

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

VIBRAÇÃO EM ELEVADORES DE PASSAGEIROS: ADEQUAÇÃO A NORMAS PARA SAÚDE E CONFORTO

Saule Augusto Biasuz, augustobiasuz@hotmail.com¹

Marcelo André Toso, marcelo.toso@yahoo.com.br¹

Herbert Martins Gomes, herbert@mecanica.ufrgs.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Sarmiento Leite, 425, sala 202, 2º. Andar, 90050-170, Porto Alegre, RS, Brasil.

Resumo: Com o desenvolvimento de novas tecnologias, a disponibilidade de elevadores no planeta vem crescendo a cada dia. Cidades cada vez mais sofisticadas surgem com edificações cada vez mais altas com o objetivo de otimizar o espaço utilizado em terra. Surge daí a necessidade da utilização de mecanismos de transporte nestas estruturas de forma a reduzir o tempo de deslocamento. Grande parte dos elevadores atualmente tem seu plano de manutenção que na maior parte dos casos preocupa-se com a segurança deixando a desejar a questão do conforto. Desta forma, o presente trabalho avalia o grau de conforto dos passageiros em relação à vibração ocasionada pelo deslocamento vertical dos elevadores, sendo realizadas medições em elevadores existentes de diversos modelos e marcas. As medidas de aceleração são coletadas através da utilização de dispositivo normatizado para medição da vibração transmitida ao corpo humano no interior da cabina durante percursos do elevador. Estas medições são realizadas de acordo com os requisitos indicados pela ISO 18738:2003, atendendo aos critérios da ISO 8041:2005, e comparando os resultados assim obtidos com os valores referentes à saúde e ao conforto do passageiro de acordo com a ISO 2631-1:1997 e NR-15. Referente à saúde, os tempo de exposição diária à vibração também são avaliados para diferentes situações de trabalho de um operador de elevador (ascensorista) os quais são comparados com os limites definidos nas normas empregadas. Um estudo estatístico a respeito da adequabilidade dos elevadores estudados com respeito às normas de vibração é realizado e ao menos para o critério de saúde, os casos estudados estão de acordo com os limites.

Palavras-chave: conforto em elevadores, medição de aceleração, exposição diária à vibração, VCI, vibração do corpo humano.

1. INTRODUÇÃO

A exposição do corpo humano à vibração está presente em inúmeras situações do cotidiano, podendo ser fonte de desconforto e causa de problemas de saúde. Particularmente, no caso da vibração transmitida ao corpo inteiro, pode ocasionar problemas como indisposição seguido de enjoos, tonturas e vômitos. Assim, sua investigação em atividades onde essa exposição possa existir é de extrema importância. Foram desenvolvidos no passado vários métodos para classificar a gravidade da exposição e definir os limites de exposição para aplicações específicas. Nenhum desses métodos, no entanto, pode ser considerado aplicável a todas as situações e, consequentemente, nenhum foi aceito universalmente. Em decorrência da crescente utilização dos elevadores no cenário mundial também são verificadas novas tecnologias que estão sendo empregadas em seu uso. O conforto proporcionado pelo transporte é relevante em se tratando de saúde humana, pois as vibrações existentes ao longo do percurso podem vir a ser nocivas ao corpo. Segundo Howkins (2006), entende-se que o conforto e a qualidade no transporte de passageiros conduzidos pelos elevadores são dois conceitos distintos e separados, que são muito subjetivos, entretanto eles podem ser objetivos, dependendo se você é o fabricante, consultor de elevadores ou proprietário de edifício, pois elevadores residenciais e convencionais possuem características distintas sejam na velocidade ou na carga. As experiências objetivas que os passageiros sentem são as mudanças no efeito da gravidade sobre o seu corpo causado pela aceleração, desaceleração, sobre aceleração, ruído e vibrações de maneira geral pelos sistemas dos elevadores. As experiências subjetivas sentidas pelo passageiro estão relacionadas a questões arquitetônicas e de design para as cabinas do elevador, que incluem iluminação, acabamentos e mobiliário da cabina. Tudo isso pode ser classificado como a experiência humana no transporte em elevadores.

Com esses quesitos o presente trabalho trata-se de um estudo de medição de vibrações em diferentes modelos de elevadores, com diferentes deslocamentos que serão percorridos nos pavimentos dos edifícios. Foram investigados oito modelos de três marcas diferentes de elevadores. As medições de vibração foram realizadas no interior da cabina em

todos os modelos perfazendo um total de 66 medições. Tendo como objetivo geral obter dados suficientes para avaliar qual dos elevadores pode ser considerado o mais confortável e explicitando o tempo que pode permanecer no mesmo sem que haja danos à saúde em termos da transmissão da vibração a um usuário frequente do elevador como no caso de um ascensorista. Pode-se, desta forma, avaliar a exposição humana à vibração transmitida corpo inteiro, com dados da aceleração, velocidade e sobre aceleração.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o nível de exposição à vibração em elevadores residências e convencionais aos quais passageiros estão expostos no seu dia-a-dia de trabalho e comparar com valores constantes na Norma Internacional ISO 2631-1:1997, *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, e também com a norma BS ISO 18738:2003, *Lifts (elevators) – Measurement of lift ride quality*, de acordo com os critérios de salubridade e conforto provenientes do movimento vertical e vibração horizontal dos elevadores. Também pretende-se analisar a amplitude dessa vibração transmitida aos passageiros para este tipo de transporte na direção tri-axial (eixo x y e z).

2. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No século I A.C os elevadores primitivos eram acionados por energia humana ou animal e como resultado a segurança, o conforto e a eficiência do transporte estava comprometida. Durante séculos as comunidades foram agrárias e de vida horizontal e não foi até anos depois da revolução industrial quando os primeiros elevadores para transporte de passageiros foram desenvolvidos. Na metade do século XIX quase não existiam prédios com mais de três pavimentos. Só a partir de 1852 quando Elisha Graves Otis fez a maior invenção na indústria dos elevadores, introduzindo um revolucionário mecanismo de segurança automático que permitia o elevador parar caso as cordas de tração falhassem. A partir deste momento começaram a ser construídos prédios de maior altura. Com aquela invenção, quando os cabos rompiam, uma mola acionava duas garras em cima da cabina forçando-as a segurar-se sobre os suportes no poço do elevador. Esta invenção acelerou a construção de elevadores e o desenvolvimento na tecnologia para transporte vertical foi intenso. Em 1857 foi instalado o primeiro elevador para transporte de passageiros em Nova Iorque. No ano 1870 é introduzido o elevador hidráulico e em 1889 com a construção da Torre Eiffel em Paris foi um evento histórico que afiançou esta indústria. Os elevadores hidráulicos funcionavam com água a pressão fornecida por máquinas de vapor. Nas primeiras instalações a válvula principal para controlar o fluxo de água era aberta ou fechada manualmente através de um sistema de cordas dispostas verticalmente na cabina. Anos depois foram incorporadas válvulas piloto para o controle de aceleração e desaceleração. Em 1880, Werner von Siemens inovou, com o uso do motor elétrico, a construção de elevadores. No primeiro modelo, a cabina, que suporta o motor elétrico, sobe pelo poço através de um conjunto de engrenagens que tracionam o elevador nos suportes ao lado do poço. Em 1887 foi criado o modelo de elevador elétrico que fazia girar uma polia na qual se enrola um cabo de aço onde são suspensos o contrapeso e a cabina. As vantagens do elevador elétrico envolvem desde rendimento, baixo custo de instalação até velocidade quase que constante sem influência da carga transportada. Estes elevadores popularizaram o seu uso como meio de transporte de passageiros em mudanças de níveis. Segundo Otis (2007), depois da 2ª Guerra Mundial diversos avanços em sistemas eletrônicos foram realizados. Em 1948 foram instalados computadores para análise automática da informação, permitindo que os elevadores trabalhassem isoladamente e independentemente melhorando de forma significativa o tráfego e o rendimento operativo dos elevadores em grandes edifícios. Atualmente, os elevadores elétricos são usados corriqueiramente em todos os tipos de edifícios desde residenciais a comerciais, hospitais e edifícios de usos múltiplos. Entretanto, as metodologias para quantificar e avaliar estes parâmetros continuaram simples e não técnicos como o uso de moedas antes do advento das normas de elevadores.

2.1. Percepção da qualidade do conforto no uso de elevadores

Howkins (2006) afirma que a qualidade no transporte por elevadores é um tópico difícil de quantificar em termos de classes como bom, médio ou ruim, baseando-se puramente na percepção do julgamento da pessoa que está sendo transportada. A norma BS ISO 18738 define como medir a qualidade no transporte de elevadores, mas não ventila definições do que vem a ser uma boa, ruim ou aceitável qualidade de transporte por elevador. A qualidade de transporte por elevador está sendo conduzida por empresas construtoras de elevadores e consultores internacionais sem levar em conta a própria percepção do passageiro ou se os valores são atingíveis e práticos. Tecnicamente e comercialmente não há justificativa para elevadores que sejam muito silenciosos ou com níveis de vibração baixíssimos uma vez que a percepção dos passageiros não seja significativamente alterada e o desempenho geral do elevador e sua confiabilidade não sejam melhorados. Referente ao movimento dos elevadores, pode-se assumir um comportamento principal de vibração na direção vertical (que é o do movimento de ascensão ou descida elevador) e vibrações horizontais secundárias e de menor intensidade, decorrentes, na maioria das vezes, a folgas e/ou movimentações das cargas (pessoas) que estão dentro da cabine do elevador. Estas vibrações (verticais e horizontais) são ligeiramente amortecidas e nas condições de parada e arranque no elevador elas se assemelham bastante a sinais de vibrações livres.

2.2. Exposição do corpo a vibrações

Segundo a ISO 2631-1:1997, devido a ampla variedade de possíveis condições e efeitos da exposição humana às vibrações é difícil obter um guia detalhado para cada situação, devido a existências de muitas variáveis. Entretanto, esta

norma internacional pretende não apenas prover sua utilidade na avaliação de ambientes vibratórios existentes ou preditos, mas também estimular a avaliação crítica e continuada de novas descobertas sobre os efeitos da vibração que atuam sobre o homem. A norma define que existem basicamente três tipos de exposição à vibração, porém apenas uma é utilizada no presente trabalho que é vibrações transmitidas ao corpo como um todo (*Whole Body Vibration*, WBV) através de superfícies de sustentação, como os pés de um homem em pé, ou as nádegas de um homem sentado, ou a área de sustentação de um homem recostado. Este tipo de vibração é comum em veículos, em construções em movimento vibratório e nas proximidades de maquinário de trabalho. Dependendo da direção que se quer avaliar se a vibração afeta ou não o ser humano, são aplicados filtros de ponderação aos sinais medidos pelo sensor de aceleração. Estes filtros servem para “ponderar” o sinal da vibração nas componentes de frequência que podem ou não vir a afetar determinadas partes do corpo. As faixas de frequências são tomadas com base nas frequências naturais das partes que compõem o corpo humano. A maneira pela qual a vibração afeta a saúde, conforto, percepção e movimento é dependente do conteúdo de frequência de vibração. Ponderações diferentes são necessárias para os diferentes eixos de vibração (Harris e Piersol, 2000).

A Tab. 1 mostra os eixos a serem avaliados pelas e suas respectivas curvas de ponderação (filtros), relacionados ao conforto, saúde e percepção, sendo dadas basicamente por W_k para a direção z e para a direção vertical e W_d para as direções x e y e para o sentido horizontal.

Tabela 1. Guia de aplicação das curvas de ponderação (FONTE: ISO 2631-1:1997).

Curva de Ponderação	Análise			
	Saúde	Conforto	Percepção	Enjoo
W_k	eixo z, em pé	eixo z, sentado eixo z, em pé eixo x y e z, deitado	eixo z, sentado eixo z, em pé	-
W_d	eixo y, em pé eixo x, em pé	eixo x, sentado eixo y, sentado eixo x e y, em pé eixo y e z, com encosto	eixo x, sentado eixo y, sentado eixo x e y, reclinado	-
W_f	-	-	-	Vertical

A ponderação especial W_f é incluída para avaliação de vibrações de baixa frequência que afetam o enjoo ocasionado pela vibração. A ponderação de frequência pode ser realizada por qualquer método analógico ou digital. Eles são definidos de forma matemática familiar para o projeto de filtro e que são processados internamente pelos equipamentos. As ponderações de frequência são mostradas na Tab. 1. Como pode ser visto na Figura 3.2 existem diversas situações de posição do corpo em que podem ser avaliadas as vibrações. O eixo z sempre está direcionado na coluna vertebral, ou seja, em direção à cabeça. O presente trabalho relaciona as vibrações na direção z e também nas direções x e y, sendo que o posicionamento do corpo será em pé. No caso de um ascensorista que estivesse sentado, as curvas de ponderação serão as mesmas que para o caso de uma pessoa em pé; direção horizontal x – na direção dos fundos/porta da cabina (pessoa no interior olhando para a porta do elevador); direção horizontal y – na direção lateral da cabina; direção vertical z – na direção do eixo da cabina do elevador.

Muitos fatores podem influenciar nos efeitos sobre a saúde ocasionados pela exposição humana à vibração (Griffin, 1990). Como exemplo, pode-se citar o espectro de frequência e amplitude da vibração, a duração da exposição diária à vibração e a exposição pré-acumulada da vibração. Além disso, determinadas pessoas podem ter uma maior suscetibilidade que outras ao desenvolvimento de doenças ocasionadas pela exposição à vibração. No caso das vibrações transmitidas ao corpo inteiro, os principais efeitos sobre a saúde podem se apresentar sob a forma de enjoos, redução na capacidade visual, desordens no labirinto e náuseas, na faixa de 0,1 a 0,7 Hz, e aumento da frequência cardíaca, em frequências inferiores a 20 Hz. De acordo com a ISO 2631-1:1997, na Fig. 1, apresentam-se os limites de tolerância em decorrência da exposição à vibração. A região que se encontra entre as linhas, para cada uma das equações, representa uma zona de alerta ou cuidado, a qual é indicada por linhas tracejadas na equação B1 e por linhas pontilhadas para a equação B2. Esta região indica que o nível de vibração deve receber atenção, sendo necessário fazer-se algo para que ele seja aliviado ou evitado. Para a exposição abaixo do limite inferior das equações, o qual é denominado de VAE (*Vibration Action Exposure*), os efeitos à saúde para os quais as pessoas expostas à vibração estão sujeitas, não são claramente demonstrados e, teoricamente, estão livres de qualquer efeito sobre a saúde. Acima do limite superior da zona, o qual é denominado VLE (*Vibration Limit Exposure*), o risco de que haja algum problema de saúde é praticamente certo tendo sido relatado na literatura com suas respectivas relações de causa-efeito. Percebe-se que, para uma exposição entre 4h e 8h, a zona de ação é aproximadamente mesma para ambas as equações sendo independente o uso de uma ou outra equação (B.1 ou B.2). Normas Brasileiras NR15, 2015 e NR-9, 2014) indicam valores muito próximos da amplitude de vibração para o limite de exposição. A partir desses valores, aplicando a soma dos quadrados da aceleração de cada componente (eixos x, y e z) multiplicados pelo quadrado do fator de multiplicação específico, obtém-se a aceleração *rms* compensada a_w correspondente à vibração total, conforme a equação (1):

$$a_w = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (1)$$

onde a_w é a aceleração combinada ponderada em m/s^2 , k_x , k_y e k_z são os fatores multiplicadores respectivos, mostrados em ANEXO D e utilizados para realizar os cálculos de cada medição, para cada eixo e a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} são valores de aceleração ponderada nos eixos x, y e z, respectivamente.

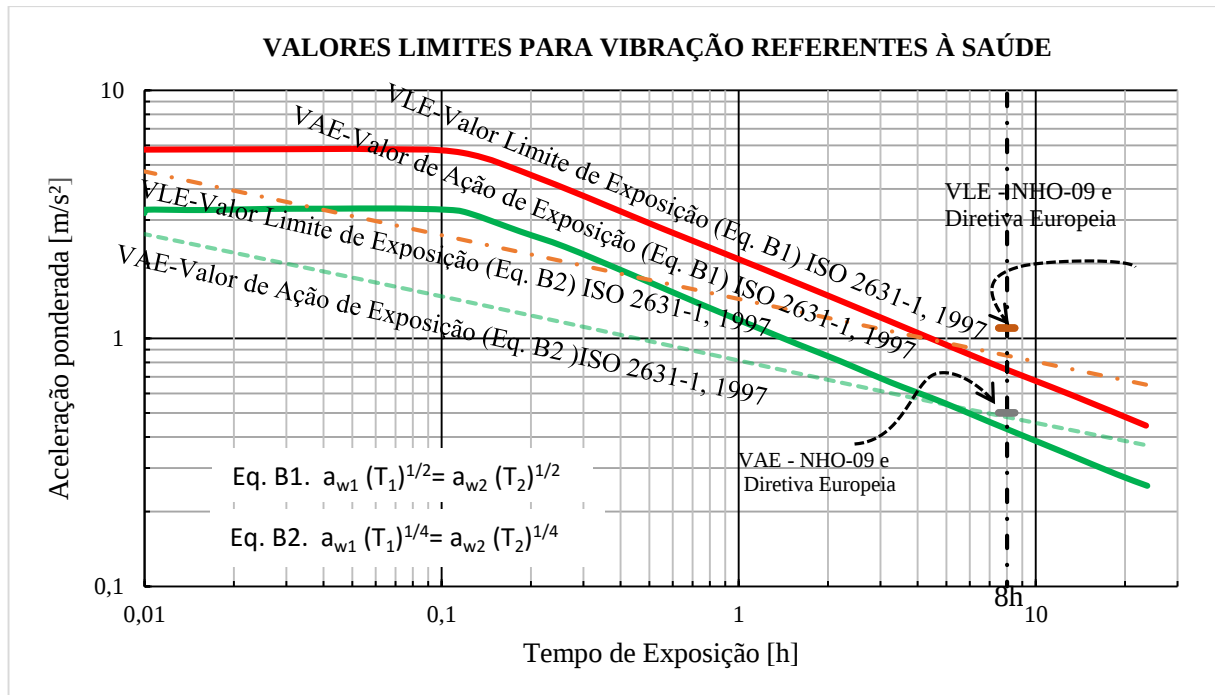


Figura 1. Limites para aceleração rms ponderada e tempo de exposição (FONTE: ISO 2631-1:1997).

As equações correspondentes à Fig.1 para equivalência de acelerações e tempos de exposições são as representadas pelas equações B.1 e B.2 da norma que são respectivamente: $a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2}$ e $a_{w1} \cdot T_1^{1/4} = a_{w2} \cdot T_2^{1/4}$, onde a_{w1} e a_{w2} representam os valores das acelerações ponderadas que são equivalentes; T representa os tempos de exposição para as suas respectivas acelerações ponderadas. Referente a saúde, uma outra Norma que vem sendo bastante empregada é a DIRECTIVE 2002/44/EC. Ela é utilizada pelos países integrantes da comunidade Europeia, a qual, diferentemente da ISO 2631-1:1997, apenas especifica valores do VAE e VLE para uma exposição diária de 8h à vibração. Neste caso para o limite VLE a mesma norma indica valor de $0,5 m/s^2$ e para o VAE um limite de $1,15 m/s^2$. Como estes valores não estão explicitamente indicados na Norma ISO 2631-1:1997, mas apenas implicitamente indicados através do gráfico, optou-se por utilizar os valores indicados pela DIRECTIVE 2002/44/EC, os quais levemente diferem dos respectivos valores da Norma ISO (VAE $0,43 m/s^2$ e VLE $0,74 m/s^2$).

2.3. Avaliação da vibração relacionada ao conforto

Em geral, os limites de conforto ou desconforto em um passageiro que se desloca verticalmente são difíceis de determinar devido à variação da sensibilidade de cada pessoa para com a vibração. Porém, a norma ISO 2631-1:1997 estabelece alguns critérios para avaliação do conforto devido à vibração, como pode ser visto na Tab.2. Uma condição de vibração particular pode ser considerada a causa do desconforto inaceitável em uma situação, mas pode ser classificado como agradável ou estimulante. Muitos fatores se combinam para determinar o grau em que o desconforto pode ser notado ou tolerado. Uma avaliação precisa da aceitabilidade de vibração e a formulação de limites de vibração pode ser feita somente pelo conhecimento de muitos fatores. As expectativas de conforto e tolerância são diferentes entre os transportes veiculares comparados às residências e comerciais.

Interferências com atividades relacionadas à leitura e escrita causam desconforto muitas vezes. Esses fatores frequentemente dependem do detalhamento das atividades como, por exemplo: suporte para ler e escrever ao decorrer do deslocamento. Estas condições não são vistas nessa norma.

3. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DOS ELEVADORES

A norma BS ISO 18738:2003 apenas estabelece como devem ser as medições, pois os valores limites são meramente ilustrativos independentemente se os elevadores são residências, comerciais ou convencionais. Assim a referida Norma especifica como devem ser feitas as medições e de que forma os parâmetros de vibração devem ser avaliados.

Tabela 2. Escala de conforto, segundo norma ISO 2631-1(FONTE: ISO 2631-1:1997).

Índice de Conforto	Escala
$< 0,315 \text{ m/s}^2$	Confortável
$0,315 - 0,63 \text{ m/s}^2$	Levemente confortável
$0,5 - 1 \text{ m/s}^2$	Pouco desconfortável
$0,8 - 1,6 \text{ m/s}^2$	Desconfortável
$1,25 - 2,5 \text{ m/s}^2$	Muito desconfortável
$> 2,0 \text{ m/s}^2$	Extremamente desconfortável

Conforme Howkins (2006), grande parte da população entende que a aceleração é a taxa de mudança da velocidade. Os efeitos da aceleração são tanto físicos como psicológicos e terão variações importantes entre pessoas trafegando num elevador. A aceleração do elevador é percebida como boa quando ela é constante. Se a aceleração é percebida por níveis discretos ela será notada mais facilmente. Obviamente quando desacelerando um elevador produzirá uma curva de aceleração negativa a qual deve espelhar a curva de desaceleração sem sobressaltos. A percepção do passageiro da aceleração é tal que para valores abaixo de $1,1 \text{ m/s}^2$ a maioria dos passageiros não irá ter nenhuma percepção da diferença da qualidade geral no transporte com o elevador.

Segundo a norma BS ISO 18738:2003, os limites devem ser utilizados para definir as regiões sobre as quais quantidades de sinais são calculadas. Na Fig. 2 são mostrados os limites de aceleração decorrentes da movimentação do elevador. Limite 0: 0,5s antes de a porta começar a fechar (início do movimento). Limite 1: 500ms depois que o movimento começou. Limite 2: 500ms antes de cessar o movimento. Limite 3: 0,5s depois da porta abrir (final do movimento).

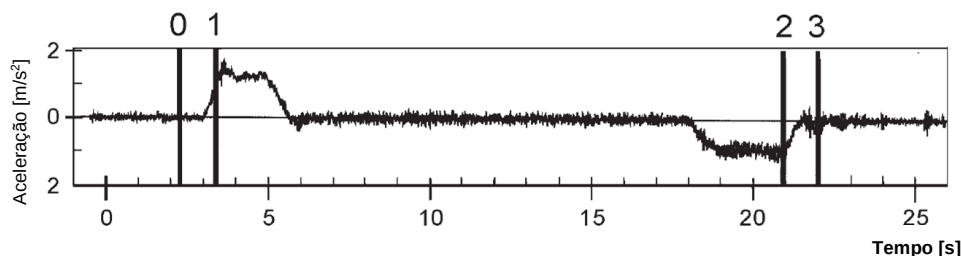


Figura 2. Limites típicos para aceleração (FONTE: BS ISO 18738:2003).

3.1. Velocidade

A aceleração é calculada a partir de 5% a 95% da velocidade máxima durante a primeira metade do sinal entre os limites 0 e 3, indicados na Fig. 3. A desaceleração é calculada de 95% para 5% da velocidade máxima durante a segunda metade do sinal entre os limites 0% e 95%.

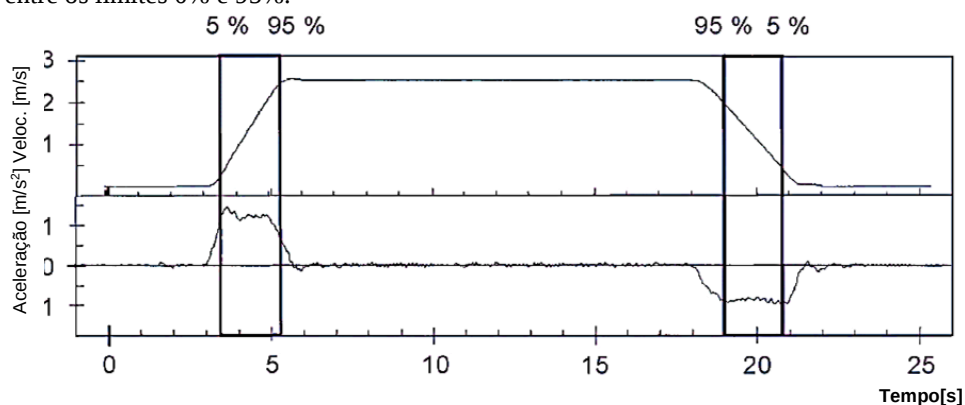


Figura 3. Limites de velocidades (FONTE: BS ISO 18738:2003).

3.2. Sobre aceleração (Jerk)

De acordo com Howkins (2006), este é o termo usado para a mudança na taxa de aceleração e é expressa em m/s^3 . A sobre aceleração é provavelmente a mais importa. O corpo humano responde mais rapidamente a mudanças na taxa de aceleração (sobre aceleração) do que a mudanças de velocidade (aceleração). Com a taxa de mudança de aceleração, as forças com o corpo humano mudam e se forem altas o suficiente, o passageiro ficará desconfortável. Entretanto, diminuir a taxa de sobre aceleração de um elevador é uma maneira conveniente e financeiramente efetiva de forma a melhorar o desempenho do elevador. Para elevadores com sobre acelerações da ordem de $6,0 \text{ m/s}^3$ são vistos como inaceitáveis para uma grande proporção de passageiros enquanto que uma taxa de $2,0 \text{ m/s}^3$ pode ser inteiramente aceitável para uma grande proporção da população de passageiros (HOWKINS, 2006). Curvas típicas de sobre aceleração são demonstradas na Fig. 4, segundo norma BS ISO 18738:2003.

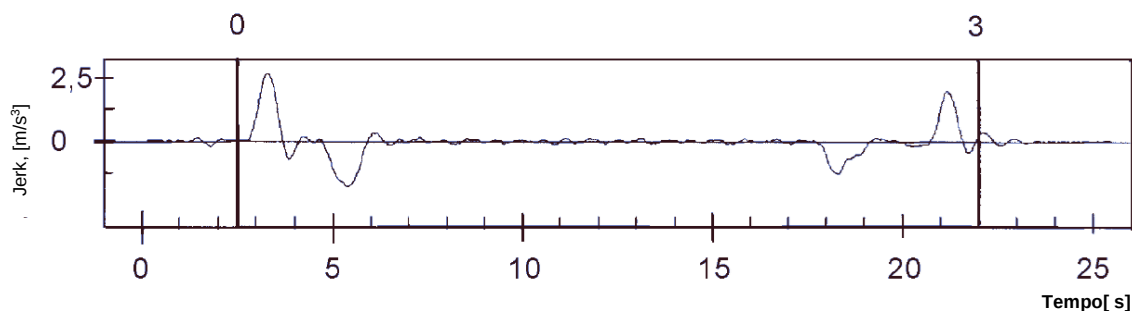


Figura 4. Sinal da sobre aceleração (FONTE: BS ISO 18738:2003).

4. METODOLOGIA

A avaliação objetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema corpo inteiro durante a movimentação vertical consiste em um levantamento técnico, seguindo a metodologia indicada pela norma BS ISO 18738:2003. Para a medição de uma vibração é necessário o emprego de um transdutor que converta a energia mecânica da aceleração em um sinal elétrico proporcional. Nas medições realizadas, o transdutor empregado é um acelerômetro que capta a vibração nos eixos x y e z. Além do transdutor, é necessário o emprego de um aparelho que permita analisar e armazenar a vibração medida. Para este caso, é utilizado o instrumento VI-400Pro, S/N 12430, um medidor e analisador portátil, que tem massa aproximada de 500g, de vibração que mede de maneira instantânea em quatro canais de entrada, sendo três dos canais usualmente utilizados para uma medição de vibração tri-axial, com auxílio de um acelerômetro denominado de *seatpead*. Além de medir estas vibrações o equipamento deve ser capaz de armazenar os dados em uma memória interna com capacidade elevada pois as medições podem durar alguns minutos sendo gravadas a uma taxa que pode ser tipicamente de 500Hz.

A configuração do VI-400Pro é realizada através do software *QuestSuite Professional II* que permite definir qual será a curva de ponderação por frequência empregada para a medição como indicado anteriormente. Além disso, por intermédio do software é possível realizar o pós-processamento dos dados medidos. Por exemplo, a partir da sua ferramenta Calculador de Exposição, pode-se calcular, para cada medição, o tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o Valor de Ação de Exposição (VAE), e o tempo máximo de exposição diária à vibração para que seja atingido o Valor Limite de Exposição (VLE). Também o software possui recursos de processamentos de dados, onde os dados armazenados no equipamento podem ser avaliados e estudados com maior detalhamento. Seguindo a indicação da BS ISO-18738-2003, a instrumentação utilizada no interior da cabina do elevador necessita que o *seatpead* esteja localizado no centro da cabina. Com o auxílio dos pés, apoiando o dispositivo, se tem mais equilíbrio, melhorando a medição e evitando que ocorram interferências em relação aos dados obtidos, de modo que ele fique firme e fixo no interior da cabina. O correto posicionamento do acelerômetro tem importância para que a avaliação da exposição à vibração seja consistente. A orientação dos eixos de medição deve coincidir com as orientações indicativas de norma. O acelerômetro é ajustado ao elevador, seguindo o sistema de coordenadas tri-axial, como definido pela norma BS ISO-18738-2003. Além do correto alinhamento dos eixos do acelerômetro, é necessário que ele seja posicionado o mais próximo possível do eixo imaginário central do transporte: direção horizontal x – na direção da porta-fundos da cabina, direção horizontal y – na direção lateral da cabina, direção vertical z – na direção do eixo da cabina do elevador.

Os elevadores que foram direcionados a medição são todos elétricos e localizam-se em diversos pontos espalhados pela cidade de Porto Alegre. Os elevadores avaliados encontravam-se em plenas condições de uso, tendo sido feita a manutenção periódica mensal obrigatória em lei, sendo que não houve nenhuma alteração estrutural dos mesmos. Ainda, cada modelo foi instrumentado da mesma maneira, de acordo com as recomendações especificadas pelas normas. Destaca-se que, durante a realização das medições foi necessário o auxílio de uma pessoa para coletar as informações de maneira precisa e organizada possibilitando uma medição eficaz mantendo a padronização dos testes.

Os elevadores avaliados nos ensaios possuem algumas características semelhantes, como a carga suportada e o tamanho da cabina. Outros quesitos podem acarretar na percepção do conforto é a estética da cabina, muitas pessoas observam se a cabina está visivelmente agradável, caso contrário quando a pessoa entra no elevador pode sentir um desconforto. Com isso é possível afirmar que as normas não avaliam esses fatores pois as tolerâncias podem variar de pessoa a pessoa.

Na Fig. 5 são mostrados três tipos de cabina. A cabina que se encontra a esquerda é Engenharia Nova (Meio), a cabina que se encontra ao meio é Prédio 5 andares e a cabina que se encontra a direita é Engenharia Nova (Direita) que representa ser mais agradável é a que contém mármore no piso, vidros nas laterais e iluminação adequada. Neste trabalho não foi feita enquete com os usuários dos elevadores referente ao conforto subjetivo (aspecto estético das cabines e sensação durante a viagem no trajeto) visto que os mesmos não utilizam todos os elevadores que aqui foram medidos sendo impossível a comparação entre elevadores para uma mesma pessoa.

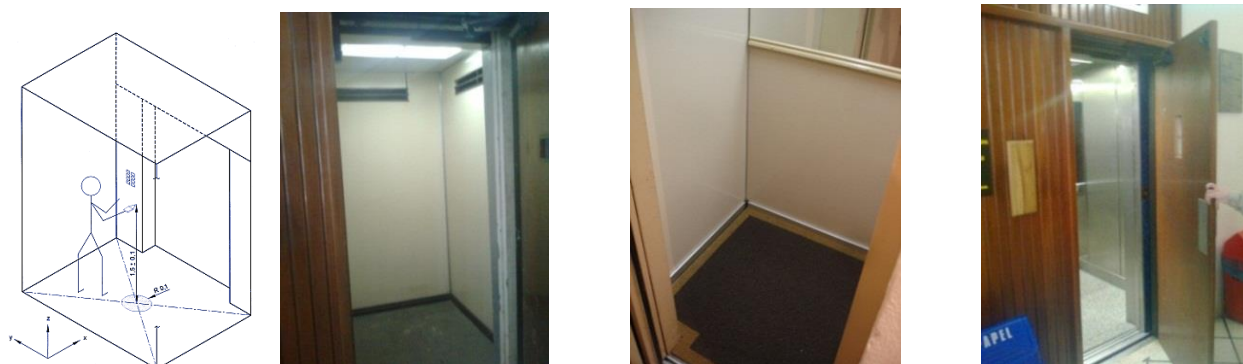


Figura 5. Local onde são posicionados os transdutores e algumas cabinas de elevadores em que foram realizadas as medições.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

As medições foram executadas de forma a reproduzir a realidade de trabalho. Em função disso, a maneira de operar o elevador e a postura adotada pelo usuário foram realizadas como se estivessem no dia a dia de trabalho sem interferência da medição. A coleta foi realizada com um tempo total de aquisição em média de 30s cada medição. Seis modelos dos elevadores passaram por 10 medições e os modelos da reitoria e do prédio de 5 andares passaram por 3 medições cada um, sendo variado apenas o deslocamento, ou seja, as medições passavam do primeiro andar ao sétimo, terceiro ao quarto, sendo que estes trajetos foram escolhidos de uma maneira aleatória para o percurso dos elevadores. No total foram avaliados oito elevadores que por sua vez totalizaram 66 medições.

5.1. Sobre a avaliação do conforto

As medições de aceleração, de maneira geral estão em uma faixa aceitável de conforto, entretanto existem elevadores que apresentam deficiências como constatado nas medidas realizadas. Nas Figuras a seguir, podem ser visualizados os resultados da avaliação do conforto obtidos, através de comparativos com a norma utilizada. Empregando as corretas curvas de ponderação e fatores de multiplicação, tem-se os gráficos de conforto x medições. De acordo com os gráficos, pode-se também visualizar a magnitude da aceleração (eixo z) x deslocamento do elevador de modo aleatório. Os gráficos apresentados pelas Fig. 7 e Fig. 8 representam a análise do conforto do elevador.

Através das medições pode-se afirmar que o elevador da Thyssen Krupp, aberto ao público, apresentou maior estabilidade durante o deslocamento, tanto na subida quanto na descida da cabina a performance do conforto encontra-se distribuída uniformemente na região que atinge limites de até $0,315 \text{ m/s}^2$. Já no elevador residencial verifica-se um aumento significativo das vibrações verticais apresentando em algumas medições valores expressivos e que se encontram na faixa de extremo desconforto podendo ocasionar enjoos e náuseas. Também é verificado que as acelerações mais críticas são quando o elevador se desloca de cima para baixo, como é possível perceber nos gráficos, e que ocorre devido ao contrapeso possuir maior carga que a cabina o que faz com que os cabos fiquem mais tensionados quando o elevador estiver na parte superior do edifício. As medições da Fig. 7, foram as que apresentaram os menores valores ao contrário da Fig. 8 que teve as medidas mais relevantes. Portanto, por questões de espaço está se mostrando a medida mínima e a máxima para vibração das 66 medições. O restante das medições encontra-se entre esses dois extremos.

5.2. Sobre a avaliação da vibração quanto à saúde

Analizando os dados referentes à saúde, e comparando-os com os valores de escala da norma ISO-2631-1:1997 visualizados na Fig. 1, 100% das situações apresentaram dados que, de acordo com a norma, podem ser interpretados como valores que não causam prejuízos à saúde da população que trabalha em elevadores. Sendo assim, não se verifica a necessidade de uma análise de exposição humana à vibração mais aprofundada. Verifica-se que os valores analisados são os que apresentaram a medida com maior e menor índice de aceleração ponderada dentre as 66 medições. Portanto é visível que nenhum dos elevadores instrumentados causaria danos a um ascensorista trabalhando oito horas diárias nestas condições de vibração. Na Tab. 3 são mostrados os valores máximos e mínimos das 66 medições, sendo que os valores limites VAE e VLE para os cálculos são tomados como descritos na DIRECTIVE 2002/44/EC e não da ISO 2631-1, utilizando-se os valores padrão do equipamento.

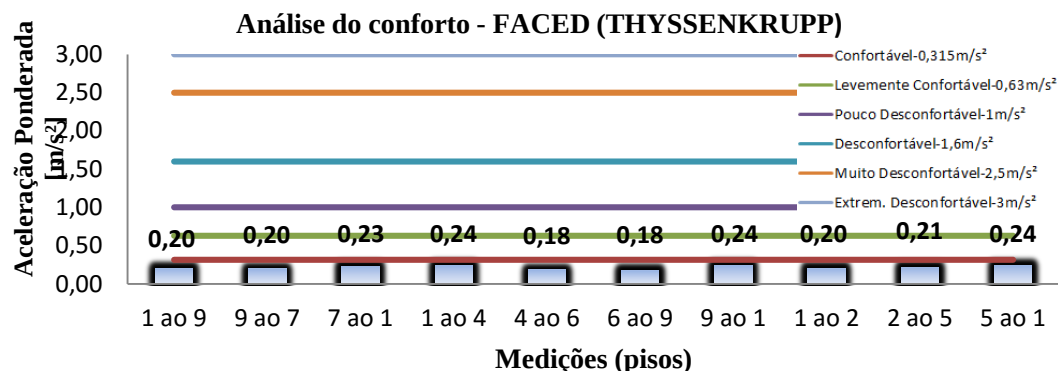


Figura 6. Medições de conforto no Prédio da FACED, eixo Z.

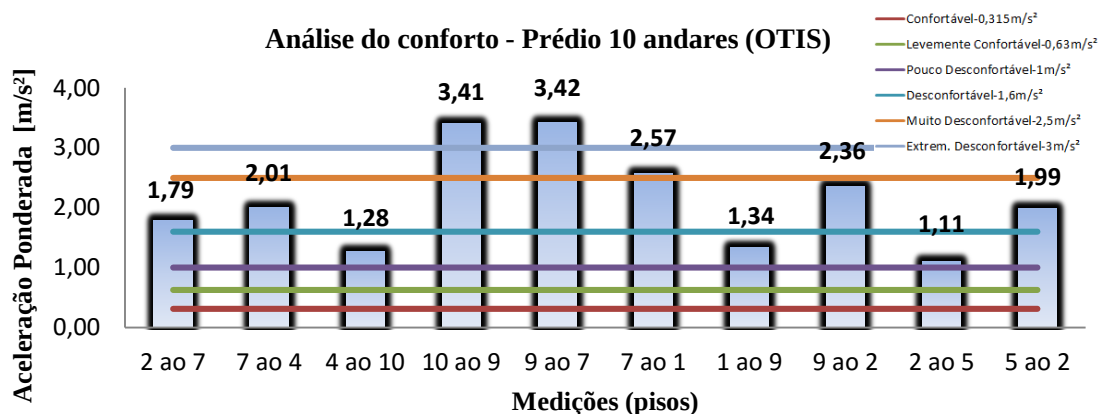


Figura 7. Medições de conforto no Prédio de 10 andares, eixo Z.

Tabela 3. Classificação dos modelos de elevadores.

Local	Valores Máximos e Mínimos			Classificação
	A(8) Max. <i>Rms</i> (m/s ²)	VAE (h)	VLE (h)	
Engenharia Nova (Esquerda)	0,00446	124,03	656,12	3º
Engenharia Nova (Meio)	0,0041	58,32	308,54	6º
Engenharia Nova (Direita)	0,00374	198,59	1050,52	2º
Prédio da Reitoria	0,0054	84,70	448,05	4º
Prédio 5 andares	0,0044	65,91	348,68	5º
Prédio 9 andares	0,00705	50,22	265,67	7º
Prédio 10 andares	0,00905	16,03	84,80	8º
FACED	0,00175	805,88	4263,10	1º

Para se obter a velocidade e a sobre aceleração foi necessário utilizar o software chamado de Agilent Vee 7.5 para realizar a derivada (cálculo do Jerk) e a integral (cálculo da velocidade) em relação ao tempo. Destaque-se que todas as medições passaram por este procedimento. Destaque-se que as leituras de vibração horizontal (linhas em azul e amarelo) não tiveram valores expressivos portando os eixos x e y não foram analisados com maior detalhamento.

A aceleração apresentou valores que não correspondem à norma referenciada, pois os elevadores instrumentados apresentaram muitas variações que dependem da marca e do modelo. Esperava-se uma aceleração mais constante no arranque até o início da velocidade de cruzeiro e na parada. Na Fig. 9(a) é mostrado como ocorre a variação da aceleração no decorrer do tempo em um elevador típico. A velocidade também apresentou muitas variações possuindo poucas semelhanças com a norma citada. Esperava-se uma velocidade linearmente crescente e decrescente durante a viagem, entretanto os valores foram não uniformemente crescentes. Na Fig. 9(b) são representadas as faixas de velocidade.

A sobre aceleração manteve-se em um patamar mais estável não ultrapassando em nenhuma medição o valor de 3m/s³. Na Fig. 10 é mostrado a análise realizada. Aproximadamente 96% das medições ficaram na faixa abaixo de 2m/s³. O restante se manteve no intervalo entre 2m/s³ e 6m/s³ totalizando 3% a 4%.

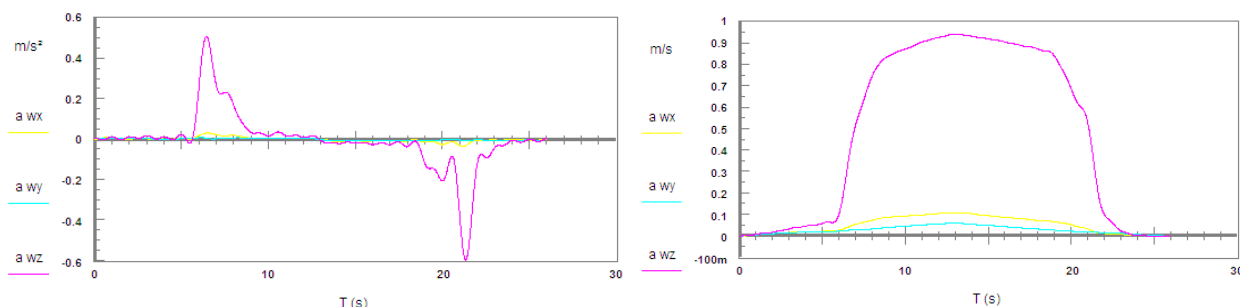


Figura 8. (a) Aceleração e (b) velocidade de vibração vertical.

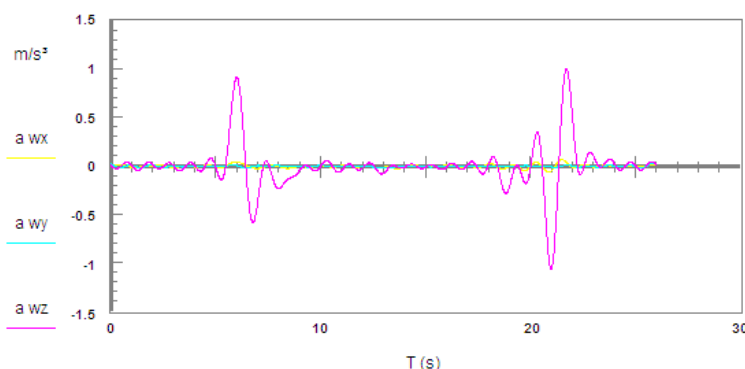


Figura 9. Sobre aceleração vertical (Jerk).

6. CONCLUSÕES

De acordo com a avaliação do conforto quanto à vibração, analisando cada modelo de elevador em função de cada faixa evidenciado pela norma, não houve uma predominância dos valores de vibração atribuídos a cada modelo específico. Ou seja, para dadas condições, elevadores em determinadas situações, manifestaram comportamentos diferentes, sendo que para alguns casos, apresentaram valores de aceleração superiores, porém em outras situações o mesmo comportamento não foi seguido. Todavia, verifica-se que a diferença entre os picos das acelerações *rms* de cada modelo, apresentaram valores muito próximos que dependem do deslocamento do elevador (subida ou descida).

Observaram-se diferentes comportamentos para cada elevador medido de acordo com a aceleração e a marca. Porém, de maneira geral, o ThyssenKrupp apresentou uma média de vibração inferior aos demais veículos, seguidos do Atlas Schindler e Otis. Podendo ser atribuído um nível de conforto superior dos elevadores da ThyssenKrupp em relação aos demais.

Também, de acordo com a escala de desconforto da norma ISO-2631-1:1997, algumas situações em determinados modelos apresentaram níveis de vibração que podem ser considerados extremamente desconfortáveis. Conclui-se também, que as vibrações decorrentes do funcionamento do elevador são menores em comparação com aquelas originadas de seu deslocamento. Foi também possível verificar através das medições que os picos de acelerações mais críticos se encontram quando o elevador está na parte superior do edifício aumentando de maneira significativa às vibrações, pois o contrapeso tem carga mais elevada do que a cabina.

Para avaliação da saúde, destaca-se que para uma rotina de trabalho de um ascensorista, as exposições diárias à vibração A(8) atingem valores consideravelmente baixos, não ultrapassando em qualquer medição os limites (VAE) e (VLE). Porém, vê-se que dificilmente um ascensorista em meio urbano passará um longo período sobre uma cabina de elevador, sendo que, em todos os modelos testados, não apresentam valores significativos de medidas que visem à diminuição ou a eliminação desta exposição. As acelerações, velocidades e sobre acelerações medidas não se assemelharam a norma referenciada, portanto grande parte dos elevadores comporta-se de maneira diferente a indicada pelas referidas Normas, entretanto os valores *rms* medidos indicam que estes não provocariam danos à saúde, mas, eventualmente, causam desconforto como visto nos dados coletados. Como sugestão para investigações futuras tem-se: (a) analisar ruídos existentes no interior da cabina; (b) consultar o público que utiliza os elevadores no seu dia-a-dia (subjetivo); (c) ampliar os modelos de elevadores como em hospitais, edifícios modernos e antigos.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer o CNPq e CAPES pelo apoio a esta pesquisa.

8. REFERÊNCIAS

Bronowski, J., 2011, "The Ascent of Man", BBC books, ISBN: 1849901155.

- BS ISO 18738:2003, 2003, "Lift (elevators) – Measurement of lift ride quality. British Standard International Organization for Standardization".
- Directive 2002/44/EC, 2002, "On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)." The European Parliament and the Council of the European Union. Official Journal of the European Communities, L177/13-19.
- Eger, T, Grenier, S, Salmoni, I, A., 2004, "Whole-Body Vibration exposure experienced by mining equipment operators". Proceedings of Fifth Canadian Rural Health Research Society Conference and the Fourth International rural Nurses Congress, Sudbury.
- Griffin, M. J., 1990, "Handbook of Human Vibration". Academic Press, London.
- Harris, C. M., Piersol, A. G. 2000, "Shock and vibration Handbook". 6th. Ed. McGraw-Hill, 1168p.
- Howkins, R. E., 2006, "Elevator Ride Quality", IAEE Book Elevator Technology, Ed. A. Lustig, V.16, p.22-23, Helsinki.
- ISO 2631-1:1997, 1997, "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration- Part 1: General requirements". International Organization for Standardization.
- ISO 5349-1:2001, 2001, "Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements". International Organization for Standardization.
- ISO 5349-2:2001, 2001, "Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace". International Organization for Standardization.
- NR-15. 2015, "Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações". http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf. Acessado em 08/10/2015.
- NR-9, 2014, "Norma regulamentadora 9, Programa de Prevenção de Riscos Ambientais- Anexo N°1 Vibrações". http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_9.pdf. 2014. Acessado em 08/10/2015.
- Otis, Catálogo, 2007, http://www.otis.com/site/br/OT_DL_Documents/OT_DL_DownloadCenter/Est%C3%A9tica/PDF_Catalogo-Mar07.pdf, consultado em 21/08/2011.
- Palmer, K. T., Griffin, M. J., Bendall, H., Pannett, B., 2000, "Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey". Occupational Environmental Medicine.
- Quest-Technology, 2005, "Real-time vibration Analyzers VI-400PRO", Preliminary owner's manual.
- Savione, D., 2010, "Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Transmitida ao Sistema mão-braço durante a atividade ciclística". Monografia para obtenção do título de engenheiro mecânico. Porto Alegre: UFRGS.

9. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

VIBRATION ON PASSENGER LIFTS: COMPLYING WITH INTERNATIONAL STANDARDS FOR HEALTH AND CONFORT

Saule Augusto Biasuz, augustobiasuz@hotmail.com¹
 Marcelo André Toso, marcelo.toso@yahoo.com.br¹
 Herbert Martins Gomes, herbert@mecanica.ufrgs.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Sarmiento Leite, 425, sala 202, 2º. Andar, 90050-170, Porto Alegre, RS, Brasil.

Abstract: *With the development of new technologies, the availability of elevators on the planet is growing every day. Cities increasingly sophisticated arise with higher buildings in order to optimize the space used on land. This increase the need of transport mechanisms in these structures so to reduce the commuting time. Much of the elevators currently have their maintenance plan which in most cases is concerned with the safety, falling in terms of comfort. Thus, this study assesses the degree of passenger comfort in relation to vibration caused by the vertical movement of the elevators, being carried out measurements on existing lifts of various models and brands. Acceleration measurements are collected by the use of standardized device for measuring the vibration transmitted to the human body inside the cabin during lift routes. These measurements are performed according to the requirements of ISO 18738: 2003, that meets ISO 8041: 2005 criteria, and comparing the obtained results with the thresholds for health and comfort in accordance with ISO 2631-1 : 1997 and NR-15. Regarding health, the duration of daily exposure to vibration are also evaluated for different work situations of an elevator operator (elevator) which are compared with the limits set out in the standards used. A statistical study on the suitability of elevators studied with respect to vibration standards is carried out and, at least for health criteria, the case studies comply with the standards..*

Keywords: *Lift confort, acceleration measurement, daily exposure to vibration, WBV, human body vibration.*