em relação ao VCI nesse grupo analisado, porém, apenas as avaliações em VCI deram acima do limite de tolerância, havendo enquadramento de insalubridade e risco à saúde do usuário do equipamento.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho foi proposto com os seguintes objetivos:

- I. Medição e avaliação dos níveis de vibração a que estão sujeitos trabalhadores na função de operador de empilhadeira;
- II. Gerar documentação científica referente avaliação de vibração simultânea de corpo inteiro e mãos e braços em operadores de empilhadeira;
- III. Auxiliar no julgamento profissional de profissionais para tomada de decisão em avaliações quantitativas de vibração ocupacional quando há vibração tanto em mãos e braços quanto em corpo inteiro na mesma atividade.

Com relação aos objetivos iniciais do trabalho, é possível afirmar que todos foram alcançados, sendo que as avaliações simultâneas de corpo inteiro e mãos e braços foram realizados em ambiente fabril, o que torna os dados do presente trabalho significativo e representa uma exposição real à exposição ocupacional em empilhadeiras.

Os dados do presente trabalho podem servir de julgamento profissional no momento de traçar estratégia de amostragem de vibração de corpo inteiro e mãos e braços com acelerômetros de canal único em veículos com contato de vibração no assento e volante, sendo que talvez uma boa prática de medição fosse alternar entre um ciclo e outro e depois realizar a composição das medições.

4.1 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Com o objetivo de contribuir para o assunto técnico em questão, é interessante registrar a seguinte ideia de continuidade:

Realizar estudo de vibração ocupacional em grupo estatístico com análise de frequência de mãos e braços e corpo inteiro em veículos automotores cruzando os resultados de frequência com os índices de frequência natural do corpo, verificando a ressonância e possíveis danos causados.

REFERÊNCIAS

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 06**, redação dada pela portaria nº 26 de 1994. Disponível em <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>>, acesso em julho 2017.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 09**, redação dada pela portaria nº 26 de 1994. Disponível em <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR9.pdf>>, acesso em julho 2017.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 15 - Anexo nº 8**, Redação dada pela Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014. Disponível em <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR15-ANEXO8.pdf>>, acesso em julho 2017.

ANFLOR, C. T., **Estudo de transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade**, 2003, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3207/000383538.pdf?sequence=1>>, acesso em agosto 2017.

BRUEL & KJAER, **Human Vibration**, 1988. Disponível em <<http://www.bksv.com>>, acesso em agosto 2017.

FUNDACENTRO, Norma de Higiene Ocupacional: **NHO 09**: Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro: Procedimento Técnico. – São Paulo: Fundacentro, 2013.

FUNDACENTRO, Norma de Higiene Ocupacional: **NHO 10**: Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações em Mãos e Braços: Procedimento Técnico – São Paulo: Fundacentro, 2013.

ISO 2631-1: Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Guidelines. Geneva, 1997.

ISO 5349-1: Mechanical Vibration - Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration - Part 1: General Guidelines. Geneva, 2001.

PEREIRA, A. D. **Tratado de Segurança e Saúde Ocupacional:** Aspectos Técnicos e Jurídicos NR-13 a NR-15, Vol. III, São Paulo: Ed. LTr, 2005.

SALIBA, T. M. **Curso Básico de Higiene Ocupacional**, 3. Ed. São Paulo: LTr, 2010.

SOEIRO, N. S. **Curso de Fundamentos de Vibrações e Balanceamento de Rotores**, UFP, Belém, 2008, disponível em <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34182863/Curso_Fundamentos_de_Vibracao.pdf>, acesso em setembro 2017.

VENDRAME, A. C. **Curso de Introdução à Perícia Judicial**, São Paulo: Ed. Do Autor, 2012.

XIMENES, G. M., **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**, 2006, Dissertação, Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, disponível em <http://www.inmetro.gov.br/producao intelectual/obras_intelectuais/179_obraIntelectual.pdf>, acesso em agosto 2017.